

Обзоры, проблемы

УДК 636.5.033:575:577.2:57.04

doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.581rus

**ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ, СВЯЗАННЫХ С ХОЗЯЙСТВЕННО
ПОЛЕЗНЫМИ ПРИЗНАКАМИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ
(*Gallus gallus domesticus*), ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ
ПАРАТИПИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ***

(обзор)

Е.А. СИЗОВА[✉], Я.В. ЛУТКОВСКАЯ

Промышленное производство мяса цыплят-бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) основывается на использовании скороспелых высокопродуктивных кроссов, создание которых стало возможным благодаря работе генетиков и селекционеров. Исходные линии современных цыплят-бройлеров были получены в результате искусственного отбора, прежде всего по эффективности кормления, конверсии корма и скорости роста (W. Fu, с соавт., 2016). Прогрессивные генетические исследования, селекционные технологии и кормление в сочетании с эффективным ветеринарным контролем дают возможность производить мясо птицы высокого качества (А.А. Grozina, 2014). С 1957 по 2001 год время достижения цыплятами-бройлерами рыночной массы снизилось в 3 раза, при этом сократилось потребление кормов (M. Georges, с соавт., 2019). Определение экспрессии мРНК генов, участвующих в росте и развитии бройлеров, усвоении питательных веществ и устойчивости к возбудителям заболеваний, необходимо для успешного отбора птицы с желательными качествами (K. Lassiter с соавт., 2019). Целью представленного обзора стал анализ многообразия генов и их активности при формировании хозяйственно полезных признаков у цыплят-бройлеров и факторов, влияющих на экспрессию этих генов. В статье представлены гены, продукты которых принимают участие в росте и развитии (*GH, IGF-1, GHR, MYOD1, MYOG, MSTN*), усвоении нутриентов (*SLC2A1, SLC2A2, SLC2A3, SLC2A8, SLC2A9, SLC2A12, SLC6A19, SLC7A1, SLC7A2, SLC7A5-7, SLC15A1, SLC38A2*), иммунном ответе (*IL1B, IL6, IL8L2, IL16, IL17A, IL18, TNF-α, AvBD1-AvBD14*). Одним из путей регуляции скорости роста скелета и размеров тела служит соматотропная ось гормонов роста (growth hormone, GH)—инсулиноподобный фактор роста 1 (insulin like growth factor 1, IGF-1)—рецептор гормона роста (growth hormone receptor, GHR) (L.E. Ellestad с соавт., 2019). Анализ экспрессии генов *GH, GHR* и *IGF-1* и отбор по признаку высокой скорости роста у цыплят-бройлеров может повысить активность связывания гормона роста, синтез IGF-1 в печени и, следовательно, массу тела (S. Pech-Pool с соавт., 2020). Миогенез опосредован действием различных факторов и генов, в их числе миогенный регуляторный фактор (*myogenic regulatory factors, MRF*), фактор миогенной дифференцировки 1 (*myogenic differentiation 1, MYOD1*), миогенин (*myogenin, MYOG*), экспрессия которых может меняться в зависимости от ингредиентного состава рациона и специфических добавок. Значительно увеличить экспрессию генов *MYOD1* и *MYOG* в грудных мышцах и *GH* и *IGF-1* в печени одновременно с улучшением показателей роста можно при добавлении в рацион протеазы (Y. Xiao с соавт., 2020). Гены, ассоциированные с усвоением питательных веществ и их экспрессия влияют на транспортные белки, приводя к ускоренному поступлению нутриентов в эпителий кишечника, систему кровообращения, а затем ко всем органам и тканям. В свою очередь, их экспрессия может быть зависима от кормовых добавок различного функционала. В транспорте аминокислот задействованы носители растворенных веществ (solute carrier family, SLC): *SLC6A19 (B0AT1)* и *SLC38A2 (SNAT2)* — натрий-зависимые переносчики нейтральных аминокислот; *SLC7A1* и *SLC7A2* — переносчики катионных аминокислот (cationic amino acid transporter, CAT: *CAT1, CAT2*); *SLC7A5-7* — переносчики L-аминокислот (L-type amino acid transporter, LAT: *LAT1, γLAT2*) (J.A. Payne с соавт., 2019; C.N. Khwatenge с соавт., 2020; N.S. Fagundes с соавт., 2020). На экспрессию генов иммунитета (*IL1B, IL6, IL8L2, IL16, IL17A, IL18, TNF-α, AvBD1-AvBD14*) цыплят-бройлеров, инициирующих синтез факторов иммунного ответа, оказывает влияние инфицирование микроорганизмами *Escherichia coli, Salmonella* spp., *Pseudomonas aeruginosa, Clostridium perfringens, Listeria monocytogenes, Eimeria* spp. и др. (G.Y. Laptev с соавт., 2019; T. Nii с соавт., 2019). Также выявлено модулирующее влияние температуры на экспрессию генов. Повышенная температура выращивания птицы (39 °C) ведет к значительному увеличению экспрессии мРНК генов *IL6, IL1β, TNF-α, TLR2, TLR4, NFκB50, NFκB65, Hsp70* и *HSF3* в тканях селезенки и печени (M.B. Al-Zghoul с соавт., 2019). В настоящее время идет поиск кормовых добавок (пребиотиков, пробиотиков, синбиотиков, фитобиотиков и аминокислот), которые поддерживают физиологическое состояние птицы, предотвращают развитие заболеваний, способствуют ускорению роста без ущерба для здоровья и улучшают продуктивность посредством воздействия на экспрессию генов.

*Тема исследований поддержана Российским научным фондом, проект № 20-16-00078.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, продуктивность, экспрессия генов, рост, иммунитет, кормовые добавки.

Предполагается, что к 2050 году мировой спрос на продукты животного происхождения возрастет на 70 %. Удовлетворение такого спроса потребует использования достижений науки, применения современных технологий с минимальным воздействием на окружающую среду и улучшения качества сырья животного происхождения (главным образом, генетическими методами). Мировая продуктивность домашних животных, которая, начиная с 1960-х годов оценивалась по показателям массы туши и яйценоскости, увеличилась на 20-30 % в результате разработок в области питания, генетики и борьбы с заболеваниями (1).

Сельскохозяйственные животные — отличные модельные организмы для генетических исследований эволюции фенотипа. Домашние животные выработали адаптации на уровне генов к новым условиям внешней среды и подверглись строгому отбору человеком, определившему удивительные фенотипические трансформации их поведения, морфологии и физиологии. Поиск генетических изменений, лежащих в основе фенотипических, дает возможность иначе взглянуть на общие механизмы, за счет которых генетическая изменчивость определяет фенотипическое разнообразие.

Исторически домашних кур разводили для двух целей — для получения мяса и яиц. На протяжении XX века создавались и совершенствовались специализированные кроссы цыплят-бройлеров и кур-несушек с целью улучшения продуктивности как по показателям роста, так и по репродуктивным свойствам. Подобный подход, в совокупности с введением новейших методов геномной селекции, стал максимально эффективным для достижения максимальной продуктивности (2).

Исходные линии современных цыплят-бройлеров получены в результате тщательного искусственного отбора, прежде всего по признакам, которые имеют главное значение для экономической эффективности отрасли, — эффективности кормления и скорости роста (3). Прогрессивные генетические исследования, селекционные технологии и кормление в сочетании с эффективным ветеринарным контролем дают возможность производить мясо птицы высокого качества (4). С 1957 по 2001 год время достижения цыплятами-бройлерами рыночной массы снизилось в 3 раза, при этом сократилось потребление кормов (1).

Конверсия корма — важный генетический признак, определяющий экономическую эффективность, поскольку 70 % расходов при выращивании животных приходится на корм. Определение экспрессии мРНК генов, участвующих в росте и развитии бройлеров, усвоении питательных веществ и устойчивости к возбудителям заболеваний, необходимо для успешного отбора птицы с желательными качествами (5).

Целью представленного обзора стал анализ многообразия генов и их активности при формировании хозяйственно полезных признаков у цыплят-бройлеров и факторов, влияющих на экспрессию этих генов.

Гены, ассоциированные с ростом цыплят-бройлеров. Скорость роста, масса и параметры тела определяются генотипом и факторами окружающей среды, в том числе питанием. Наряду с генами (табл. 1), нервная и эндокринная системы выполняют значительную роль в регуляции роста цыплят-бройлеров (6).

Среди компонентов нейроэндокринной системы наибольшее внимание уделяется соматотропной оси (7). Основным регулятором скорости роста скелета и размеров тела служит путь соматотропной оси гормон роста

(growth hormone, GH)—инсулиноподобный фактор роста 1 (insulin like growth factor 1, IGF-1). Эти гормоны стимулируют рост тканей, регулируют метаболизм белков, липидов и углеводов, поддерживают гомеостаз (6). Действие гормона роста на организм может осуществляться напрямую при активации рецептора гормона роста (growth hormone receptor, GHR) или косвенно — через его посредника IGF-1, продуцируемого в печени и способствующего росту мышечной ткани (8).

1. Гены, ассоциированные с ростом цыплят-бройлеров

Ген	Белок	Функция	Материал для исследования	Ссылка
<i>GH</i>	Гормон роста	Постнатальный рост тканей, в том числе скелетных мышц	Гипофиз, печень, скелетные мышцы	(6)
<i>IGF-1</i>	Инсулиноподобный фактор роста 1	Рост мышц и костей	Печень, скелетные мышцы	(9)
<i>GHR</i>	Рецептор гормона роста	Связывание гормона роста и активация передачи сигнала, ведущего к росту	Печень, скелетные мышцы	(10, 11)
<i>MYOD1</i> (<i>MYOD</i>)	Фактор миогенной дифференцировки 1	Рост и развитие скелетных мышц	Скелетные мышцы	(12, 13)
<i>MYOG</i>	Миогенин	Рост и развитие скелетных мышц	Скелетные мышцы	(14)
<i>MSTN</i>	Миостатин	Подавление роста и дифференцировки скелетных мышц	Скелетные мышцы	

Анализ экспрессии генов *GH*, *GHR* и *IGF-1* у быстрорастущих бройлеров и медленнорастущих кур-несушек показал наличие существенной разницы. Так, у медленнорастущих кур отмечена высокая экспрессия мРНК *GH* в гипофизе и низкая экспрессия мРНК *GHR* и *IGF-1* в печени и мышцах, в то время как у бройлеров обнаружили противоположные значения. Медленнорастущие куры предположительно имели сниженную активность связывания GH в печени, и это могло быть вызвано подавлением работы рецепторов гормона роста в печени за счет повышения количества гормона роста в плазме. Отбор по признаку высокой скорости роста у цыплят-бройлеров мог повысить активность связывания гормона роста, синтез IGF-1 в печени и, следовательно, массу тела (6).

Рост мышц, или миогенез, — сложный, точно регулируемый процесс (12). В формировании скелетных мышц цыплят-бройлеров участвуют миобласты. Их дифференцировка контролируется миогенными регуляторными факторами (myogenic regulatory factors, MRF) (11). Эти факторы участвуют в пролиферации и дифференцировке миобластов (13), а также в регуляции развития скелетных мышц и способствуют их росту. Семейство MRF включает фактор миогенной дифференцировки 1 (myogenic differentiation 1, MYOD1) и миогенин (myogenin, MYOG) (12).

Миостатин (myostatin, MSTN) — белок суперсемейства трансформирующих факторов роста β (transforming growth factor beta, TGF- β), который секретируется скелетными мышцами, действует как мощный ингибитор роста и дифференцировки мышечной ткани. Известно, что мутации в гене *MSTN* вызывают гипертрофию миофибрилл, что ведет к повышению мышечной массы (15). Ярким фенотипическим примером проявления подобной мутации служат коровы бельгийской голубой породы, у которых выявлена естественная мутация в гене *MSTN* (16).

Некоторые вещества в составе рациона могут влиять на экспрессию генов, ассоциированных с ростом живой массы цыплят-бройлеров. Так, при добавлении протеазы в рацион значительно увеличилась экспрессия генов *MYOD1* и *MYOG* в грудных мышцах, а также генов *GH* и *IGF-1* в печени одновременно с улучшением показателей роста (11). Доказано, что употребление цыплятами креатина в комбинации с пируватом снижает экспрессию миостатина в грудных мышцах (14).

Гены, ассоциированные с усвоением питательных веществ. Цыплята-бройлеры характеризуются быстрым ростом и развитием при условии удовлетворения потребности в энергии и питательных веществах (17). Рост и продуктивность птицы в некоторой степени зависит от способности кишечника переваривать и усваивать питательные вещества (18). Главным местом их абсорбции служит тонкий кишечник (19). Транспорт основных питательных веществ, таких как белки, углеводы и жирные кислоты, в тонком кишечнике осуществляется белками-переносчиками, которые экспрессируются в энтероцитах. Улучшение транспорта питательных веществ за счет активации генов, кодирующих транспортные белки, может привести к ускоренному поступлению этих веществ в эпителий кишечника, систему кровообращения, а затем ко всем органам и тканям.

Расщепляясь на пептиды и аминокислоты, белки транспортируются в тонкий кишечник (20). Транспорт аминокислот осуществляется переносчиками семейства носителей растворенных веществ (solute carrier family, SLC): SLC6A19 (B0AT1) и SLC38A2 (SNAT2) — натрий-зависимые переносчики нейтральных аминокислот; SLC7A1 и SLC7A2 — переносчики катионных аминокислот (cationic amino acid transporter, CAT); SLC7A5-7 — переносчики L-аминокислот (L-type amino acid transporter, LAT) (21).

Переносчики катионных аминокислот осуществляют двунаправленный транспорт для обмена катионными аминокислотами, такими как лизин, аргинин и гистидин, между органами. CAT1 (cationic amino acid transporter 1), CAT2 (cationic amino acid transporter 2) и γ LAT2 (Y+L amino acid transporter 2) участвуют в транспорте аргинина и лизина. SNAT2 (sodium-coupled neutral amino acid transporter 2) транспортирует L-глутамин для поддержания гомеостаза. LAT1 (L-type amino acid transporter 1) осуществляет отток нейтральных аминокислот (лейцина, изолейцина, метионина) и приток ароматических (фенилаланина, тирозина, триптофана) (17, 22). В свою очередь, пептиды транспортируются в тонкий кишечник через пептидный переносчик 1 (peptide transporter 1, PEPT1), находящийся внутри клеточной мембраны эпителиальных клеток (20).

Коррекция рациона различными добавками может оказывать влияние на экспрессию генов, ассоциированных с переносом питательных веществ (табл. 2). Так, добавление 0,5 г/кг хитина сверчков в основной рацион цыплят-бройлеров кросса Cobb 500 к 42-м сут выращивания увеличивало относительную экспрессию мРНК гена *SLC15A1*, а добавление 0,5 г/кг хитозана сверчков, наоборот, снижало этот показатель (18). Добавка 0,03-0,09 % протеазы к основному рациону бройлеров кросса Ross 308 повышала экспрессию генов переносчиков аминокислот *SCL6A19*, *SLC7A1*, *SLC7A2*, *SLC7A6*, *SLC7A7* и переносчика пептидов *SLC15A1* (11).

Полисахариды, расщепляясь на глюкозу, фруктозу и галактозу, поглощаются энтероцитами, выстилающими микроворсинки тонкого кишечника (23). Затем в виде моносахаридов они попадают в кровоток и оттуда транспортируются в клетки с помощью мембранных белков-переносчиков глюкозы (glucose transporter, GLUT) (24). У млекопитающих хорошо изучен GLUT4, который служит основным инсулинозависимым переносчиком в скелетных мышцах и жировой ткани (25) и отвечает за быстрый транспорт глюкозы после выработки инсулина поджелудочной железой (26). Однако у кур и цыплят-бройлеров выявлено отсутствие GLUT4, а частично описаны и охарактеризованы только GLUT1, GLUT2, GLUT3, GLUT8, GLUT9 и GLUT12, гены которых экспрессируются в скелетных мышцах (27, 28), гипоталамусе, печени, сердце, жировой ткани, почках (23) и тонком кишечнике (20).

2. Гены, участвующие в переносе нутриентов у цыплят-бройлеров

Ген	Белок	Функция	Материал для исследования	Ссылка
<i>SLC2A1</i>	Переносчик гексоз (GLUT1)	Транспорт глюкозы, фруктозы, галактозы	Скелетные мышцы, тонкий кишечник, печень, гипоталамус, абдоминальный жир	(20, 25, 28)
<i>SLC2A2</i>	Переносчик гексоз (GLUT2)		Тонкий кишечник, печень, гипоталамус, абдоминальный жир	(20, 25)
<i>SLC2A3</i>	Переносчик гексоз (GLUT3)		Печень, гипоталамус, абдоминальный жир	(25)
<i>SLC2A9</i>	Переносчик гексоз (GLUT9)			
<i>SLC2A8</i>	Переносчик гексоз (GLUT8)		Скелетные мышцы	(28)
<i>SLC2A12</i>	Переносчик гексоз (GLUT12)			
<i>SLC15A1</i>	Переносчик пептидов (PEPT1)	Транспорт пептидов	Тонкий кишечник и грудные мышцы	(11)
<i>SLC38A2</i>	Переносчик аминокислот (SNAT2)	Транспорт нейтральных аминокислот		(22)
<i>SLC6A19</i>	Переносчик аминокислот (B0AT1)			
<i>SLC7A1</i>	Переносчик аминокислот (CAT1)	Транспорт катионных аминокислот		
<i>SLC7A2</i>	Переносчик аминокислот (CAT2)			(11, 17)
<i>SLC7A5</i>	Переносчик аминокислот (LAT1)	Транспорт L-аминокислот		(22)
<i>SLC7A6</i>	Переносчик аминокислот (γ LAT2)	Транспорт γ -L-аминокислот		(11, 17)
<i>SLC7A7</i>	Переносчик аминокислот (LAT3, γ LAT1)			(11)

Вместе с тем установлено, что у птиц инсулин-индуцированный белок-переносчик глюкозы GLUT12 может быть аналогом переносчика GLUT4 у млекопитающих (27). Экспрессия генов переносчиков GLUT1, GLUT8 и GLUT12 зависит от стадии развития организма. Так, во время эмбриогенеза и в течение 5 сут после вылупления в большой грудной мышце экспрессировался ген *SLC2A1*, в то время как ген *SLC2A8* — после вылупления. Экспрессия *SLC2A12* постепенно возрастала, начиная с 12-х сут эмбрионального развития до 5-х сут после вылупления. В портняжной мышце бедра экспрессия *SLC2A1* и *SLC2A8* оставалась неизменной, при этом экспрессия *SLC2A12* также постепенно увеличивалась на раннем этапе развития мышц после вылупления цыплят (28).

Добавление к основному рациону сушеных пивных зерен, ферментированных бактериями *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus rhamnosus* и *Saccharomyces cerevisiae*, повышало экспрессию генов переносчиков (*SLC2A1*, *SLC2A2*, *SLC7A1*, *SLC7A2*, *SLC7A5*, *SLC15A1*) у цыплят-бройлеров кросса Ross 308 (20).

У цыплят обнаружена различная тканеспецифичность транспортеров глюкозы, при этом экспрессия мРНК гена *SLC2A1* была высокой в гипоталамусе, *SLC2A2* и *SLC2A9* — в печени, *SLC2A3* — в скелетных мышцах, а ген *SLC2A8* одинаково экспрессировался во всех исследуемых тканях, в том числе в абдоминальном жире. При этом у цыплят с высокой массой тела экспрессия указанных генов оказалась выше, чем у цыплят с низкой массой тела (25).

Добавление 2 % жмыха сахарного тростника к основному рациону цыплят Ross 308 активировало повышенную экспрессию *SLC7A1* (*CAT1*) в 12-перстной, тонкой и подвздошной кишке, а также *SLC6A19* (*B0AT1*) только в подвздошной кишке. Наблюдалась пониженная регуляция гена *SLC2A2* (*GLUT2*) в тонкой кишке. У птиц, получавших диету с кукурузой грубого помола, была повышена экспрессия *SLC7A6* (γ *LAT2*) в тощей кишке и *SLC7A7* (γ *LAT1*) в подвздошной кишке. В то же время добавки к корму не влияли на экспрессию генов *SLC7A2* (*CAT2*), *SLC2A1* (*GLUT1*) и *SLC15A1* (*PEPT1*) (19).

Гены, ассоциированные с иммунитетом. На экспрессию генов иммунитета у цыплят-бройлеров (табл. 3) оказывает влияние инфицирование микроорганизмами *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Eimeria* spp. и др., иницирующими синтез факторов иммунного ответа (29, 30). Желудочно-кишечный тракт птицы служит основным местом проникновения патогенов, способных вызвать кишечные инфекции, которые приводят к значительным экономическим потерям, связанным со стоимостью лечения, снижением роста и преждевременной гибелью (31). Функции защитного барьера в кишечнике обеспечиваются благодаря слизистому слою, покрывающему эпителий, плотным контактам между эпителиальными клетками, факторам врожденного (макрофаги, цитокины и антимикробные пептиды) и приобретенного (Т- и В-лимфоциты и секретируемый IgA) иммунитета (30).

Цитокины — это небольшие внеклеточные сигнальные белки, выполняющие значимую роль в развитии иммунной системы, а также в формировании иммунного ответа на патогены или стрессовые факторы окружающей среды, например изменение температуры выращивания птицы. Известно, что у позвоночных цитокины секретируются всеми типами клеток: иммунными, клетками крови, соединительной ткани, селезенки, вилочковой железы и др. У птиц фактор некроза опухоли α (tumor necrosis factor-alpha, TNF- α) и интерлейкины (interleukin, IL) 1 β , 6, 8, 16, 17 и 18 действуют как провоспалительные цитокины, то есть способствуют развитию

воспалительной реакции при бактериальных, вирусных и протозойных инфекциях (32). При этом IL8 представляет собой хемокин, который вызывает хемотаксис у иммунокомпетентных клеток, таких как макрофаги и моноциты (30).

3. Гены, участвующие в иммунном ответе у цыплят-бройлеров

Ген	Белок	Функция	Материал для исследования	Ссылка
<i>IL1B, IL6, IL8L2, IL16, IL17A, IL18</i>	Провоспалительные цитокины (интерлейкины: IL1 β , IL6, IL8, IL16, IL17 и IL18)	Привлечение иммунных клеток к месту инфекции, развитие воспаления	Селезенка, тонкий кишечник, макрофаги, клоакальная сумка	(29, 33, 36, 39)
<i>TNF-α</i>	Провоспалительный цитокин — фактор некроза опухоли	Развитие воспалительной реакции	Селезенка	(29)
<i>AvBD1-14</i>	Галлинацины (Gal-1-14)	Антимикробное действие	Костный мозг, дыхательные пути, кожа, тонкий кишечник, печень, органы мочеполовой системы, селезенка, тимус, клоакальная сумка, эритроциты	(38, 41, 42)

Доказано, что патогенные микроорганизмы стимулируют экспрессию провоспалительных цитокинов у цыплят-бройлеров. Так, было обнаружено увеличение экспрессии *IL6* в подвздошной и слепой кишке цыплят кросса Ross 308 при заражении *Campylobacter jejuni* (33), а также при инфицировании фибробластов куриных эмбрионов вирусом ретикулоэндотелиоза (reticuloendotheliosis virus, REV) (34). Инфицирование цыплят-бройлеров патогенами *Eimeria tenella* вызывает увеличение экспрессии *IL6* и *IL8* в селезенке и слепой кишке (35), *Salmonella enteritidis* — *IL1B* и *IL8* в эритроцитах и макрофагах, в то время как воздействие бутирата натрия в субингибиторной концентрации снижает колонизацию бактериями за счет подавления генов провоспалительных цитокинов (36). Добавление к рациону цыплят кросса Ross 308 дезоксиниваленола в концентрации 5 мг/кг увеличивало экспрессию *IL6* и белка плотного контакта клаудина 1 (*claudin 1, CLDN1*) в 12-перстной кишке (37).

Выявлено модулирующее влияние температуры на экспрессию генов. Повышенная температура выращивания птицы (39 °C) ведет к значительному увеличению экспрессии мРНК генов *IL6, IL1 β , TNF- α , TLR2, TLR4, NF κ B50, NF κ B65, Hsp70* и *HSF3* в тканях селезенки и печени (38). Пониженная температура выращивания (постепенное уменьшение до 20 °C) может вести к незначительному увеличению экспрессии мРНК гена *IL2, IL6* в селезенке, что указывает на способность адаптации к холоду (39). Значительную роль в иммунитете выполняют антимикробные пептиды дефензины, которые делятся на три класса — α -, β - и θ -дефензины. У млекопитающих обнаружены α - и θ -дефензины, а β -дефензины, также известные как галлинацины (*gallinacin, Gal*), — только у птиц.

Дефензины уничтожают широкий спектр бактерий, грибов и вирусов и могут стимулировать приобретенный иммунный ответ против патогенов. В настоящее время у цыплят идентифицировано 14 β -дефензинов (от AvBD1 до AvBD14), гены которых экспрессируются в тканях костного мозга, дыхательных путей, кожи, пищеварительного тракта, печени, органов мочеполовой и иммунной системы (селезенка, тимус, клоакальная сумка), а также в эритроцитах. Кроме того, у птиц описана другая группа дефензинов — оводефензинов (галлинов), которые обладают антимикробной активностью в отношении *E. coli*, экспрессируются в яйцевом и его оболочке и присутствуют в яичном белке (40-42).

При заражении куриных клеток *in vitro* кишечным комменсалом *Lactobacillus johnsonii, Bacteriodes doreii* повышалась экспрессия генов *IL1B* и

IL6, а экспрессия *AvBD8-AvBD10* оставалась почти неизменной. Эти результаты позволяют предположить, что комменсальные кишечные бактерии не вызывают экспрессию генов *AvBD8-AvBD10*. Однако при культивировании *E. coli* и *Enterococcus faecalis* с искусственно синтезированными дефензинами (*AvBD6*, *AvBD9* и *AvBD10*) происходило подавление условно-патогенных бактерий (40).

Определено, что 14 генов *AvBD* экспрессируются в зависимости от породы птицы и вида ткани. Степень развития приобретенного и врожденного иммунитета у разных пород неодинакова (39).

Влияние кормового фактора на экспрессию генов, потенциально значимых при выращивании цыплят-бройлеров. Важную роль в поддержании здоровья цыплят-бройлеров играют дополнительные источники питательных веществ (пребиотики, пробиотики, синбиотики, фитобиотики, витамины, ферменты, аминокислоты, минеральные вещества, жирные и органические кислоты). Они способствуют росту и развитию птицы, поддерживают жизнедеятельность нормальной микрофлоры кишечника, обладают антимикробным действием в отношении патогенной микрофлоры, укрепляют иммунитет (43). В таблице 4 представлена краткая информация о воздействии различных кормовых добавок на экспрессию генов, потенциально значимых при выращивании цыплят-бройлеров.

4. Влияние различных веществ на экспрессию генов, потенциально значимых при выращивании цыплят-бройлеров

Кормовая добавка	Ген	Функция	Ссылка
Олигосахариды семейства рафинозы	<i>CD3, chB6</i>	Повышение экспрессии	(44)
<i>Lactobacillus plantarum</i> и олигосахариды семейства рафинозы	<i>IL1β, IL6, IL8, IL18</i>	Повышение экспрессии	(45)
Маннанолиго-сахариды	<i>PEPT1</i>	Повышение экспрессии	(46)
Экстракт тимьяна	<i>GH, IGF-1</i>	Повышение экспрессии	(47)
β -Глюкан	<i>IL1, IL18, TNF-α</i> <i>AvBD1, AvBD2, AvBD4, AvBD6, AvBD9, AvBD4, AvBD9</i>	Повышение экспрессии Снижение экспрессии	(48-50)
Галактоолигосахариды	<i>IL17A, IL1β, AvBD1, GLUT1</i>	Повышение экспрессии	(51)
Инулин	<i>IL10, GLUT2</i> <i>GHR, IGF-1</i> <i>IL6, IL8, IL18</i>	Снижение экспрессии Повышение экспрессии Снижение экспрессии	(52, 53) (54, 55)
<i>Lactobacillus</i> spp.	<i>IL1β, IL6</i>	Снижение экспрессии	(56)
ДНК <i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>IL18</i>	Повышение экспрессии	(57)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>IL1β</i>	Повышение экспрессии	(58)
<i>Lactobacillus salivarius</i> и галактоолигосахариды	<i>IL1β, IL6, IL18</i> <i>IL1β, IL8</i>	Повышение экспрессии в селезенке Снижение экспрессии в слепой кишке	(45)
<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> 2955 и инулин	<i>IL6, IL8, IL18</i>	Снижение экспрессии	(55)
<i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>Bifidobacterium animalis</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> и фруктоолигосахарид	<i>IL1β</i> <i>IL10</i> <i>IL1β, IL10</i>	Снижение экспрессии Повышение экспрессии при инфицировании <i>Clostridium perfringens</i> Снижение экспрессии при инфицировании <i>Salmonella enterica</i> ser. <i>Enteritidis</i>	(59, 60)
Эфирные масла чеснока, лимона, тимьяна, эвкалипта (Интебио, «БИОТРОФ», Россия) (инфицирование <i>S. enterica</i> ser. <i>enteritidis</i>)	<i>AvBD10, IL6, IL8L2</i> <i>AvBD9</i>	Повышение экспрессии последующим снижением Нет влияния	(29)
Тимол (инфицирование <i>S. enterica</i> ser. <i>Typhimurium</i>)	<i>IL10</i> <i>IL6</i>	Повышение экспрессии Снижение экспрессии	(61)
Танины каштана	<i>IL6, IL10</i> <i>IL1β, IL8</i>	Повышение экспрессии Нет влияния	(62)
Экстракт солодки (инфицирование <i>Campylobacter jejuni</i>)	<i>IL1β</i>	Снижение экспрессии	(63)
Эфирные масла мяты, звездчатого аниса, гвоздики	<i>IL18</i>	Снижение экспрессии	(64)
Базилик	<i>GH</i> <i>GHR</i>	Повышение экспрессии Нет влияния	(65)
Шалфей, ромашка, дубровник, майоран	<i>IGF-1</i>	Повышение экспрессии	(66)

Экстракт кизиловой вишни Метионин	<i>GLUT-1, GLUT-2</i>	Повышение экспрессии	(67)
	<i>LATI</i>	Снижение экспрессии при дефиците метионина	(22)
	<i>SNAT2, CAT1</i>	Повышение экспрессии при дефиците метионина	
	<i>BOAT1</i>	Повышение экспрессии при дефиците и нормальном содержании метионина	
Метионин и цистеин L-аргинин	<i>MYOD, MYOG</i>	Нет влияния	(68)
	<i>IGF-1</i>	Повышение экспрессии	(69)
	<i>MYOD, MYOG</i>	Повышение экспрессии	(70, 71)
	<i>IL8, TNF-α</i>	Нет влияния	

Пребиотики. Пребиотики улучшают и поддерживают функционирование кишечника за счет стимулирования роста численности и биоразнообразия полезных микроорганизмов и снижения распространения патогенных, а также положительно влияют на лимфоидную ткань и врожденный иммунитет кишечника. Пребиотиками считаются фруктоолигосахариды (fructooligosaccharides, FOS, фруктаны), галактоолигосахариды (galactooligosaccharides, GOS) и олигосахариды семейства рафинозы (raffinose family of oligosaccharides, RFO), извлекаемые из различных растений; маннанолигосахариды (MOS) из клеточных стенок дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*; β-глюкан из клеточных стенок дрожжей или грибов (45, 49, 72).

Инъекции RFO эмбрионам бройлеров Cobb 500 в возрастающей концентрации (1,5; 3,0 и 4,5 мг) прямо пропорционально повышали экспрессию *CD3* и *chB6*, служащих маркерами Т- и В-клеток (44).

Некоторые полисахариды, например β-глюканы, влияют на гены, ассоциированные с иммунитетом. Так, введение в корм 0,1 % β-глюкана индуцирует экспрессию генов *IL1*, *IL18* и *TNF-α*. В свою очередь, повышенное содержание *TNF-α* у птицы стимулирует появление CD8⁺ лимфоцитов (Т-киллеров) (48, 49), причем подобная реакция может зависеть от инфицирования организма. У зараженных *Salmonella enteritidis* цыплят-бройлеров кросса Cobb на фоне потребления β-глюкана наблюдалось увеличение экспрессии генов *AvBD1*, *AvBD2*, *AvBD4*, *AvBD6*, *AvBD9*, а у свободной от заражения птицы, напротив, снижалась экспрессия *AvBD4* и *AvBD9* в селезенке. Следовательно, β-глюкан проявляет свойство иммуностимулятора, обеспечивая защиту при инфицировании патогенами (50).

Кормовой галактоолигосахарид (GOS) модулировал иммунный ответ, увеличивая экспрессию цитокина *IL17A*, улучшал показатели роста (51) и уменьшал экспрессию *IL10* в подвздошной и слепой кишке цыплят Ross 308 (52). Введение GOS активировало гены *IL1β*, *IL10*, *AvBD1*, *GLUT1* и *GLUT2* в тощей и слепой кишке у бройлеров Ross 308 на фоне подавления гена транспортера глюкозы *GLUT2* в 12-перстной кишке (53).

У цыплят-бройлеров, получавших постбиотики (продукты метаболизма *Lactobacillus plantarum* RG₁₄ и *L. plantarum* RI₁₁) и инулин (фруктоолигосахарид), экспрессия мРНК *GHR* и *IGF-1* в печени и конечная масса тела повышались (54).

Пробиотики. Пробиотики — живые штаммы микроорганизмов, которые при введении в адекватных количествах положительно влияют на здоровье, функционирование кишечника, предотвращают размножение патогенной микрофлоры и в целом способствуют росту макроорганизма. Пробиотики широко используются в кормах, особенно предназначенных для животных с простым однокамерным желудком. К пробиотическим штаммам относят микроорганизмы родов *Bacillus*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Saccharomyces* и *Kluyveromyces* (73).

Пробиотик на основе *Lactobacillus* spp. способен снижать экспрессию *IL1β* и *IL6* в слепой кишке цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres, зараженных *Salmonella typhimurium*. Подавление экспрессии пробиотиками, скорее всего, связано со снижением кишечной колонизации патогенами. Обработка клеток слепой кишки цыплят ДНК *Lactobacillus acidophilus* повышала экспрессию *IL18* (56, 57, 74).

Пробиотик, состоящий из трех штаммов *Bacillus amyloliquefaciens*, увеличивал экспрессию *IL1β* в подвздошной кишке на 21-е сут у бройлеров Cobb 500, зараженных ооцистами *Eimeria acervulina*, *Eimeria maxima* и *Eimeria tenella* (58).

Синбиотики. Синбиотики — это комбинация пре- и пробиотиков, которая благотворно влияет на здоровье организма, создает защитный барьер в пищеварительном тракте и способствует росту численности полезных кишечных микроорганизмов (73).

Введение *Lactobacillus salivarius* в сочетании с GOS эмбрионам цыплят-бройлеров Cobb на 12-е сут инкубации значительно увеличивало экспрессию *IL1β* в селезенке на 7-е сут, а также *IL6* и *IL18* на 21-е сут. В слепой кишке такая комбинация приводила к снижению экспрессии *IL1β* и *IL8* на 42-е сут (45). Инулин, обогащенный 1000 КОЕ *Lactococcus lactis* subsp *lactis* 2955, а также пребиотик в отдельности способны снижать экспрессию генов, связанных с иммунитетом, — *IL6*, *IL8*, *IL18*. Причем степень подавления была более выражена в слепой кишке, чем в селезенке, и увеличивалась с возрастом бройлеров (55).

Добавление в корм синбиотика, содержащего четыре живых штамма бактерий *Lactobacillus reuteri*, *Enterococcus faecium*, *Bifidobacterium animalis* и *Pediococcus acidilactici*, и пребиотика фруктоолигосахарида снижало количество мРНК *IL1β*, в то же время увеличивая содержание мРНК *IL10* у цыплят-бройлеров Cobb 500, инфицированных *Clostridium perfringens* (59). Указанная добавка снижала количество мРНК *IL1β* и *IL10* при заражении цыплят *Salmonella enterica* ser. *enteritidis* (60).

Фитобиотики. Фитобиотики — биологически активные вещества растительного происхождения, включающие фенольные соединения, алкалоиды, азотсодержащие и сероорганические соединения, фитостерины и каротиноиды. Они обнаруживаются во фруктах, овощах, зерновых и бобовых растениях, орехах, травах и эфирных маслах. Фитобиотики могут применяться как антимикробные препараты для защиты от патогенных бактерий, вирусов и грибов. Их добавляют в корм для улучшения здоровья, продуктивности, стимулирования роста и улучшения качества мяса и яиц сельскохозяйственной птицы. Фитобиотики также могут действовать как пребиотики и служить питательными веществами для полезных кишечных бактерий (74, 75).

Добавка фитобиотика, содержащего смесь эфирных масел, полученных из чеснока, лимона, тимьяна и эвкалипта, повышала экспрессию *AvBD10*, *IL6* и *IL8L2* у цыплят Ross 308 в 1-е сут после заражения *S. enterica* ser. *enteritidis* с последующим снижением экспрессии. На ранних этапах заражения фитобиотик стимулировал иммунный ответ на патоген, а впоследствии подавлял воспалительную реакцию (29). Кормление цыплят-бройлеров кросса Ross 308 1 % наноэмульсией тимола (фенольное соединение из эфирного масла тимьяна) усиливало экспрессию *IL10*, уменьшало экспрессию *IL6* и улучшало рост при инфекции *S. enterica* ser. *typhimurium* (61). Экстракт тимьяна не оказывал влияния на экспрессию генов *GH* и *IGF-1* у бройлеров кросса Cobb 500FF (47).

Добавление в корм цыплятам кросса Ross 308 танинов каштана значительно увеличивало экспрессию цитокинов *IL-6* и *IL-10* на 2-е и 6-е сут кормления, в то время как для провоспалительных цитокинов *IL-1β* и *IL-8* не наблюдалось значительного повышения. Указанный фитобиотический продукт потенциально может поддерживать рост и эффективность потребления корма (76). Включение в рацион бройлеров Ross 308 экстракта *Glycyrrhiza glabra* (солодка) приводило к повышению прироста живой массы и улучшению конверсии корма. При этом заражение цыплят *Campylobacter jejuni* приводило к снижению экспрессии *IL1β* (63). Добавка, включающая эфирные масла *Mentha arvensis* (мята), *Illicium verum* (звездчатый анис) и *Syzygium aromaticum* (гвоздика), также увеличивала прирост массы тела и улучшала конверсию корма, но уменьшала содержание мРНК *IL18* у бройлеров Ross 308 (64).

У цыплят-бройлеров кросса Rose, получавших базилик, экспрессия гена *GH* в печени значительно повышалась на фоне увеличения массы и улучшения конверсии корма. Продуктивность бройлеров увеличивалась за счет стимуляции синтеза и высвобождения гормона роста. Однако базилик не оказывал влияния на рецептор гормона роста GHR (65). Применение порошкового препарата из лекарственных растений *Salvia officinalis* (шалфей), *Matricaria chamomilla* (ромашка), *Teucrium polium* (дубровник) и *Origanum majorana* (майоран) приводило к увеличению экспрессии гена *IGF-1* у цыплят-бройлеров Ross 308, что может благоприятствовать развитию иммунитета (66). Цыплята-бройлеры кросса Ross 308, получавшие 200 мг/кг экстракта кизиловой вишни, демонстрировали повышенную экспрессию генов переносчиков глюкозы *GLUT-1* и *GLUT-2* и самую высокую прибавку в массе (67).

Аминокислоты. Аминокислоты выполняют главную физиологическую функцию в организме — участвуют в синтезе белка с последующим построением тканей и органов. Использование аминокислот в качестве добавки к корму положительно влияет на продуктивность птицы (43).

Незаменимые аминокислоты метионин и аргинин должны присутствовать в рационе цыплят. Метионин участвует в реакции метилирования ДНК, устранении активных форм кислорода, влияет на показатели роста и выход грудки у бройлеров (68, 69). Дефицит метионина (0,28 % метионина) замедлял рост цыплят-бройлеров кроссов Arbor Acres и Cobb 500, понижал эффективность кормления и экспрессию *LAT1* в почках, активировал экспрессию генов переносчиков *SNAT2* и *CAT1* (22, 68). Одновременная инъекция метионина и цистеина *in ovo* увеличивала экспрессию *IGF-1* у только что вылупившихся цыплят Ross 308 (69).

Аргинин участвует в поддержании иммунной системы, улучшает показатели роста и снижает процентное содержание абдоминального жира у цыплят (43). Инъекция цыплятам-бройлерам Ross 1040 *in ovo* L-аргинина в дозах 100 мг · мл⁻¹ · яйцо⁻¹, 1000 мг · мл⁻¹ · яйцо⁻¹ и 2500 мг · мл⁻¹ · яйцо⁻¹ повышала экспрессию *MYOD* и *MYOG*, при этом не оказывала существенного воздействия на экспрессию *IL8* и *TNF-α* (70). Композиция из смеси пальмового и подсолнечного масел совместно с L-аргинином и витамином E, введенная в рацион в дозе 50 мг/кг, повышала продуктивность и изменила экспрессию цитокинов у цыплят-бройлеров кросса Cobb 500, что может положительно влиять на иммунную функцию (71).

Таким образом, промышленное производство мяса цыплят-бройлеров основывается на использовании скороспелых, высокопродуктивных кроссов. Однако такая птица обладает слабой устойчивостью, подвержена

действию различных факторов окружающей среды, которые способны повлиять на скорость роста, массу, аппетит, переваривание пищи и вызвать различные заболевания. В настоящее время идет поиск кормовых добавок, которые, изменяя транскрипционную активность различных генов, поддерживают физиологическое состояние птицы, предотвращают развитие заболеваний, способствуют ускорению роста без ущерба для здоровья и улучшают продуктивность. В работах многих авторов показано, что на экспрессию генов, продукты которых принимают участие в росте и развитии птицы (*GH*, *IGF-1*, *GHR*, *MYOD1*, *MYOG*, *MSTN*), усвоении нутриентов (*SLC2A1*, *SLC2A2*, *SLC2A3*, *SLC2A8*, *SLC2A9*, *SLC2A12*, *SLC6A19*, *SLC7A1*, *SLC7A2*, *SLC7A5-7*, *SLC15A1*, *SLC38A2*), иммунном ответе (*IL1B*, *IL6*, *IL8L2*, *IL16*, *IL17A*, *IL18*, *TNF- α* , *AvBD1-AvBD14*) влияют различные факторы, в том числе алиментарные добавки — пребиотики, пробиотики, синбиотики, фитобиотики и аминокислоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Georges M., Charlier C., Hayes B. Harnessing genomic information for livestock improvement. *Nature Reviews Genetics*, 2019, 20: 135-156 (doi: 10.1038/s41576-018-0082-2).
2. Rubin C.-J., Zody M.C., Eriksson J., Meadows J.R., Sherwood E., Webster M.T., Jiang L., Ingman M., Sharpe T., Ka S., Hallböök F., Besnier F., Carlborg O., Bed'hom B., Tixier-Boichard M., Jensen P., Siegel P., Lindblad-Toh K., Andersson L. Whole-genome resequencing reveals loci under selection during chicken domestication. *Nature*, 2010, 464(7288): 587-591 (doi: 10.1038/nature08832).
3. Fu W., Lee W.R., Abasht B. Detection of genomic signatures of recent selection in commercial broiler chickens. *BMC Genetics*, 2016, 17: 122 (doi: 10.1186/s12863-016-0430-1).
4. Grozina A.A. Gut microbiota of broiler chickens influenced by probiotics and antibiotics as revealed by T-RFLP and RT-PCR. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2014, 6: 46-58 (doi: 10.15389/agrobiology.2014.6.46eng).
5. Lassiter K., Kong B.C., Piekarski-Welsher A., Dridi S., Bottje W.G. Gene expression essential for myostatin signaling and skeletal muscle development is associated with divergent feed efficiency in pedigree male broilers. *Frontiers in Physiology*, 2019, 10: 126 (doi: 10.3389/fphys.2019.00126).
6. Jia J., Ahmed I., Liu L., Liu Y., Xu Z., Duan X., Li Q., Dou T., Gu D., Rong H., Wang K., Li Z., Talpur M.Z., Huang Y., Wang S., Yan S., Tong H., Zhao S., Zhao G., te Pas M.F.W., Su Z., Ge C. Selection for growth rate and body size have altered the expression profiles of somatotropic axis genes in chickens. *PLoS ONE*, 2018, 13(4): e0195378 (doi: 10.1371/journal.pone.0195378).
7. Ellestad L.E., Cogburn L.A., Simon J., Le Bihan-Duval E., Aggrey S.E., Byerly M.S., Duclos M.J., Porter T.E. Transcriptional profiling and pathway analysis reveal differences in pituitary gland function, morphology, and vascularization in chickens genetically selected for high or low body weight. *BMC Genomics*, 2019, 20(1): 1-21 (doi: 10.1186/s12864-019-5670-9).
8. Pech-Pool S., Berumen L.C., Martínez-Moreno C.G., García-Alcocer G., Carranza M., Luna M., Arámburo C. Thyrotropin-releasing hormone (TRH) and somatostatin (SST), but not growth hormone-releasing hormone (GHRH) nor ghrelin (GHRL), regulate expression and release of immune growth hormone (GH) from chicken bursal B-lymphocyte cultures. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(4): 1436 (doi: 10.3390/ijms21041436).
9. Hosnedlova B., Vernerova K., Kizek R., Bozzi R., Kadlec J., Curn V., Kouba F., Fernandez K., Machander V., Horna H. Associations between *IGF1*, *IGFBP2* and *TGF β 3* genes polymorphisms and growth performance of broiler chicken lines. *Animals*, 2020, 10(5): 800 (doi: 10.3390/ani10050800).
10. Huang H.Y., Zhao Z.H., Li S.F., Liang Z., Li C.M., Wang Q.B. Pattern of GHR mRNA expression and body growth in the S2 line of sex-linked dwarf chickens. *Genetics and Molecular Research*, 2016, 15(4): 1-7 (doi: 10.4238/gmr15047416).
11. Park J.H., Lee S.I., Kim I.H. The effect of protease on growth performance, nutrient digestibility, and expression of growth-related genes and amino acid transporters in broilers. *Journal of Animal Science and Technology*, 2020, 62(5): 614-627 (doi: 10.5187/jast.2020.62.5.614).
12. Xiao Y., Wu C., Li K., Gui G., Zhang G., Yang H. Association of growth rate with hormone levels and myogenic gene expression profile in broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, 8(1): 43 (doi: 10.1186/s40104-017-0170-8).
13. Al-Zghoul M.B., El-Bahr S.M. Thermal manipulation of the broilers embryos: expression of muscle markers genes and weights of body and internal organs during embryonic and post-hatch

- days. *BMC Veterinary Research*, 2019, 15: 166 (doi: 10.1186/s12917-019-1917-6).
14. Chen J., Wang M., Kong Y., Ma H., Zou S. Comparison of the novel compounds creatine and pyruvateon lipid and protein metabolism in broiler chickens. *Animal*, 2011, 5(7): 1082-1089 (doi: 10.1017/S1751731111000085).
 15. Bhattacharya T.K., Shukla R., Chatterjee R.N., Bhanja S.K. Comparative analysis of silencing expression of myostatin (MSTN) and its two receptors (ACVR2A and ACVR2B) genes affecting growth traits in knock down chicken. *Scientific Reports*, 2019, 9: 7789 (doi: 10.1038/s41598-019-44217-z).
 16. Grobet L., Martin L.J., Poncelet D., Pirottin D., Brouwers B., Riquet J., Schoeberlein A., Dunner S., Ménéssier F., Massabanda J., Fries R., Hanset R., Georges M. A deletion in the bovine myostatin gene causes the double-muscled phenotype in cattle. *Nat. Genet.*, 1997, 17(1): 71-74 (doi: 10.1038/ng0997-71).
 17. Payne J.A., Proszkowiec-Weglarz M., Ellestad L.E. Delayed access to feed alters expression of genes associated with carbohydrate and amino acid utilization in newly hatched broiler chicks. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2019, 317(6): R864-R878 (doi: 10.1152/ajpregu.00117.2019).
 18. Ibitoye E.B., Lokman I.H., Hezme M.N.M., Goh Y.M., Zuki A.B.Z., Jimoh A.A., Danmaigoro A., Pilau N.N. Gut health and serum growth hormone levels of broiler chickens fed dietary chitin and chitosan from cricket and shrimp. *Poultry Science*, 2019, 98(2): 745-752 (doi: 10.3382/ps/pey419).
 19. Kheravii S.K., Swick R.A., Choct M., Wu S.B. Upregulation of genes encoding digestive enzymes and nutrient transporters in the digestive system of broiler chickens by dietary supplementation of fiber and inclusion of coarse particle size corn. *BMC Genomics*, 2018, 19: 208 (doi: 10.1186/s12864-018-4592-2).
 20. Al-Khalafah H.S., Shahin S.E., Omar A.E., Mohammed H.A., Mahmoud H.I., Ibrahim D. Effects of graded levels of microbial fermented or enzymatically treated dried brewer's grains on growth, digestive and nutrient transporter genes expression and cost effectiveness in broiler chickens. *BMC Veterinary Research*, 2020, 16: 424 (doi: 10.1186/s12917-020-02603-0).
 21. Khwatenge C.N., Kimathi B.M., Nahashon S.N. Transcriptome analysis and expression of selected cationic amino acid transporters in the liver of broiler chicken fed diets with varying concentrations of lysine. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(16): 5594 (doi: 10.3390/ijms21165594).
 22. Fagundes N.S., Milfort M.C., Williams S.M., Da Costa M.J., Fuller A.L., Menten J.F., Rekaya R., Aggrey S.E. Dietary methionine level alters growth, digestibility, and gene expression of amino acid transporters in meat-type chickens. *Poultry Science*, 2020, 99(1): 67-75 (doi: 10.3382/ps/pez588).
 23. Byers M.S., Howard C., Wang X. Avian and mammalian facilitative glucose transporters. *Microarrays*, 2017, 6(2): 7 (doi: 10.3390/microarrays6020007).
 24. Shimamoto S., Nakashima K., Kamimura R., Kohroggi R., Inoue H., Nishikoba N., Ohtsuka A., Ijiri D. Insulin acutely increases glucose transporter 1 on plasma membranes and glucose uptake in an AKT-dependent manner in chicken adipocytes. *General and Comparative Endocrinology*, 2019, 283: 113232 (doi: 10.1016/j.ygcen.2019.113232).
 25. Zhang W., Sumners L.H., Siegel P.B., Cline M.A., Gilbert E.R. Quantity of glucose transporter and appetite-associated factor mRNA in various tissues after insulin injection in chickens selected for low or high body weight. *Physiological Genomics*, 2013, 45(22): 1084-1094 (doi: 10.1152/physiolgenomics.00102.2013).
 26. Ji J., Tao Y., Zhang X., Pan J., Zhu X., Wang H., Du P., Zhu Y., Huang Y., Chen W. Dynamic changes of blood glucose, serum biochemical parameters and gene expression in response to exogenous insulin in Arbor Acres broilers and Silky fowls. *Scientific Reports*, 2020, 10: 6697 (doi: 10.1038/s41598-020-63549-9).
 27. Coudert E., Pascal G., Dupont J., Simon J., Cailleau-Audouin E., Crochet S., Duclos M.J., Tesseraud S., Métayer-Coustard S. Phylogenesis and biological characterization of a new glucose transporter in the chicken (*Gallus gallus*), GLUT12. *PLoS ONE*, 2015, 10(10): e0139517 (doi: 10.1371/journal.pone.0139517).
 28. Coudert E., Praud C., Dupont J., Crochet S., Cailleau-Audouin E., Bordeau T., Godet E., Collin A., Berri C., Tesseraud S., Métayer-Coustard S. Expression of glucose transporters SLC2A1, SLC2A8, and SLC2A12 in different chicken muscles during ontogenesis. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(2): 498-509 (doi: 10.1093/jas/skx084).
 29. Laptev G.Y., Filippova V.A., Kochish I.I., Yildirim E.A., Ilina L.A., Dubrovin A.V., Brazhnik E.A., Novikova N.I., Novikova O.B., Dmitrieva M.E., Smolensky V.I., Surai P.F., Grifin D.K., Romanov M.N. Examination of the expression of immunity genes and bacterial profiles in the caecum of growing chickens infected with *Salmonella* enteritidis and fed a phytobiotic. *Animals (Basel)*, 2019, 9(9): 615 (doi: 10.3390/ani9090615).
 30. Nii T., Jirapat J., Isobe N., Yoshimura Y. Effects of oral administration of *Lactobacillus reuteri* on mucosal barrier function in the digestive tract of broiler chicks. *The Journal of Poultry Science*, 2019, 57(1): 67-76 (doi: 10.2141/jpsa.0190035).

31. Das Q., Islam M.R., Lepp D., Tang J., Yin X., Mats L., Liu H., Ross K., Kennes Y.M., Yacini H., Warriner K., Marcone M.F., Diarra M.S. Gut microbiota, blood metabolites, and spleen immunity in broiler chickens fed berry pomaces and phenolic-enriched extractives. *Front. Vet. Sci.*, 2020, 7: 150 (doi: 10.3389/fvets.2020.00150).
32. Saleh K.M., Al-Zghoul M.B. Thermal manipulation during broiler chicken embryogenesis modulates the splenic cytokines' mRNA expression. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 2019, 12(5): 595-601.
33. Connerton P.L., Richards P.J., Lafontaine G.M., O'Kane P.M., Ghaffar N., Cummings N.J., Smith D.L., Fish N.M., Connerton I.F. The effect of the timing of exposure to *Campylobacter jejuni* on the gut microbiome and inflammatory responses of broiler chickens. *Microbiome*, 2018, 6: 88 (doi: 10.1186/s40168-018-0477-5).
34. Miao J., Bao Y., Ye J., Shao H., Qian K., Qin A. Transcriptional profiling of host gene expression in chicken embryo fibroblasts infected with reticuloendotheliosis virus strain HA1101. *PLoS ONE*, 2015, 10(5): e0126992 (doi: 10.1371/journal.pone.0126992).
35. Yu H., Zou W., Wang X., Dai G., Zhang T., Zhang G., Xie K., Wang J., Shi H. Research Note: Correlation analysis of interleukin-6, interleukin-8, and CC motif chemokine ligand 2 gene expression in chicken spleen and cecal tissues after *Eimeria tenella* infection in vivo. *Poultry Science*, 2020, 99(3): 1326-1331 (doi: 10.1016/j.psj.2019.10.071).
36. Gupta A., Bansal M., Wagle B., Sun X., Rath N., Donoghue A., Upadhyay A. Sodium butyrate reduces salmonella enteritidis infection of chicken enterocytes and expression of inflammatory host genes in vitro. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11: 2309 (doi: 10.3389/fmicb.2020.553670).
37. Lucke A., Böhm J., Zebeli Q., Metzler-Zebeli B.U. Dietary deoxynivalenol and oral lipopolysaccharide challenge differently affect intestinal innate immune response and barrier function in broiler chickens. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(12): 5134-5143 (doi: 10.1093/jas/sky379).
38. Al-Zghoul M.B., Saleh K.M., Ababneh M.M.K. Effects of pre-hatch thermal manipulation and post-hatch acute heat stress on the mRNA expression of interleukin-6 and genes involved in its induction pathways in 2 broiler chicken breeds. *Poultry Science*, 2019, 98(4): 1805-1819 (doi: 10.3382/ps/pey499).
39. Xue G., Yin J., Zhao N., Liu Y., Fu Y., Zhang R., Bao J., Li J. Intermittent mild cold stimulation improves the immunity and cold resistance of spleens in broilers. *Poultry Science*, 2021, 100(12): 101492 (doi: 10.1016/j.psj.2021.101492).
40. Mowbray C.A., Niranji S.S., Cadwell K., Bailey R., Watson K.A., Hall J. Gene expression of AvBD6-10 in broiler chickens is independent of AvBD6, 9, and 10 peptide potency. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2018, 202: 31-40 (doi: 10.1016/j.vetimm.2018.06.007).
41. Yoshimura Y. Avian β -defensin expression for the innate immune system in hen reproductive organs. *Poultry Science*, 2015, 94(4): 804-809 (doi: 10.3382/ps/peu021).
42. Niu S., Jahejo A.R., Jia F.J., Li X., Ning G.B., Zhang D., Ma H.L., Hao W.F., Gao W.W., Zhao Y.J., Gao S.M., Li G.L., Li J.H., Yan F., Gao R.K., Bi Y.H., Han L.X., Gao G.F., Tian W.X. Transcripts of antibacterial peptides in chicken erythrocytes infected with Marek's disease virus. *BMC Vet. Res.*, 2018, 14: 363 (doi: 10.1186/s12917-018-1678-7).
43. Alagawany M., Elnesr S.S., Farag M.R., Tiwari R., Yatoo M.I., Karthik K., Michalak I., Dhama K. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health — a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, 2021, 41(1): 1-29 (doi: 10.1080/01652176.2020.1857887).
44. Berrocso J.D., Kida R., Singh A.K., Kim Y.S., Jha R. Effect of in ovo injection of raffinose on growth performance and gut health parameters of broiler chicken. *Poultry Science*, 2017, 96(6): 1573-1580 (doi: 10.3382/ps/pew430).
45. Dunislawska A., Slawinska A., Stadnicka K., Bednarczyk M., Gulewicz P., Jozefiak D., Siwek M. Synbiotics for broiler chickens — in vitro design and evaluation of the influence on host and selected microbiota populations following in ovo delivery. *PLoS ONE*, 2017, 12(1): e0168587 (doi: 10.1371/journal.pone.0168587).
46. Cheled-Shoval S.L., Amit-Romach E., Barbakov M., Uni Z. The effect of in ovo administration of mannan oligosaccharide on small intestine development during the pre-and posthatch periods in chickens. *Poultry Science*, 2011, 90(10): 2301-2310 (doi: 10.3382/ps.2011-01488).
47. Motlagh A.M., Babapour V., Pirsaraei Z.A., Sheikhi N. Effect of thyme (*Zataria Multiflora*) extract and probiotic (broilact) feeding on blood thyroid hormones concentration and growth hormone gene expression of liver in broiler chickens. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2015, 5(S1): 1979-1985.
48. Cox C.M., Sumners L.H., Kim S., McElroy A.P., Bedford M.R., Dalloul R.A. Immune responses to dietary β -glucan in broiler chicks during an *Eimeria* challenge. *Poultry Science*, 2010, 89(12): 2597-2607 (doi: 10.3382/ps.2010-00987).
49. Teng P.-Y., Kim W.K. Roles of prebiotics in intestinal ecosystem of broilers. *Frontiers in Veterinary Science*, 2018, 5: 245 (doi: 10.3389/fvets.2018.00245).
50. Shao Y., Wang Z., Tian X., Guo Y., Zhang H. Yeast β -D-glucans induced antimicrobial peptide expressions against *Salmonella* infection in broiler chickens. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 85: 573-584 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.031).

51. Flaujac Lafontaine G.M., Richards P.J., Connerton P.L., O’Kane P.M., Ghaffar N.M., Cummings N.J., Fish N.M., Connerton I.F. Prebiotic driven increases in IL-17A do not prevent *Campylobacter jejuni* colonization of chickens. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 10: 3030 (doi: 10.3389/fmicb.2019.03030).
52. Richards P.J., Flaujac Lafontaine G.M., Connerton P.L., Liang L., Asiani K., Fish N.M., Connerton I.F. Galacto-oligosaccharides modulate the juvenile gut microbiome and innate immunity to improve broiler chicken performance. *Msystems*, 2020, 5(1): e00827-19 (doi: 10.1128/mSystems.00827-19).
53. Slawinska A., Dunislawska A., Plowiec A., Radomska M., Lachmanska J., Siwek M., Tavaniello S., Maiorano G. Modulation of microbial communities and mucosal gene expression in chicken intestines after galactooligosaccharides delivery in ovo. *PLoS ONE*, 2019, 14(2): e0212318 (doi: 10.1371/journal.pone.0212318).
54. Kareem K.Y., Loh T.C., Foo H.L., Akit H., Samsudin A.A. Effects of dietary postbiotic and inulin on growth performance, IGF1 and GHR mRNA expression, faecal microbiota and volatile fatty acids in broilers. *BMC Veterinary Research*, 2016, 12: 163 (doi: 10.1186/s12917-016-0790-9).
55. Plowiec A., Stawińska A., Siwek M.Z., Bednarczyk M.F. Effect of in ovo administration of inulin and *Lactococcus lactis* on immune-related gene expression in broiler chickens. *American Journal of Veterinary Research*, 2015, 76(11): 975-982 (doi: 10.2460/ajvr.76.11.975).
56. Chen C.-Y., Tsen H.-Y., Lin C.-L., Yu B., Chen C.-S. Oral administration of a combination of select lactic acid bacteria strains to reduce the *Salmonella* invasion and inflammation of broiler chicks. *Poultry Science*, 2012, 91(9): 2139-2147 (doi: 10.3382/ps.2012-02237).
57. Brisbin J.T., Zhou H., Gong J., Sabour P., Akbari M.R., Haghighi H.R., Yu H., Clarke A., Sarson A.J., Sharif S. Gene expression profiling of chicken lymphoid cells after treatment with *Lactobacillus acidophilus* cellular components. *Developmental & Comparative Immunology*, 2008, 32(5): 563-574 (doi: 10.1016/j.dci.2007.09.003).
58. Calik A., Omara I.I., White M.B., Li W., Dalloul R.A. Effects of dietary direct fed microbial supplementation on performance, intestinal morphology and immune response of broiler chickens challenged with coccidiosis. *Frontiers in Veterinary Science*, 2019, 6: 463 (doi: 10.3389/fvets.2019.00463).
59. Shanmugasundaram R., Markazi A., Mortada M., Ng T.T., Applegate T.J., Bielke L.R., Syed B., Pender C.M., Curry S., Murugesan G.R., Selvaraj R.K. Research note: effect of synbiotic supplementation on caecal *Clostridium perfringens* load in broiler chickens with different necrotic enteritis challenge models. *Poultry Science*, 2020, 99(5): 2452-2458 (doi: 10.1016/j.psj.2019.10.081).
60. Shanmugasundaram R., Mortada M., Cosby D.E., Singh M., Applegate T.J., Syed B., Pender C.M., Curry S., Murugesan G.R., Selvaraj R.K. Synbiotic supplementation to decrease *Salmonella* colonization in the intestine and carcass contamination in broiler birds. *PLoS ONE*, 2019, 14(10): e0223577 (doi: 10.1371/journal.pone.0223577).
61. Ibrahim D., Abdelfattah-Hassan A., Badawi M., Ismail T.A., Bendary M.M., Abdelaziz A.M., Mosbah R.A., Mohamed D.I., Arisha A.H., Abd El-Hamid M.I. Thymol nanoemulsion promoted broiler chicken’s growth, gastrointestinal barrier and bacterial community and conferred protection against *Salmonella* Typhimurium. *Scientific Reports*, 2021, 11: 7742 (doi: 10.1038/s41598-021-86990-w).
62. Lee A., Dal Pont G.C., Farnell M.B., Jarvis S., Battaglia M., Arsenault R.J., Kogut M.H. Supplementing chestnut tannins in the broiler diet mediates a metabolic phenotype of the ceca. *Poultry Science*, 2021, 100(1): 47-54 (doi: 10.1016/j.psj.2020.09.085).
63. Ibrahim D., Sewid A.H., Arisha A.H., Abd El-Fattah A.H., Abdelaziz A.M., Al-Jabr O.A., Kishawy A.T. Influence of *Glycyrrhiza glabra* extract on growth, gene expression of gut integrity, and *Campylobacter jejuni* colonization in broiler chickens. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 7: 612063 (doi: 10.3389/fvets.2020.612063).
64. Paraskeuas V., Fegeros K., Palamidi I., Hunger C., Mountzouris K.C. Growth performance, nutrient digestibility, antioxidant capacity, blood biochemical biomarkers and cytokines expression in broiler chickens fed different phytogetic levels. *Animal Nutrition*, 2017, 3(2): 114-120 (doi: 10.1016/j.aninu.2017.01.005).
65. Al-Kelabi T.J.K., Mohamed M.F., Rezaeian M., Al-Karagoly H. Growth hormone and growth hormone receptor genes expression related with productive traits of broilers under the effectiveness of the sweet basil plant additive as a growth promoter. *Advances in Animal and Veterinary Science*, 2019, 7(5): 361-369 (doi: 10.17582/journal.aavs/2019/7.5.361.369).
66. Hosseini S.M., Chamani M., Seidavi A., Sadeghi A.A., Ansari-Pirsaraei Z. Effect of feeding Thymolina® powder on the gene expression IGF-1 in Ross 308 broiler chickens. *Journal of Livestock Science*, 2016, 7: 274-279.
67. Ibrahim D., Moustafa A., Metwally A.S., Nassan M.A., Abdallah K., Eldemery F., Tufarelli V., Laudadio V., Kishawy A.T. Potential application of cornelian cherry extract on broiler chickens: growth, expression of antioxidant biomarker and glucose transport genes, and oxidative stability of frozen meat. *Animals*, 2021, 11(4): 1038 (doi: 10.3390/ani11041038).
68. Wen C., Jiang X., Ding L., Wang T., Zhou Y. Effects of dietary methionine on breast muscle

- growth, myogenic gene expression and IGF-I signaling in fast-and slow-growing broilers. *Scientific Reports*, 2017, 7: 1924 (doi: 10.1038/s41598-017-02142-z).
69. Elwan H.A., Elnesr S.S., Xu Q., Xie C., Dong X., Zou X. Effects of in ovo methionine-cysteine injection on embryonic development, antioxidant status, *IGF-I* and *TLR4* gene expression, and *jejunum* histomorphometry in newly hatched broiler chicks exposed to heat stress during incubation. *Animals*, 2019, 9(1): 25 (doi: 10.3390/ani9010025).
 70. Subramaniyan S.A., Kang D.R., Park J.R., Siddiqui S.H., Ravichandiran P., Yoo D. J., Na C.S., Shim K.S. Effect of in ovo injection of l-arginine in different chicken embryonic development stages on post-hatchability, immune response, and Myo-D and myogenin proteins. *Animals*, 2019, 9(6): 357 (doi: 10.3390/ani9060357).
 71. Khatun J., Loh T.C., Foo H.L., Akit H., Khan K.I. Growth performance, cytokine expression, and immune responses of broiler chickens fed a dietary palm oil and sunflower oil blend supplemented with L-Arginine and varying concentrations of vitamin E. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 7: 619 (doi: 10.3389/fvets.2020.00619).
 72. Ricke S.C., Lee S.I., Kim S.A., Park S.H., Shi Z. Prebiotics and the poultry gastrointestinal tract microbiome. *Poultry Science*, 2020, 99(2): 670-677 (doi: 10.1016/j.psj.2019.12.018).
 73. Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, 2018, 10: 21 (doi: 10.1186/s13099-018-0250-0).
 74. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Animal Bioscience*, 2021, 34(3): 345-353 (doi: 10.5713/ab.20.0842).
 75. Rabelo-Ruiz M., Ariza-Romero J.J., Zurita-González M.J., Martín-Platero A.M., Baños A., Maqueda M., Valdivia E., Martínez-Bueno M., Peralta-Sánchez J.M. *Allium*-based phytobiotic enhances egg production in laying hens through microbial composition changes in ileum and cecum. *Animals*, 2021, 11(2): 448 (doi: 10.3390/ani11020448).
 76. Li S., Li J., Liu Y., Li C., Zhang R., Bao J. Effects of Intermittent mild cold stimulation on mRNA expression of immunoglobulins, cytokines, and toll-like receptors in the small intestine of broilers. *Animals*, 2020, 10(9): 1492 (doi: 10.3390/ani10091492).

ФГБНУ ФНЦ биологических систем
и агротехнологий РАН,

460000 Россия, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29,
e-mail: Sizova.L78@yandex.ru ✉, ylutkovskaya@yandex.ru

Поступила в редакцию
15 июля 2022 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2023, V. 58, № 4, pp. 581-597

EXPRESSION OF GENES ASSOCIATED WITH ECONOMIC TRAITS OF BROILER CHICKENS (*Gallus gallus domesticus*), AS INFLUENCED BY VARIOUS PARATYPICAL FACTORS (review)

E.A. Sizova ✉, Ya.V. Lutkovskaya

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS, 29, ul. 9 Yanvary, Orenburg, 460000 Russia,
e-mail Sizova.L78@yandex.ru (✉ corresponding author), ylutkovskaya@yandex.ru

ORCID:

Sizova E.A. orcid.org/0000-0002-5125-5981

Lutkovskaya Ya.V. orcid.org/0000-0003-0142-2304

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by the Russian Science Foundation, project No. 20-16-00078

Final revision received July 15, 2022

doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.581eng

Accepted August 29, 2022

Abstract

Commercial production of broiler chicken meat is based on the use of early maturing high-yielding crosses created by geneticists and breeders. The original lines of modern broiler chickens were obtained through artificial selection, primarily in terms of feed efficiency, conversion and growth rate (W. Fu et al., 2016). Progressive genetic research, breeding and feeding techniques combined with effective veterinary control ensure production of high quality poultry meat (A.A. Grozina, 2014). From 1957 to 2001, the time for broiler chickens to reach market weight decreased 3-fold, while feed intake decreased too (M. Georges et al., 2019). Expression study of genes involved in broiler growth and development, nutrient assimilation, and resistance to pathogens is necessary for successful selection of birds with desirable qualities (K. Lassiter et al., 2019). The aim of the review is to analyze the diversity of genes and their activity in the formation of economically useful traits of broiler chickens and factors influencing their expression. The article presents an overview of the genes involved in growth and development (*GH*, *IGF-1*, *GHR*, *MYOD1*, *MYOG*, *MSTN*), nutrient assimilation (*SLC2A1*, *SLC2A2*,

SLC2A3, SLC2A8, SLC2A9, SLC2A12, SLC6A19, SLC7A1, SLC7A2, SLC7A5-7, SLC15A1, SLC38A2), immune response (*IL1B, IL6, IL8L2, IL16, IL17A, IL18, TNF- α , AvBD1-AvBD14*). A somatotropic growth hormone (GH)—insulin-like growth factor 1 (IGF-1)—growth hormone receptor (GHR) axis is a pathway to regulate skeletal growth rate and body size (L.E. Ellestad et al., 2019). Analysis of the gene *GH, GHR*, and *IGF-1* expression and selection for high growth rate in broiler chickens can increase growth hormone binding activity, IGF-1 synthesis in the liver, and therefore body weight (S. Pech-Pool et al., 2020). Myogenesis is mediated by a number of factors and genes, including myogenic regulatory factors (*MRF*), myogenic differentiation factor 1 (*MYOD1*), myogenin (*MYOG*) the expression of which may vary depending on the feed ingredient and specific additives. Dietary proteases significantly increase the expression of *MYOD1* and *MYOG* genes in pectoral muscle, *GH* and *IGF-1* in liver and improve growth performance (Y. Xiao et al., 2020). Genes associated with nutrient absorption and their expression affect transport proteins, leading to accelerated nutrient delivery to the intestinal epithelium, circulatory system, and then to all organs and tissues. In turn, their expression can depend on various feed additives. Solute carrier family (SLC) proteins involved in amino acid transport comprises *SLC6A19* (B0AT1) and *SLC38A2* (SNAT2) sodium-dependent carriers of neutral amino acids; *SLC7A1* and *SLC7A2* carriers of cationic amino acids (cationic amino acid transporter — CAT: CAT1, CAT2); *SLC7A5-7* L-type amino acid transporter (LAT: LAT1, gLAT2) (J.A. Payne et al, 2019; C.N. Khwatenge et al., 2020; N.S. Fagundes et al., 2020). Immunity gene expression (*IL1B, IL6, IL8L2, IL16, IL17A, IL18, TNF- α , AvBD1-AvBD14*) initiating the synthesis of immune response factors is affected by *Escherichia coli, Salmonella* spp., *Pseudomonas aeruginosa, Clostridium perfringens, Listeria monocytogenes, Eimeria* spp. infections (G.Y. Laptev et al., 2019; T. Nii et al., 2019). The modulating effect of temperature on gene expression was also revealed. Increased rearing temperature (39 °C) leads to a significant increase in expression of *IL6, IL1b, TNF- α , TLR2, TLR4, NFkB50, NFkB65, Hsp70* and *HSF3* genes in spleen and liver tissues (M.B. Al-Zghoul et al., 2019). Various feed additives (prebiotics, probiotics, synbiotics, phytobiotics and amino acids) are being sought that act via modulation of gene expression and may maintain the physiological condition of birds, prevent the development of diseases, promote faster growth without compromising health and thus improve poultry productivity.

Keywords: broiler chickens, productivity, gene expression, growth, immunity, feed additives.