

**АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС И КАЧЕСТВО МЯСА
У СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ И ЖИВОТНЫХ
ПРИ СТРЕССЕ И ЕГО КОРРЕКЦИЯ С ПОМОЩЬЮ АДАПТОГЕНОВ
РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ***
(обзор)

Н.В. БОГОЛЮБОВА[✉], Р.В. НЕКРАСОВ, А.А. ЗЕЛЕНЧЕНКОВА

Животные и птица современных генотипов имеют высокий генетический потенциал продуктивности, но зачастую он не может быть реализован в полной мере из-за воздействия на организм стрессов различной природы (В.И. Фисинин с соавт., 2015). Здоровье животных — неотъемлемая часть их благополучия, оно служит предпосылкой как высокой продуктивности, так и безопасности получаемой продукции для человека (К. Proudfoot с соавт., 2015). Окислительный стресс, возникающий как результат дисбаланса образования и детоксикации свободных радикалов в организме птицы и моногастричных животных вследствие кормовых, климатических, технологических и биологических стрессов, негативно отражается на состоянии здоровья, показателях роста и качестве продукции. При этом куриное мясо наиболее подвержено процессам перекисного окисления липидов по сравнению с говядиной и свининой вследствие высокого содержания в нем полиненасыщенных жирных кислот и негемового железа (Fe^{3+} и Fe^{2+}) (И.Ф. Горлов с соавт., 2016). В представленном обзоре обобщена информация о влиянии факторов стресса, включая связанные с содержанием (климатический, плотность посадки), транспортировкой, кормлением, ветеринарными мероприятиями, на общий антиоксидантный статус организма, окислительные свойства мяса и его качество на примере кур и бройлеров. Климатические и другие условия содержания определяют поведенческие, физиологические и иммунные реакции в организме птицы, влияют на антиоксидантный и биохимический статус, продуктивность. При этом ухудшается качество мяса, что проявляется в изменении рН и структуры мышечных волокон, повышении степени окисления липидов в тканях, появлении дефектов мяса (К. Rosenfold с соавт., 2003; М. Petracci с соавт., 2015; Р.Ф. Surai с соавт., 2019). Эффект стрессов содержания зависит от характера воздействия, генотипа животных, типа мышечных волокон (N.A. Mir с соавт., 2017; P.A. Gonzalez-Rivas с соавт., 2020; М. Zhang с соавт., 2020). Транспортный стресс — результат одновременного действия нескольких факторов (L. Zhang с соавт., 2014). Влияние этого стресса и изменение его биохимических маркеров зависят от условий транспортировки, кормления и содержания, индивидуальных особенностей и состояния здоровья птицы. Данные о воздействии стрессов на обмен веществ у животных и птицы достаточно противоречивы. В последнее время во всех отраслях животноводства обсуждается применение синтетических или природных антиоксидантов в связи с их способностью влиять на окислительный стресс и качество мяса (А. Gouda с соавт., 2020). В обзоре приводится анализ способов улучшения антиоксидантной защиты и качества мяса посредством воздействия кормовых факторов, природных адаптогенов (витаминов Е и С, таксифолина и кверцетина) (М. Mazur-Kušnřek с соавт., 2019; V.R. Pirgozliev с соавт., 2020). Чтобы получить мясо высокого качества, необходимо изучение биомаркеров антиоксидантной защиты. Использование антиоксидантов усиливает ее, повышает резистентность, улучшает качества продукции. Такой способ профилактики отрицательных последствий стрессов в животноводстве и птицеводстве обсуждается как наиболее приемлемый и дешевый, в особенности при комбинации природных адаптогенов, сочетание которых в рационе может оказаться эффективнее, чем действие каждого по отдельности.

Ключевые слова: стрессы, качество мяса, антиоксидантный статус, витамин Е, витамин С, таксифолин, кверцетин.

В мировом животноводстве птицеводство и свиноводство относятся к наиболее активно развивающимся отраслям, обеспечивающим население качественным мясом, что связано с высокой энергией роста и способностью свиней и птицы к быстрому воспроизводству. Ориентированность на максимальную эффективность и прибыльность приводит к серьезным изменениям в методах содержания, к автоматизации и еще большей интенсификации производственных процессов. Современные породы и кроссы обладают высоким генетическим потенциалом продуктивности, но он не в

* Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда по проектам 22-16-00024 и 19-16-00068-П.

полной мере может быть реализован на практике из-за воздействия стрессовых факторов — экологических, технологических, пищевых и физиологических (1). В последние годы заметно возросла обеспокоенность ответственности негативным влиянием интенсивного производства на здоровье животных и безопасность получаемых от них пищевых продуктов (2). Здоровье животных — неотъемлемая часть благополучия, которая становится предпосылкой как высокой продуктивности, так и получения безопасной для человека продукции (3).

Реакция на стресс считается сложной и многомерной, ее могут определять взаимодействия между стрессорами, что приводит к непредсказуемым результатам. В зависимости от источника стресса животные испытывают страх, обезвоживание и голод. Повышенная утомляемость и физические травмы дополнительно потенцируют нарушения в энергетическом и ионном внутриклеточном балансе, в протеазной системе, а также изменения белков скелетных мышц. Все эти факторы влияют на превращение мышц в мясо (4, 5). Понимание и контроль реакции на стресс имеет решающее значение для благополучия животных и качества мяса.

Исследования последних двух десятилетий убедительно доказали, что большинство стрессов, независимо от источника, связаны с дисбалансом образования и детоксикации свободных радикалов (6). Окислительный стресс представляет собой серьезную проблему для современного животноводства во всем мире (7). Накопленные научные данные свидетельствуют о том, что окислительный стресс может ухудшить состояние здоровья, показатели роста и качество мяса (8). Он рассматривается в качестве ключевого звена отрицательных последствий кормовых, климатических, технологических и биологических (внутренних) стрессов на молекулярном уровне (9, 10). Ранее мы уделили внимание проблеме идентификации стрессов в свиноводстве и нивелированию их последствий при использовании флавоноидов в качестве кормовых добавок (11).

Цель настоящего обзора — обобщить современными научные данные о последствиях стрессов разной природы и использовании алиментарных факторов, в частности витаминов E, C и биофлавоноидов, для улучшения антиоксидантного статуса и качества мяса животных и птицы.

Стрессы, влияющие на физиологическое состояние животных и птицы и на качество продукции. *Климатический фактор*. Температурный стресс включает как тепловой, так и холодовой стресс. Генетический отбор в сторону быстрого роста и массы грудных мышц за последние несколько десятилетий привел к снижению терморегуляторной способности птицы современных коммерческих кроссов, что сделало их более уязвимыми к тепловому воздействию (12). Тепловой стресс вызывает изменение поведенческих и физиологических реакций и негативно влияет на здоровье, продуктивность и качество продукции у домашней птицы (13). Высокая температура окружающей среды летом приводит к ухудшению состояния здоровья, снижает интенсивность роста и качество тушки цыплят-бройлеров (14-16).

Многочисленные исследования посвящены влиянию климатического стресса на физиологические и продуктивные характеристики птицы. Например, хроническое тепловое воздействие ухудшает рост, морфологию кишечника и аппетит, что может быть обусловлено увеличением секреции или экспрессией гормонов и генов, связанных с аппетитом, и более высокой экспрессией рецепторов, воспринимающих питательные вещества (T1R1 и T1R3) (17). Тепловой стресс приводит к повышению ректальной темпе-

ратуры ($p = 0,001$), частоты дыхания ($p = 0,001$) и рН крови ($p = 0,02$), что характеризует состояние респираторного алкалоза у бройлеров (18). Бройлеры, содержащиеся при температуре окружающей среды $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, потребляют на 14 % меньше корма по сравнению с аналогами, содержащимися при нормальной температуре. К. Sahin с соавт. (19) считают, что уменьшение потребления кормов служит защитной физиологической реакцией для сокращения выработки тепла. Другие авторы (20) также отмечают, что снижение потребления кормов бройлерами — это основная причина уменьшения приростов живой массы, повышения смертности, снижения фертильности и выводимости, изменения баланса электролитов и рН крови (21), нарушений секреции и активности эндогенных ферментов (22), уменьшения концентрации тироидных гормонов T_3 и T_4 в сыворотке крови, подавления иммунной функции (23) и снижения всасывающей способности кишечника (24). Высокая температура окружающей среды негативно влияет на продуктивность бройлеров (25) за счет изменения энергетического, белкового, липидного и минерального обмена, кислотно-щелочного и электролитного баланса крови, а также концентрации гемоглобина. При $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит значительное снижение активности пищеварительных ферментов трипсина, химотрипсина и амилазы. Тепловой стресс приводит к снижению содержания витаминов (С, Е и А) и минеральных веществ (Fe, Zn, Se и Cr) в сыворотке крови и печени, а также влияет на иммунный ответ домашней птицы (26).

V.R. Pirgozliev с соавт. (27) установили, что хронический тепловой стресс при выращивании птицы уменьшает не только потребление корма и приросты живой массы, но также массу тонкого кишечника, общую массу желудочно-кишечного тракта, печени, селезенки, сердца, высоту ворсинок, площадь поверхности ворсинок кишечника и негативно влияет на активность глутатионпероксидазы (ГП) в крови. Продуктивность, физиологические и иммунные реакции организма цыплят-бройлеров на воздействие теплового стресса зависят от состава и питательности рациона и от генетических особенностей птицы (28). Высокая температура окружающей среды вызывает окислительный стресс (29), при котором в организме происходит усиленное образование свободных радикалов из-за повышения температуры тела (30), а также из-за увеличения потребления кислорода (31). Повышение потребления кислорода увеличивает продукцию активных форм кислорода (АФК) (32, 33).

Климатический стресс негативно отражается на качестве птицеводческой продукции. Воздействие такого вида стрессов повышает частоту дефектов мяса, таких как бледное, мягкое и экссудативное (pale, soft, exudative, или PSE) и темное, плотное и сухое (dark, firm, dry, или DFD) (34). Было обнаружено, что как при остром, так и при хроническом воздействии температуры изменяются показатели качества мяса. При повышенных температурах окружающей среды мясо демонстрирует характеристики PSE, при пониженных — DFD (35). Острый тепловой стресс в большей степени, чем хронический, влияет на предельные значения рН мяса, а хронический — на цветовые признаки (L^* и a^*) (34). По данным Y. Hashizawa с соавт. (35), хронический температурный стресс ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10 сут) также может вызывать ухудшение качества мяса бройлеров и приводить к возникновению PSE. Влияние хронического теплового стресса на качество мяса было наиболее значительным, вызывая жесткость грудки бройлеров. Следовательно, и хронический, и острый тепловой стресс ухудшают качество мяса птицы, причем воздействие экстремальных температур незадолго до убоя

оказывает еще более существенное влияние (36).

В нескольких обзорах подробно описывается влияние теплового стресса на качество мяса домашней птицы, жвачных животных и свиней (29, 36), а также приводятся характеристики качества мяса и его дефектов у домашней птицы (37). Тепловой стресс снижает индекс фрагментации миофибрилл и повышает реактивность тиобарбитуровой кислоты в мышцах бройлеров (18). В скелетных мышцах бройлеров при термической нагрузке снижается скорость синтеза белка и активность протеолиза (38). Частично это связано с адаптивными эндокринными изменениями: например, гормоны щитовидной железы способствуют росту и их уровень отрицательно коррелирует с повышенной температурой. В скелетных мышцах бройлеров при воздействии высоких температур подавляются нижележащие метаболические пути передачи сигналов инсулина, который служит важным регулятором мышечного метаболизма и синтеза белка, (39). Другие последствия теплового стресса для качества мяса бройлеров заключаются в снижении содержания мышечного гликогена и рН мышц, появлении более бледного цвета (40), повышенном окислении липидов (41) и изменении структуры мышечных волокон (42).

В работе J.H. Feng с соавт. (43) тепловое воздействие (41 °С) на бройлеров усиливало окисление мышечных белков, что приводило к снижению гелеобразующих свойств мяса. Другие исследователи наблюдали, что тепловое воздействие (34 °С в течение 18 ч) на цыплят мясных кроссов увеличивает выработку кислорода в митохондриях скелетных мышц, и это коррелировало с повышением ректальной температуры и последующим снижением массы тела (44). Сообщалось, что хронический тепловой стресс (ХТС) значительно увеличивает отложение жира у бройлеров (45). Однако это, скорее всего, зависит от генотипа птицы. Например, Q. Lu с соавт. (46) показали, что ХТС уменьшает количество подкожного и межмышечного жира у бройлеров Arbor Acres, в то же время увеличивая содержание брюшного жира у цыплят Beijing You. Кроме того, те же авторы обнаружили, что L* и потери влаги мяса у бройлеров Arbor Acres, подвергнутых ХТС, увеличились. При этом никаких существенных последствий такого воздействия на цыплят пекинской породы не наблюдалось.

L. Zhang с соавт. (47) обнаружили, что доля мышц грудки у бройлеров уменьшалась при постоянном хроническом тепловом стрессе в возрасте от 4 до 6 нед, тогда как влияние на мышцы бедра было противоположным. Другие авторы объяснили, что снижение массы грудных мышц при ХТС происходит за счет подавления сигнального пути инсулиноподобных факторов роста — мишени рапамицина млекопитающих (mTOR) (48). ХТС не влияет на содержание влаги, сырого протеина и сырого жира в мышцах грудки, но в целом ухудшает качество мяса грудки у бройлеров (49), а предубойная транспортировка бройлеров в условиях кратковременного теплового стресса увеличивает частоту появления мяса PSE (50, 51).

Циклический тепловой стресс, когда птица находилась при 33 ± 1 °С в течение 10 ч (8^{00} - 18^{00}) и при 22 ± 1 °С в остальное время, повышал концентрацию кортикостерона и триацилглицерина в сыворотке крови, капельные потери влаги и содержание малонового диальдегида в мышцах, а также снижал содержание глюкозы в крови, рН₂₄, общую антиоксидантную способность мышц (Т-АОС), активность каталазы (CAT) и глутатионпероксидазы (GSH-PX) (52).

Таким образом, реакция организма на тепловой стресс (острый и

хронический) зависит от многих факторов: породы, типа мышц, от конкретных условий содержания, но так или иначе этот тип стресса имеет множественные отрицательные последствия и приносит значительные убытки отрасли.

Плотность посадки. Отмечалось, что высокая плотность посадки птицы ухудшает качество мяса бройлеров, поскольку вызывает развитие окислительного стресса (29, 53). При этом в ряде других исследований (54, 55) плотность посадки не повлияла на качество мяса бройлеров. D.G. Yu с соавт. (56) установили, что высокая плотность посадки ухудшает показатели роста, барьерную функцию кишечника и усиливает реакции на стресс (56).

Условия выращивания влияют на поведенческие и физиологические реакции, состав мышц и качество мяса. Так, при органической системе содержания, позволяющей бройлерам свободно занимать травяной загон, увеличивается выход тушек и улучшаются органолептические качества мяса, но усиливается перекисное окисление липидов (ПОЛ) и накопление продуктов их окисления (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) в мышцах (57).

Транспортный стресс. Предубойная транспортировка сопровождается стрессом и травмами, которые приводят к заметному снижению качества мяса птицы и значительным финансовым потерям. Птица также может подвергаться воздействию сопутствующих стрессоров во время перевозки, включая тепловые изменения транспортной среды, ускорение, вибрацию, движение, удары, голодание, отсутствие воды, социальное напряжение, шум (58). Все эти факторы нарушают метаболизм, особенно это сказывается на секреции гормонов стресса, также усиливается мышечный анаэробный гликолиз (59).

M.H. Tamzil с соавт. (60) отмечали, что при 3-часовой транспортировке бройлеров перед убоем увеличивается количество эритроцитов и лейкоцитов, процент гетерофилов, выше смертность птицы и pH мяса, при этом снижается процент лимфоцитов, влагоудерживающая способность (ВУС) и потери при варке. Период покоя после транспортировки в течение 12 ч снижал неблагоприятное влияние транспортного стресса на качество мяса.

Глюкоза служит основным источником энергии для организма и запасается в виде гликогена (61). Транспортный стресс ускоряет мышечный гликолитический метаболизм, воздействуя на мышцы, активность гликолитических ферментов и гликолитический потенциал (62-65). С. Zhang с соавт. (66) обнаружили, что у бройлеров, которых транспортировали в течение 3 ч перед убоем, снижалось количество мышечного гликогена, повышалась активность лактатдегидрогеназы (ЛДГ) в мышцах и содержание лактата. При увеличении времени транспортировки мышцы сильно сокращаются, анаэробные процессы усиливаются, что вызывает накопление молочной кислоты и снижает pH мышц (36, 68). Нарушается структура мышечных белков, повышается потеря влаги (69). Последнее связано с тем, что более низкий pH заставляет актин и миозин конденсироваться и сжиматься в гранулы, разрушая пространственную структуру ткани, увеличивая количество свободной воды, снижая ВУС, что в конечном итоге влияет на цвет мышц (70). Таким образом, предубойная транспортировка может усилить стресс птицы за счет снижения запасов мышечного гликогена и, следовательно, повлиять на скорость и степень снижения pH, а также качество мяса (59). Быстрый анаэробный гликолиз вызывает накопление лактата в мышцах и снижение pH, что в конечном итоге приводит к образованию мяса PSE (70).

Концентрация глюкозы, повышение количества лактата и мочевой кислоты и активности ЛДГ в сыворотке крови указывают на то, что птицы

находятся в состоянии стресса (71). Также ухудшение качества мяса, вызванное транспортным стрессом, тесно связано с негативными изменениями энергетического метаболизма мышц и антиоксидантного статуса (66, 72). Транспортировка птицы может вызывать избыточную продукцию и накопление АФК и, в конечном счете, приводить к окислительному стрессу (74), который препятствует обмену коллагена (75) и/или приводит к перекисному окислению липидов и окислению белков (8, 76).

Транспортировка птицы в течение 3 ч перед убоем увеличивала потерю живой массы, капельные потери; содержание малонового диальдегида (МДА) в мышцах и лактата повышалось, активность тимуса, селезенки и индекс Фабрициуса, рН₂₄, общая антиоксидантная активность мышц, активность каталазы и ГП, содержание гликогена снижались (72). В более ранних исследованиях этих авторов такой же режим транспортировки перед убоем привел к повышению концентрации кортикостерона в сыворотке крови, содержания МДА и лактата в мышцах, активности ЛДГ в мышцах, в то же время снижались содержание мышечного гликогена, общая активность супероксиддисмутазы (СОД) и активность ГП, что ухудшало качество мяса грудки (более низкий рН₂₄ и более высокие капельные потери) (66).

При изучении влияния продолжительности транспортировки на биохимический статус и качество мяса показано, что 2- и 4-часовая транспортировка бройлеров перед убоем не повлияла на активность ЛДГ, γ -глутамилтрансферазы, аланинаминотрансферазы, креатинкиназы и глюкозы в сыворотке крови, ГП в мышцах бедра и экспрессию мРНК белка теплового стресса в печени. Концентрация трийодтиронина, тироксина и инсулина в сыворотке крови снизилась при 2-часовой транспортировке и пришла в норму при 4-часовой транспортировке. При обоих вариантах повышалась активность СОД в мышцах. В мышцах бедра и груди при увеличении времени транспортировки возрастало количество МДА и молочной кислоты, увеличивались потери жидкости, тогда как содержание гликогена уменьшалось. Транспортировка в течение 2 ч не влияла на рН₂₄ в мышцах груди и бедра, но эти показатели снижались при 4-часовой транспортировке (67).

Z. Gou с соавт. (73) изучали влияние возраста и продолжительности транспортировки на биомаркеры стресса и качество мяса у цыплят-бройлеров. С увеличением продолжительности транспортировки среднерослых цыплят-бройлеров в возрасте 75 сут с 0,5 до 3 ч линейно снижалась живая масса птицы, увеличивалась концентрация адренкортикотропного гормона, кортизола и кортикостерона в плазме, активность глутатионпероксидазы. При этом содержание глюкозы в крови не менялось. Влияние транспортировки цыплят-бройлеров в этом возрасте на качество мяса было незначительным. Отмечали лишь снижение общей антиоксидантной способности и капельных потерь грудной мышцы (73).

Таким образом, транспортный стресс представляет собой результат одновременного действия нескольких стрессовых факторов. Интенсивность воздействия транспортного стресса на организм птицы зависит от возраста, породы, состояния здоровья, состава и питательности рациона, условий кормления во время транспортировки, методов отлова перед транспортировкой, температуры при транспортировке и времени отдыха после транспортировки (72, 73). Данные о воздействии транспортного стресса на метаболизм веществ у кур и бройлеров достаточно противоречивы.

Кормовой стресс. Кормовой стресс у птицы возникает при смене кормов, использовании некачественных ингредиентов, загрязненности кормов ксенобиотиками и под воздействием прочих причин. Так, жир в рационе значительно влияет на показатели роста и состояние здоровья стада.

Некачественное масло снижает продуктивность цыплят-бройлеров (77). Диеты, богатые полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), усиливают перекисное окисление липидов и снижают антиоксидантную способность. Прогорклые жиры, подвергающиеся процессам автоокисления, содержат вещества, образующие свободные радикалы. В результате реакций окисления образуются вредные перекиси, которые превращаются в углеводороды, кетоны, спирты, органические кислоты и альдегиды, включая МДА. Реакции окисления также снижают содержание витаминов А, Е и каротиноидов (78). Повышенная продукция АФК нарушает окислительно-восстановительный баланс и приводит к окислительному стрессу с вредными последствиями для здоровья (78).

Причиной окислительного стресса могут быть микотоксины в кормах. Охратоксин А (ОТА, вторичный метаболит, продуцируемый некоторыми видами *Aspergillus* и *Penicillium*) оказывает иммунодепрессивное действие на человека и животных. Охратоксин А вызывает окислительный стресс, ПОЛ и патологические поражения в тканях фабрициевой сумки, селезенки и тимуса кур, о чем свидетельствует снижение количества каталазы и ГП и увеличение содержания продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП). Кроме того, введение ОТА в рацион приводит к апоптозу, что проявлялось в повышении экспрессии генов *PTEN*, *Bax* и каспазы-3 и снижении экспрессии генов *PI3K*, *AKT* и *Bcl-2* (79). В обзоре V. Sorrenti с соавт. (80) увеличение продукции АФК и, как следствие, окислительный стресс и ПОЛ обсуждаются как причины токсичности ОТА (80). Повторное воздействие ОТА на цыплят в течение определенного периода времени снижает активность СОД, содержание глутатиона (GSH) и общую антиоксидантную способность при одновременном увеличении количества МДА (81, 82).

Кадмий (Cd) — тяжелый металл и один из наиболее токсичных загрязнителей окружающей среды. Его присутствие в кормах представляет серьезную проблему в животноводстве и в сельском хозяйстве в целом. В некоторых случаях количества Cd превышают максимально допустимые. Cd может попадать в организм животных с кормовыми минеральными премиксами и поступать в растения при использовании навоза с высоким содержанием кадмия в качестве органического удобрения (83). Кадмий обладает комплексной токсичностью для млекопитающих, вызывает различные формы окислительного повреждения и поражение тканей животных (84). Cd индуцирует образование свободных радикалов, снижает активность антиоксидантных ферментов (85) и приводит к окислительному разрушению липидов (85), белков и ДНК у людей и животных (86). Описана гепатотоксичность кадмия, в куриной печени он индуцировал окислительный стресс и апоптоз (87).

Ветеринарный стресс. Ветеринарные манипуляции также изменяют окислительно-восстановительный баланс и метаболизм, что приводит к ухудшению качества мяса. При длительном применении экзогенного глюкокортикоида дексаметазона в плазме и скелетных мышцах накапливаются продукты ПОЛ (TBARS), что увеличивает содержание насыщенных жирных кислот в скелетных мышцах бройлеров (88). Экзогенный кортикостерон вызывает дисбаланс в окислительно-восстановительной системе скелетных мышц, что влияет на окислительную стабильность мяса при хранении (89). X. Chen с соавт. (90) обнаружили, что при внутрибрюшинном введении бройлерам 10 % H₂O₂ увеличивалось образование АФК и снижалась активность антиоксидантных ферментов, как следствие, усиливался окислительный стресс, уменьшалась доля мышечной массы в тушке и ухудшалось качество мяса.

Кроме рассмотренных стрессов, к изменению качества мяса птицы могут привести и другие факторы. Хорошо известно, что генетический фон обуславливает вариации реакций животных на стресс. Два основных гена, которые индуцируют PSE свинины, известны как ген *Halothane* и ген *RN*-. Их роли посвящен обзор К. Rosenvold и соавт. (91). Генетическая селекция бройлеров на скорость роста и повышение выхода грудки сопровождается миопатией, включая глубокую грудную миопатию и мясо PSE, а также недавно обнаруженную белую полосатость и деревянную грудку (12).

Таким образом, стрессы различной природы негативно отражаются на состоянии иммунной и антиоксидантной систем птицы, что снижает качество получаемой продукции, в частности мяса. Согласно мнению некоторых ученых, куриное мясо наиболее подвержено процессам ПОЛ по сравнению с говядиной и свининой вследствие высокого содержания в нем полиненасыщенных жирных кислот и негемового железа (Fe^{3+} и Fe^{2+}). Согласно результатам, полученным И.Ф. Горловым с соавт. (92), степень окислительных изменений в охлажденном мясе птицы зависит от реактивности антиоксидантной системы организма и образования продуктов ПОЛ. Ослабление антиоксидантной активности и активация свободнорадикального окисления липидов в плазме крови цыплят-бройлеров усиливают процессы окисления мяса.

Анализ вызываемых стрессом метаболических изменений указывает на важность снижения последствий окислительного стресса в бройлерном производстве и необходимость дополнительной защиты антиоксидантной системы птицы (6). Очевидно, что кондиционирование позволяет избежать критических температурных воздействий (93), комфортные условия перевозки и сбалансированные рационы на основе качественных ингредиентов смягчают стресс транспортировки и кормовой стресс. Однако зачастую избежать стрессов не удастся либо техническое решение оказывается затратным. В этом случае представляется целесообразным использование в качестве добавок в корма или воду природных антиоксидантов — основных регуляторов многих физиологических процессов. Окислительно-восстановительный баланс между анти- и прооксидантами в корме, желудочно-кишечном тракте, крови и тканях служит важным фактором защиты животных от стрессов и их последствий (94).

Ранее мы изучили эффект таксифолина при стрессах молодняка свиней (95–98). Особое внимание уделялось влиянию адаптогена на качество мяса (99, 100). Анализ публикаций показывает перспективность такого подхода и в птицеводстве.

Использование алиментарных факторов для улучшения антиоксидантного статуса и качества мяса животных и птицы. В последнее время во всех отраслях животноводства все большее внимание привлекают антиоксиданты в связи с их влиянием на окислительный стресс и качество мяса (101–103). По происхождению антиоксиданты (АО) можно разделить на синтетические и натуральные. Природные АО, как правило, представляют собой молекулы, присутствующие в частях растений — листьях, коре, семенах, плодах. К числу наиболее важных относятся токоферолы (жирорастворимый витамин E) и аскорбиновая кислота (водорастворимый витамин C). Первый поступает только в составе рациона, второй синтезируется в организм домашней птицы (104).

Витамин E (VE). Натуральный витамин E включает четыре токоферола и четыре токотриенола. RRR- α -токоферол — наиболее распространенная форма в природе, обладает самой высокой биологической активностью

(105). Витамин Е был признан важным нутриентом почти столетие назад, когда Н.М. Evans и К.С. Bishop (1922) открыли жирорастворимый растительный препарат, который восстанавливал фертильность у крыс при пищевых ограничениях. Соединение получило название токоферол (от греч. «приносить потомство»), и до настоящего времени его активность оценивается по показателям размножения у грызунов. Основная функция α -токоферола в том, что это липидорастворимый антиоксидант, предотвращающий различные окислительные повреждения. α -Токоферол необходим для нормальной проницаемости липидных бислоев, клеточной адгезии, вовлечен в регуляцию экспрессии генов. Хотя транспорт этого витамина и других липидов имеет некоторые общие этапы, в некоторых тканях есть специфические механизмы его транспорта, включая белок-переносчик α -токоферола (α ТТР) (106). Дефицит ВЕ связан с повышенным окислительным стрессом, центральными и периферическими нейропатиями и нарушением иммунной функции. ВЕ — эффективный антиоксидант, поддерживающий целостность клеток при нормальном клеточном метаболизме и воспалении (107). В птицеводстве добавление ВЕ необходимо для поддержания оплодотворяемости и выводимости родительского стада. Он также играет основную роль в профилактике пищевой энцефалопатии и миопатии у кур и индеек (108).

Z.Y. Niu с соавт. (109) показали, что использование ВЕ в рационе бройлеров повышало общую активность супероксиддисмутазы (Т-SOD) и глутатионпероксидазы (GSH-Px) и снижало содержание МДА в крови ($p < 0,05$). При этом экспрессия мРНК SOD и GSH-Px в печени бройлеров при включении в рацион дополнительно ВЕ возрастала. Эти результаты указывают на положительное влияние ВЕ в питании бройлеров на качество мяса за счет улучшения антиоксидантного статуса через регуляцию экспрессии генов антиоксидантных ферментов (109).

Подчеркивая важные свойства витамина Е в рационах, J.V. Van Vleet с соавт. (110) описали изменения, происходящие в клетках и органах, скелетных мышцах птицы, страдающей экссудативным диатезом — заболеванием, связанным с недостатком ВЕ и селена и окислительным повреждением мембран. Согласно данным этих авторов, ГП плазмы крови представляет собой первый барьер антиоксидантной защиты для капиллярных клеток, поскольку он предотвращает атаку липопероксильного радикала на ПНЖК в мембране. Витамин Е, присутствующий в мембране, действует как второй барьер АО, останавливая распространение липопероксидативной цепи. При дефиците селена и ВЕ ни один из этих антиоксидантных механизмов не активируется, что приводит к липопероксидации и ее патологическим последствиям (111).

Аскорбиновая кислота, аскорбат (анион аскорбиновой кислоты), витамин С (ВС). Это водорастворимое антиоксидантное соединение, которое защищает клетки от окислительного повреждения и улучшает функцию иммунной системы (112, 113). Витамин С не является частью какого-либо метаболического пути, но служит необходимым кофактором во многих ферментативных реакциях — в синтезе коллагена, карнитина и катехоламина, метаболизме микросом или синтезе и катаболизме тирозина. Витамин С — кофактор дофамин-бета-гидроксилазы, которая участвует в преобразовании дофамина в норадреналин в нервных тканях (114). Помимо биосинтеза норадреналина, ВС необходим для биоконверсии тирозина в другие катехоламины, такие как дофамин, норадреналин и адреналин. Скармливание тирозина и ВС во время стресса может снизить количество гормонов стресса

и уменьшить потерю живой массы (115). Витамин С также повышает стабильность гормонов и их активность, регулирует температуру тела, синтез 1,25-дигидроксивитамина D и функции иммунной системы. Он присутствует в высоких концентрациях в иммунных клетках, и его запасы быстро истощаются во время стресса. Точно не известно, как ВС усиливает функцию иммунной системы, но некоторые данные указывают на его влияние на фагоциты, выработку цитокинов, лимфоциты и количество молекул клеточной адгезии в моноцитах (116).

Витамин С — мощный биологический антиоксидант. Его скармливание эффективно для снижения окислительного стресса у животных, выращенных в различных стрессовых условиях (117, 118). При этом пищевые добавки с ВС не получили широкого распространения в птицеводстве, поскольку считается, что домашняя птица синтезирует достаточное количество ВС в организме (119). Несмотря на то, что птицы вырабатывают эндогенный витамин С, потребность в нем или синтетическая способность организма могут изменяться из-за индивидуальных особенностей, породы, состояния здоровья, внешних условий (120), что может привести к дефициту ВС. Тепловой стресс — одна из наиболее частых причин повышения потребности в дополнительном количестве ВС в рационе. F. Rafiee с соавт. (121) сообщают, что ВС ослабляет неблагоприятное влияние теплового стресса на продуктивность и здоровье бройлеров (121). Также ВС может действовать как со-антиоксидант совместно с другими антиоксидантами, оказывая синергетический эффект. Например, существует тесная взаимосвязь между ВС и витамином Е, в то время как оба они оказывают положительное влияние на иммунную систему, повышая выработку антител, активность макрофагов и гуморальный иммунитет у цыплят-бройлеров и кур-несушек.

Известные в настоящее время антиоксиданты растительного происхождения в большинстве своем относятся к флавоноидам, принадлежащим к группе витаминов Р, которую стали называть биофлавоноидами. К биофлавоноидам относятся такие антиоксиданты, как кверцетин, рутин, гесперидин, цианидин и таксифолин (дигидрокверцетин, ДКВ).

ДКВ встречается в небольших количествах во многих растениях. В конце 1960-х годов он был выделен в СССР группой ученых во главе с профессором Н.А. Тюкавкиной из древесины лиственницы. Даже незначительная концентрация ДКВ при регулярном применении позволяет нормализовать проницаемость сосудов, снизить риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, предотвратить тромбообразование в сосудах, повысить иммунитет, улучшить общее состояние организма (122).

Флавоноиды находят применение в качестве противовоспалительных, антиоксидантных соединений, обладающих также антибактериальным действием (123-125). В исследованиях *in vitro* показано, что кверцетин — самый мощный антиоксидант среди его шести метаболитов и бутилированного гидрокситолуола (126). Вводимый в рацион мышей кверцетин повышает содержание глутатиона в сыворотке крови (127). Использование кверцетина в рационах бройлеров повышает их иммунный статус (128), экспрессию генов супероксиддисмутазы (*SOD1*), глутатионпероксидазы (*GPx1*), а также генов *GLUT2*, пептидного транспортера 1 (*PEPT1*) и синтазы жирных кислот (*FAS*) (129). M. Koudoufio с соавт. (130) рассматривают вопрос использования флавоноидов в качестве модуляторов работы генов, участвующих в редокс-сигнализации.

Поскольку ДКВ зарекомендовал себя в качестве адаптогена, поло-

жительно влияющего на антиоксидантный статус животных, проведен ряд исследований по влиянию его скармливания отдельно и в сочетании с витаминами на антиоксидантный и биохимический статус организма, в том числе в условиях стрессовых нагрузок. Р.В. Некрасов с соавт. (95) показали положительный эффект ДКВ у свиней при стрессовых нагрузках (улучшение окислительной функции крови, нормализация числа лейкоцитов, повышение числа эритроцитов, гематокрита, интенсивности метаболизма и выносливости). Изучались способы повышения качества мяса с применением кормовых антиоксидантов и адаптогенов (96-98). Установлено, что мясо свиней, подвергавшихся моделируемому стрессу (перегруппировка) и получавших с рационом 32 мг ДКВ/кг корма, имело повышенную ВУС, содержало меньше жира и больше белка, чем у животных-аналогов, не получавших адаптогены (99). Проверена гипотеза, что устойчивость свинины к развитию гидролитических и окислительных процессов можно повысить при введении ДКВ в корм (подтвержденная доза 32 мг/кг). В опытной группе отмечались взаимосвязанные тенденции увеличения количества антиоксидантов в крови, повышения степени ненасыщенности жира в шпике и устойчивости мышечной и жировой ткани к окислительным процессам (100). Подобные эффекты отмечали и в других исследованиях (131-134).

Рассмотрим подробнее роль адаптогенов-антиоксидантов в формировании антиоксидантной защиты и качества мяса у птицы при скармливании таких препаратов по отдельности и в комплексе. В таблице представлены данные разных авторов за последние 5 лет (2017-2022 годы) по использованию в кормлении кур и бройлеров витаминов С и Е, а также кверцетина и таксифолина, в том числе при различных стрессах. Поиск доступной литературы мы осуществляли в базах данных Science Direct, Scopus, Pub MED и Google Scholar по ключевым следующим словам: дигидрокверцетин, таксифолин, кверцетин, бройлеры, стрессы, качество мяса, витамин С, витамин Е.

Хотя взрослая птица способна синтезировать витамин С в нормальных условиях, потребность в нем возрастает во время стресса. Есть данные о благотворном влиянии скармливания птице аскорбиновой кислоты (89). Показано, что дополнительное скармливание ВС существенно снижает метаболические признаки стресса, улучшает продуктивность и иммунный статус птицы. Оптимальная доза скармливания с точки зрения эффективности ввода ВС в корма и воду бройлерам и курам-несушкам в условиях стрессов различной этиологии, по-видимому, составляет 200-250 мг/кг корма (изучали эффективность доз до 1000 мг/кг). В хронических стрессовых условиях, таких как экстремальные температуры окружающей среды, количество кортикостерона в организме повышается, что в конечном итоге может снизить эффективность скармливания ВС. В нормальных условиях ВС контролирует высвобождение кортикостерона надпочечников, уменьшая его выработку и секрецию, но во время стресса эндогенный ВС истощается в надпочечниках, вызывая системную секрецию этого мощного глюкокортикоида надпочечников. Добавление ВС из экзогенного источника, такого как корма, может помочь смягчить пагубные последствия стресса, чтобы свести к минимуму его негативное влияние на продуктивность кур (191). Скармливание в комплексе с другими биологически активными веществами (БАВ) усиливает работу витамина С (112, 113, 153). В ряде исследований было показано положительное влияние витамина С на количество АОС (121, 135, 140), продуктивность (145, 150) и качество мяса бройлеров (138, 139, 141) на фоне ОС, вызванного ТС, высокой плотностью посадки птицы (56), транспортировкой (112, 154), токсикозами (149, 151, 153).

Влияние витаминов С и Е, кверцетина и таксифолина на антиоксидантный статус и параметры мяса у кур и бройлеров

Дизайн эксперимента (генотип, число животных, возраст, дозировка антиоксиданта)	Вид стресса	Антиоксидантный статус	Выход тушки, качество мяса, состояние внутренних органов	Биохимия крови, иммунитет	Продуктивность и другие биологические эффекты	Ссылка
			В и т а м и н С			
Цыплята-бройлеры Ross 308 (160 гол.), с 25-х по 42-е сут; 250 мг ВС/кг корма	Хронический ТС (35±2 °С в течение 8 ч ежедневно, с 9 ⁰⁰ до 17 ⁰⁰)	Повышение количества ГП на 27,90 %	Не изучалось	Снижение количества ЛПНП, соотношения гетерофилов к лимфоцитам в крови	Повышение ЖМ	(121)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (162 гол.), с 3-х по 35-е сут; 200 мг ВС/кг рациона	ТС (32-34 °С днем, 27-29 °С ночью)	Повышение АОС в крови, снижение в печени экспрессии мРНК интерлейкина (ИЛ)-1β, ИЛ-6, интерферона (ИФН)-γ, Толл-подобных рецепторов (TLR)-4 и HSP70, снижение процессов ПОЛ в крови и печени, экспрессии мРНК провоспалительных цитокинов и HSP70	Масса печени и селезенки без изменения, статистически значимое (p < 0,05) увеличение относительной массы тимуса	Не изучали	Не выявлено существенной разницы в живой массе, конверсии корма	(135)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (384 гол., ♀), с 0 по 22-ю нед; 200 мг ВС/кг корма	Отсутствует	Не изучалось	Не выявлено	Отсутствие влияния на содержание ЩФ в сыворотке крови	Отсутствие влияния на ЖМ, морфологию кишечника (высоту ворсинок, глубину крипт Либберкюна и их соотношение), прочность и зольность большеберцовой кости. Обнаружена лучшая целостность перьевого покрова, снижение количества хвостовых и крыловых перьев	(136)

Цыплята-бройлеры Ross 308 (1368 гол., ♀: ♂ = 1:1), с 21-х по 35-е сут; 200 мг ВС/кг корма	Плотность посадки (низкая, 9 птиц/м ² , и высокая, 18 птиц/м ²)	Не влиял на АОС в печени (ОАС и МДА)	Не выявлено	Не отмечено изменения концентрации Н:Л (heterophil:lymphocyte) в крови и СОРТ (кортизола) в перьях, снижение значения ТЕР (трансэпителиального электрического сопротивления) в слизистой оболочке тощей кишки как мера кишечной проницаемости	Отсутствие влияния на показатели роста	(56)
Цыплята-бройлеры (96 гол., ♀), с 1-х сут по 4-ю нед; 0, 250, 500 или 1000 мг АК/кг корма	ТС (до 36 °С в течение 6-10 ч в сутки)	Не изучали	Увеличение массы надпочечников	Поддержание концентрации АК, общее повышение глюкозы, холестерина, снижение концентрации натрия в плазме, повышение количества кальция и фосфора, калия	особенно в дозе 250 мг/кг, снижает негативные последствия ТС на обмен веществ и продуктивность; снижает ССП птицы, не подвергшейся ТС	(137)
Цыплята-бройлеры Ross (330 гол.), с 4-х сут по 6-ю нед; 0, 10, 50, 100 и 200 мг АК/кг корма	Отсутствует	Не изучали	Увеличение выхода парной и охлажденной тушки, повышение массы грудки, мясо более красное. Улучшение сопротивления костей, повышение минеральных веществ (Са и Р) в костях	Субпопуляция лимфоцитов показала большее количество клеток CD4 и Т-клеточного рецептора-II (TCR-II)	Повышение прироста ЖМ, усвояемости питательных веществ. АК в количестве 200 мг/кг повышает продуктивность и иммунитет	(138)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (270 гол., ♀135, ♂135), 35-е сут; 50 мг ВС/л, 100 мг ВС/л, 1 г АК/л, 1,5 г АК/л, 50 мг ВС/л + 1 г АК/л, 50 мг ВС/л + 1,5 г АК/л, 100 мг ВС/л + 1 г АК/л и 100 мг ВС /л + 1,5 г АК/л питьевой воды	Транспортный стресс	Не изучали	Не изучали	Снижение значений всех показателей стресса (глюкоза, альбумин, глобулин, мочевая кислота, кальций, АЛТ, АСТ, креатинкиназа и Тз). Повышение концентрации Т4	100 мг ВС/л + 1,5 г АК/л с питьевой водой уменьшает негативное воздействие транспортного стресса на организм	(112)

<i>Продолжение таблицы</i>						
Куры и петухи, линия Mandarah (♀ 288 гол., ♂ 36 гол.), с 32-й по 48-ю нед; 1000 мг бетаина/кг, 200 мг АК/кг, 150 мг токоферола ацетата/кг корма и их комбинации	Хронический ТС (38±1 °С; 55-65 % относительной влажности) в течение трех последовательных суток в неделю с11:00 до 15:00)	Не изучали	Повышение массы печени, селезенки, щитовидной железы, яичников, яйцевода и длины яйцеводов	Снижение значений маркеров стресса (глюкоза, эстроген, прогестерон, Т3, Т4)	Повышение продуктивности	(139)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (120 гол.), с 25-х по 54-е сут; 15 г ВС/100 л питьевой воды (эквивалентно 11,25 мг/кг массы тела)	ОС (вызванный СА на 35-е сут)	Уменьшение степени влияния ОС: снижение концентрации МДА в сыворотке крови, повышение ОАС	Улучшение гистопатологических изменений	Не выявлено влияния на концентрацию интерлейкина-6 в синовиальной жидкости	Не изучали	(140)
Цыплята-бройлеры Cobb 500 (1680 гол.), с 21-х по 38-е сут (период окончания выращивания); 500 мг ВС/кг корма	ТС (34±1 °С в течение 8 ч ежедневно)	Снижение концентрации МДА в грудной мышце (BRMDA: Breast malondialdehyde), снижение процессов ПОЛ	Не изучали	Снижение концентрации МК, лактата, не отмечено влияние на СРК, LDH, Т3, Т4	Не изучали	(141)
Куры-несушки (96 гол.), с 28-й нед в течение 10 нед; 0, 50, 100 и 200 мг ВС/кг корма	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Увеличение концентрации витаминов в крови	Не изучали	(142)
Куры-несушки типа Isa Brown (13200 гол.), с 13-ти мес в течение 40 сут; 1 г ВС/кг	ТС (первые 20 сут +23,84 °С, вторые 20 сут +25,54 °С с 1 г ВС/кг).	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Не отмечено	(143)
Цыплята-бройлеры (100 гол.), с 22-х сут откорма до конца выращивания (42-е сут); 2 г ВС/л воды (200 мг/л активного вещества)	ТС (после 28-х сут откорма температура выше оптимальных значений)	Не изучали	Не изучали	Повышение числа эритроцитов, снижение эффекта гемолиза эритроцитов	Не изучали	(144)
Куры-несушки породы белый леггорн (96 гол.); 100, 200 и 300 мг АК	ТС (куры были случайным образом разделены и содержались в комфортных, 26±1,0 °С, и тепловых условиях, 40±5,0 °С)	Не изучали	Не изучали	Не отмечено изменения концентрации кортикостерона	Повышение коэффициента эффективности использования корма, индекса продуктивности, яйценоскости (%) в группе с 300 мг АК	(145)

		<i>Продолжение таблицы</i>				
Куры Ну-Line W-36, с 65-й по ТС (нейтральная, 22 °С, 69-ю нед; 200 мг ВС/кг корма и высокая температура, 32 °С)		Не изучали	Не изучали	Увеличение концентрации Na и P в крови, снижение концентрации Ca и P по сравнению с ТН	Не отмечено существенного влияния	(146)
Куры молодки Bovap (80 гол.), с 4-х мес в течение 6 нед; получали 1000 мг АА/кг с кормами, 500 мг АА/кг с кормами, 500 мг АА с водой, 1000 мг АА с водой	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Не выявлено существенного изменения соотношения гетерофилов и лимфоцитов	Повышение массы, температуры тела, общего количества лейкоцитов	(147)
Цыплята-бройлеры Cobb 500 (45 гол.), с 1-х по 35-е сут; 30, 60, 90, 120 мг АК/кг корма	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Увеличение массы тела, прироста массы тела и потребления корма	(148)
Цыплята-бройлеры (240 гол.), с 0 по 42-е сут; 100, 200 мг ВС на разном фоне ОТА	Токсикоз (ОТА)	Не изучали	Положительное влияние на массу печени и почек, бурсы Фабрициуса	Снижение количества ОБ и холестерина в крови, повышение концентрации МК и ЩФ	Частичное снижение неблагоприятного воздействия ОТА на производственные показатели, относительную массу органов и биохимические параметры	(149)
Цыплята-бройлеры Shiver (180 гол.), с 1-х сут по 8-ю нед; 0, 500 и 1000 мг ВС/кг корма	ТС (нейтральная, 24 °С, и высокая температура, 35 °С)	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Значительное улучшение ССП и FCR	(150)
Цыплята-бройлеры Ross (368 гол., ♂, 8 групп по 46 гол. в каждой) с 3-х сут по 5-ю нед; 300 мг ВС/кг корма и в сочетании с дрожжами (SC 3 г + 300 мг/кг корма), а также на фоне кормов, загрязненных 200 мг/кг ОТА	Токсикоз (ОТА)	Не изучали	Не отмечено	Не изучали	Снижение токсического действия ОТА при использовании комбинации ВС с дрожжами	(151)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (1824 гол., ♂), с 0 по 35-е сут; 200 г ВС/1000 л питьевой воды.	ТС (температура повышалась до 35 °С с 8 ⁰⁰ до 14 ⁰⁰ каждый день в течение всего периода)	Не изучали	Не изучали	Снижение концентрации кортикостерона в крови	Некоторое повышение продуктивных показателей	(152)

Продолжение таблицы

Цыплята-бройлеры Ross 308 (160 гол., ♂), с 25-х по 42-е сут; лимонная вербена (0,5 % или 1,0 %) и ВС (250 мг/кг корма)	Хронический ТС (35±2 °С в течение 8 ч ежедневно с 9 ⁰⁰ до 17 ⁰⁰)	Повышение количества ГП на 51,81 % при использовании 1,0 % лимонной вербены и на 27,90 % при использовании ВС	Более высокая относительная масса бursы Фабрициуса и груди при использовании 1,0 % лимонной вербены	Снижение соотношения гетерофилов к лимфоцитам, количество ЛПНП снизилось на 15,85 и 17,57 % при скармливании 0,5 и 1,0% лимонной вербены	Не изучали	(121)
Цыплята-бройлеры Cobb 500 (251 гол.), с 1-х по 42-е сут; 300 мг CuSO ₄ /кг корма отдельно и вместе с витамином С (250 мг/кг корма), витамином Е (250 мг/кг корма) и их комбинацией	Токсикоз (CuSO ₄)	Снижение токсичности за счет улучшения АОС	Добавление витаминов С и Е, отдельно или в комбинации, оказало благотворное влияние на микроскопические изменения в архитектуре почек, нарушенные ОС	Снижение негативных последствий ОС, которые проявлялись в снижении количества эритроцитов, концентрации гемоглобина, значения гематокрита, состоянии гипогликемии с повышением содержания мочевой кислоты и креатинина в сыворотке крови	Профилактическое воздействие пищевых антиоксидантов на гематобиохимические изменения, ОС и повреждение почек, вызванное токсичностью CuSO ₄	(153)
Бройлеры (128 гол.); 250 мг ВС/л, 500 мг ВС/л или 750 мг ВС/л	Транспортный стресс (24 или 48 км)	Не изучали	Не изучали	Снижение содержания глюкозы в крови	Добавление ВС при транспортировке оказало положительное влияние на сохранение массы, частоту сердечных сокращений и снизило смертность	(154)
Бройлеры Cobb 500 (750 гол., ♂), с 42-х по 54-е сут; 30, 90, 150, 210 и 270 мг ВЕ/кг корма	Отсутствует	Не изучали	В и т а м и н Е Увеличение яркости мышц грудки, повышение рН мяса	Не изучали	Не изучали	(155)
Цыплята-бройлеры (96 гол., ♂), с 1-х по 22-е сут; 22,00, 220,00 МЕ ВЕ/кг рациона	Ветеринарный (в возрасте 22 сут подкожно в бедро вводили <i>Escherichia coli</i> 0111:B4 LPS)	Низкий уровень мРНК <i>IL6</i> в тощей кишке	Не изучали	Не изучали	Не изучали	(156)

Продолжение таблицы

<p>Цыплята-бройлеры Ross 308 (420 гол.), с 6-х сут в течение 26 сут; 33, 65 и 100 МЕ ВЕ/кг корма (витамин Е из разных источников)</p>	<p>Отсутствует</p>	<p>Снижение окисления липидов в грудке, в мышцах бедра, снижение экспрессии мРНК провоспалительных (IFN-γ, IL-1β и IL-6) и противовоспалительных цитокинов (IL-4, IL-10 и TGF-β4) в тощей кишке</p>	<p>Увеличение покраснения мяса грудки, незначительное повышение относительной массы печени, селезенки, тимуса и фабрициевой сумки</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Не отмечено влияния на показатели роста</p>	<p>(157)</p>
<p>Куры-несушки Lohmann (216 гол.), с 50-й нед в течение 12 нед; 0, 20, 100 МЕ ВЕ/кг корма</p>	<p>Отсутствует</p>	<p>Не оказывало влияния на содержание СЖ и холестерина, на экспрессию ацетил-КоА-карбоксилазы, липопротеинлипазы, синтаз ЖК или экспрессию мРНК CMKLR1 в печени. Увеличение содержания МДА, снижение активности ГП в сыворотке крови и в яичниках, значительное повышение активности ГП в печени и в сыворотке, активности СОД сыворотке, экспрессии мРНК, СОД в печени и яичниках</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Не изучали</p>	<p>(158)</p>
<p>Цыплята-бройлеры Ross 308 (120 гол., ♂), с 1-х по 42-е сут; 100, 200 мг ВЕ/кг корма</p>	<p>Отсутствует</p>	<p>Не отмечено различий в активности ОАС или СОД. Повышение концентрации общих токоферолов и витамина Е в сыворотке крови, печени, и грудных мышцах</p>	<p>Увеличение массы желудка, рН содержимого желудка. Грудные мышцы светлые с низким рН, мышечная ткань имела более высокую желтизну, высокая концентрация омега-6 ПНЖК, низкий индекс атерогенности</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Повышение ЖМ</p>	<p>(159)</p>

<i>Продолжение таблицы</i>						
Родительское стадо кур Ross 308 (512 гол. в возрасте 71 нед и 576 гол. в возрасте 75 нед); 100, 200 или 400 мг ВЕ/кг корма в течение 12 нед	Отсутствует	Снижение МДА в яйчниках, яичных желтках и сыворотке, головном мозге и желточном мешке цыплят, АОС в сыворотке и яйчниках, увеличение АОС в яичных желтках и желточном мешке цыплят, содержания α -токоферола в яичных желтках	Не изучали	Не изучали	Не отмечено влияния на яйценоскость кур и показатели выживаемости яиц	(160)
Цыплята-бройлеры Hubbard-Cobb (960 гол.), с 0 по 42-е сут; 200 мг ВС и ВЕ вместе с электролитами/кг корма	ТС (с 21-х по 42-е сут 30 °С при относительной влажности воздуха 60 % с разными временными промежутками)	Не изучали	Не изучали	Отсутствует	Включение в рацион электролитов с добавлением бикарбоната натрия и витаминов С и Е снизило негативные последствия влияния ТС на продуктивность	(161)
Цыплята-бройлеры Arbor Acres (108 гол.), с 7-х по 35-е сут; 0,1 мг наночастиц селена/кг корма, 100 мг ВЕ/кг корма, а также эти добавки совместно	Отсутствовал	Повышение ОАС при скормливании комплекса наночастиц селена и ВЕ	Не изучали	Повышение количества кальция и фосфора в плазме. Повышение содержания альбумина при совместном скормливании селена и ВЕ. Снижение количества холестерина, повышение триглицеридов	Повышение ЖМ и ССП, повышение конверсии корма	(162)
Цыплята-бройлеры Ross (720 гол.), с 22-х по 42-е сут; цинк в органической форме (0,0 мг/кг и 120 мг/кг корма) и ВЕ в форме ацетата DL- α -токоферола (0,0 мг/кг; 300 мг/кг и 600 мг/кг корма)	ТС (средние значения температуры и относительной влажности с 22-х по 33-и сут 30,0 °С и 57,7 %, с 34-х по 42-е сут 30,7 °С и 58,9 %)	Не изучали	Не отмечено влияния на убойный выход и выход брюшного жира	Не изучали	Добавка ВЕ улучшала продуктивность в возрасте с 22-х по 33-е сут.	(163)
Цыплята-бройлеры (100 гол.), получали сублетальные дозы 100 мг тиаметоксама/кг ЖМ вместе со 150 мг ВЕ/кг ЖМ или 0,25 мг селена/мл или витамин Е и селен совместно через питьевую воду	Токсический стресс (сублетальные дозы тиаметоксама 100 мг/кг массы тела)	Не изучали	Не изучали	Положительные эффекты комбинации витамина Е и селена на гематобиохимические показатели	Снижение степени токсического стресса, вызванного ТМХ	(164)

						<i>Продолжение таблицы</i>	
						Не изучали	(165)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (400 гол.), с 21-х по 42-е сут BE (200 МЕ/кг корма), BC (250 мг/кг корма), Se (0,2 мг /кг корма), или BE + BC + Se (комплекс с теми же дозировками)	OC (5 % льняного масла в рационе)	Увеличение концентрации α -токоферола, снижение содержания МДА в грудной мышце, ингибирование процессов ПОЛ в свежем, замороженном, свежеприготовленном мясе	Не оказало влияния на убойный выход грудки, голени, крыльев, спинки и абдоминального жира, на ВУС, рН ₂₄ , рН ₄₈ , цвет мяса грудной мышцы	Не изучали	Не изучали	Не изучали	
Цыплята-бройлеры породы Cobb (150 гол.), с 1-х по 21-е сут; 200 мг BE/кг корма	Отсутствует	Повышение концентрации α -токоферола в плазме крови и в мясе бедра, концентрации γ -токоферола в мясе бедра на 1-е сут с последующим снижением. Снижение концентрации МДА	Не изучали	Не изучали	Увеличение ССП, снижение конверсии корма		(166)
Цыплята-бройлеры Ross 708 (210 гол.), с 0 по 58-е сут; получали 10, 200 МЕ BE /кг корма или омега-3 или совместно витамин E и омега-3	Отсутствует	Не изучали	Не отмечено разницы в выходе мяса, в мышечной массе, в рН, в потерях при оттаивании, варке; увеличение желтизны в грудных мышцах, снижение содержания жира в грудных мышцах	Не изучали	Не отмечалось значительного влияния витамина E, n-3 жирных кислот или их комбинации на показатели роста		(167)
Цыплята-бройлеры Ross 708 (28 гол.), с 1-х сут по 5-ю нед; натуральный (α -токоферил-ацетат — AcT, 35 мг/кг корма) или синтетический витамин E (AcT, 10 и 58 мг/кг корма)	Отсутствует	Не изучали	Повышение концентрации α -токоферола в печени и мышцах	Повышение концентрации α -токоферола в плазме	Повышение потребления кормов в 1,72-1,81 раза, ССП в 1,58-1,65 раза		(168)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (945 гол.), с 3-х по 42-е сут; 200 мг BE/кг корма (Кавимикс-E-50 α -токоферола ацетат) на фоне изучения других препаратов БАВ	Отсутствует	Повышение концентрации BE в печени (общий BE и α -токоферол) при добавлении BE	Снижение показателей желтизны мяса и кожи	Повышение концентрации каротиноидов в плазме крови в группе, получавшей BE	Снижение потребления корма без отрицательного влияния на скорость роста в течение всего эксперимента в группах, получавших 200 мг BE		(169)

<i>Продолжение таблицы</i>						
Цыплята мясного типа польской экспериментальной линии (420 гол., ♂), с 1-х по 63-и сут; 44, 200 мг ВЕ (DL-α-токоферилацетата)/кг корма	Отсутствует	Снижение содержания МДА, окислительных изменений в мышцах цыплят через 48 ч после убоя	Повышение выхода туши. Не оказало влияния на процентное соотношение мышц груди и ног. Повышение массой доли сердца и желудка от МТ, снижение доли печени. Снижение содержания брюшного жира. Повышение рН ₂₄ и ВУС мышц и снижение потерь при приготовлении. Более темное мясо, более насыщенно красным цветом и менее насыщенно желтым. Улучшение потребительских свойств мяса. Снижение диаметра и площади поверхности волокон, отношения волокон к общей площади	Не изучали	Не оказало влияния на показатели роста. Отмечено снижение смертности	(170)
Цыплята-бройлеры Cobb 500 (150 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,5; 1 г кверцетина/кг корма	Отсутствует	Не изучали	К в е р ц е т и н ы Увеличение яркости мышц грудки, повышение окислительной стабильности, снижение МДА	Не изучали	Не отмечено	(171)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (120 гол.), с 1-х по 35-е сут; 0,2, 0,4 и 0,8 г кверцетина/кг корма	Отсутствует	Увеличение в кишечнике экспрессии мРНК СОД (<i>SOD1</i>), ГП (<i>GSH-Px</i>)	Не изучали	Не изучали	Увеличение интенсивности роста и повышение эффективности использования корма	(129)
Цыплята-бройлеров Ross 308 (80 гол., ♂), с 7-х по 28-е сут и с 28-х по 35-е сут; экстракт лиственницы сибирской (<i>Larix sibirica</i>), содержащий 85 % ДКВ в дозировке 0,5 г/кг корма	Отсутствует	Не отмечено	Изменение красноты мышц грудки	Не отмечено	Не отмечено	(172)

							<i>Продолжение таблицы</i> (173, 174)	
Цыплята-бройлеры мясного кросса Смена 7 (300 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,5 мг ДКВ/кг живой массы	Отсутствует	Не изучали	Больше сухого вещества и жира, меньше триптофана и золы	Не изучали	Не изучали	Не изучали		
Цыплята-бройлеры (300 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,5 мг ДКВ/кг живой массы	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Повышение эффективности использования кормов на 9,2 %	(175)	
Цыплята-бройлеры (300 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,5 мг ДКВ/т премикса	Отсутствует	Не изучали	Повышение концентрации белка в тканях печени, мышцах грудки	Не изучали	Не изучали	Не изучали	(176)	
Цыплята-бройлеры (160 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,5 мг ДКВ/кг живой массы	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Повышение продуктивности на 33,4 %, сохранности поголовья — на 5,3 %	(176)	
Цыплята-бройлеры линии Vencobb 400 (192 гол.), с 7-х по 42-е сут; 1 г кварцетина/кг корма с добавлением масла	ОС (включение в рацион жира)	Не изучали	Снижение негативного влияния на качество мяса дополнительного включения в рацион жира	Не изучали	Не изучали	Увеличение убойного выхода	(177)	
Цыплята-бройлеры линии Cobb 500 (40 гол.), с 1-х по 60-е сут; 0,5, 0,75 и 1 г ДКВ/100 кг комбикорма	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Увеличение ЖМ на 11,91-32,78 %	(178)	
Цыплята-бройлеры линии Cobb-500 (40 гол.), с 1-х по 60-е сут; 0,5, 0,75 и 1 г ДКВ/100 кг комбикорма	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Приведение к норме гематологических показателей	Не изучали	Не изучали	(179)	
Цыплята-бройлеры линии Cobb 500 (40 гол.), с 1-х по 60-е сут; 0,5, 0,75 и 1 г ДКВ/100 кг комбикорма	Отсутствует	Не изучали	Повышение массы разделанной туши на 15-38 %, мышечной ткани — на 3 %, грудных мышц — на 0,3-2 %, съедобной части тушки — на 2-6 %	Не изучали	Не изучали	Повышение сохранности цыплят-бройлеров на 20-30 %, ЖМ — на 12-33 %	(180)	

Продолжение таблицы

<p>Цыплята-бройлеры Ross 308 (320 гол.), с 7-х по 35-е сут, получали экстракт лиственницы сибирской (<i>Larix sibirica</i>), содержащий 85 % ДКВ в дозировке 0,5 г/кг корма, а также ДКВ в комплексе с ВЕ в дозировке 0,3 г/кг корма</p>	<p>Хронический ТС (35 °С)</p>	<p>Повышение активности ГП в крови и ОАС</p>	<p>Увеличение массы сердца и размера слепой кишки (ДКВ); увеличение веса селезенки и печени (ДКВ + ВЕ)</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Не обнаружено (27)</p>
<p>Цыплята-бройлеры Ross 308 (100 гол.), с 7-х по 21-е сут; экстракт лиственницы сибирской (<i>Larix sibirica</i>), содержащий 85 % ДКВ в дозировке 0,5 г/кг, 1,5 г/кг и 4,5 г/кг корма</p>	<p>Отсутствует</p>	<p>Повышение активности ГП при максимальной дозировке</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Незначительное увеличение ЖМ при максимальной дозировке (181)</p>
<p>Цыплята-бройлеры Arbor Acre (240 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,02, 0,04 и 0,06 % кверцетина от рациона (кверцетин чистотой 97 %)</p>	<p>Отсутствует</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Не изучали</p>	<p>Увеличение индекса селезенки и тимуса. Повышение выработки иммуноглобулина А (IgA), интерлейкина-4 (ИЛ-4), иммуноглобулина М (IgM) и фактор некроза опухоли-α (TNF-α). Повышение экспрессия TNF-α, связанного с рецептором TNF Фактор-2 (TRAF-2), NF-κBp65 и мРНК интерферона-γ (IFN-γ) и экспрессия ингибитора NF-κB-альфа (IκB-α)</p>	<p>Незначительно (182)</p>

<i>Продолжение таблицы</i>						
Цыплята-бройлеры Arbor Acres (240 гол., ♂), с 1-х по 21-е сут, 200 или 500 мг кверцетина/кг корма	ОС (вызван липополисахаридом)	Снижение количества АФК, МДА. Повышение активности пероксидазы, СОД, содержания глутатиона. Снижение повреждения митохондрий тощей кишки и повышение экспрессии генов, связанных с числом копий митохондриальной ДНК	Не изучали	Облегчение окислительных повреждений кишечника посредством сигнального пути MAPK/Nrf2	Не изучали	(183)
Цыплята-бройлеры Arbor Acres (480 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,2, 0,4 и 0,8 г кверцетина/кг корма (кверцетин чистотой более 95 %)	ОС (вызван окисленным маслом)	Снижение количества МДА	Не изучали	Активация Nrf2 и родственных ему генов (<i>CAT</i> , <i>GP 2</i> , <i>SOD1</i> , <i>HO-1</i> и тиоредоксинин) в слизистой оболочке подвздошной кишки. Укрепление кишечного барьера за счет увеличения экспрессии и секреции муцина 2 (<i>MUC2</i>)	Не изучали	(184)
Цыплята-бройлеры Arbor Acres (300 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,2, 0,4 и 0,6 г кверцетина/кг корма	ОС (вызван стрептозо-тоцином)	Повышение активности антиоксидантных ферментов, снижение содержания МДА и NO. Активизация экспрессии генов, связанных с сигнальным путем PI3K/PKB	Не изучали	Активация экспрессии генов, связанных с сигнальным путем PI3K/PKB, регуляция метаболизма глюкозы	Не изучали	(185)
Цыплята-бройлеры Arbor Acres (640 гол.), с 1-х по 35-е сут; 250, 500 и 1000 мг кверцетина/кг корма (кверцетин чистотой 97 %)	Хронический ТС (32 °C в течение 24 ч с 4-х сут)	Повышение активности СОД (Т-СОД) и АОС	Снижение концентрации МДА, снижение количества абдоминального жира	Повышение концентрации фактора некроза опухоли (TNF-α)	Увеличение массы тела	(186)
Цыплята-бройлеры Cobb (40 гол.), с 1-х по 42-е сут; 0,5 г кверцетина/кг корма	ОС (вызван ОТА)	Приведение к норме нарушения активности ферментов	Не изучали	Снижение иммунотоксических эффектов ОС за счет активации сигнального пути PI3K/AKT его иммуномодулирующей, антиоксидантной и антиапоптотической активности	Не изучали	(79)

<i>Продолжение таблицы</i>						
Цыплята-бройлеры Ross 308 (210 гол.), с 1-х по 42-е сут; 500 и 1000 мг кверцетина/кг, а также 1000 мг кверцетина/кг + 250 мг ВЕ/кг корма	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Повышение ЖМ цыплят, потребления корма	(187)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (1088 гол.), с 1-х по 35-е сут; 0,2, 0,4 и 0,6 г кверцетина/кг корма	Отсутствует	Не изучали	Увеличение ВУС, снижение потерь влаги грудной мышцы	Не изучали	Увеличение ССП, потребления корма, переваримости питательных веществ	(188)
Цыплята-бройлеры Arbor Acres (480 гол.); 0, 0,2, 0,4 и 0,6 г кверцетина/кг корма	Отсутствует	Не изучали	Значительно уменьшился процент жира в брюшной полости за счет благоприятной модуляции кишечной микробиоты	Не изучали	Кверцетин улучшил метаболизм липидов, модулируя кишечный микробный и AMPK/PPAR сигнальный путь	(189)
Цыплята-бройлеры Ross 308 (300 гол.), 100, 200, 300 мг кверцетина/кг корма	Отсутствует	Не изучали	Не изучали	Не изучали	Улучшение показателей конверсии корма	(190)

Примечание. ТС — тепловой стресс, ВС — витамин С, ВЕ — витамин Е, ГП — глутатионпероксидаза, ЛПНП — липопротеиды низкой плотности, ЖМ — живая масса, ПОЛ — перекисное окисление липидов, АОС — антиоксидантный статус, ЩФ — щелочная фосфатаза, ОАС — общий антиоксидантный статус, МДА — малоновый диальдегид, АК — аскорбиновая кислота, АЛТ — аланинаминотрансфераза, АСТ — аспаратаминотрансфераза, ОС — окислительный стресс, СА — септический артрит, МК — мочевая кислота, ОТА — охратоксин А, ССП — среднесуточный прирост, СЖ — сырой жир, СОД — супероксиддисмутаза, ПНЖК — полиненасыщенные жирные кислоты, ВУС — влагоудерживающая способность, ДКВ — дигидрокверцетин, АФК — активные формы кислорода, ТН — термонейтральная, ОБ — общий белок, FCR — коэффициент конверсии корма, БАВ — биологически активные вещества.

Обзор источников литературы также показал, что оптимальная доза скармливания витамина Е курам и бройлерам — 100-400 мг/кг корма. В ряде работ использование в рационах ВЕ не оказало положительного влияния на показатели роста (157, 160, 167), но способствовало снижению смертности птицы (170). В других исследованиях применение в питании бройлеров ВЕ отдельно или в комплексе с другими антиоксидантами способствовало повышению интенсивности роста и конверсии корма (159, 162, 163), показателей АОС (166, 169), потребления кормов (168). Биологические свойства ВЕ в организме проявляются в повышении концентрации токоферола в мышцах (165, 166), плазме крови (166), печени (169). При скармливании витамина отдельно и в сочетании с другими антиоксидантами отмечено повышение антиоксидантной активности крови и мышечной ткани (162, 165-167). Скармливание ВЕ бройлерам и курам приводит к увеличению яркости мышечной ткани, в частности грудки (155, 157, 169, 170), повышению рН мышц (157, 170), увеличению относительной массы печени (157), желудка (159). Обогащение рационов бройлеров комплексом БАВ (селен с витаминами Е и С) улучшает функцию жизненно важных органов, реакцию иммунной системы и показатели роста бройлеров в условиях теплового стресса (192). Комбинация этих добавок смягчает симптоматику ТС более эффективно, чем их отдельные формы, за счет сочетания нескольких механизмов при синергетическом эффекте. Показано, что селен и витамины Е и С тесно взаимодействуют: защищают белки и липиды от окислительного повреждения и активируют функцию иммунной системы. Комбинация ВЕ и селена может снизить негативные последствия ОС в организме птицы, вызванные ксенобиотиками химической природы (165).

Также установлено, что скармливание кверцетина приводит к значительному увеличению экспрессии генов, связанных с окислительными волокнами, способствуя переключению скелетных волокон с гликолитического типа II на окислительный тип I (192). Исследования *in vitro* показали, что кверцетин действует как антиоксидант из-за способности улавливать свободные радикалы посредством последовательной передачи двух электронов и образования окисленного электрофильного продукта (хинона). *In vivo* кверцетин имеет тенденцию генерировать активные формы кислорода за счет передачи электронов кислороду, катализируемого переходными металлами. Образовавшийся супероксид быстро дисмутирует в перекись водорода, которая довольно стабильна. Перекись водорода либо хинон, скорее всего, ответственны за цитопротекторные эффекты, вызывая клеточные эндогенные антиоксидантные ответы (193). Они контролируются фактором транскрипции Nrf2, который активируется в ответ на присутствие перекиси водорода и электрофилов, а затем связывается с родственными ему антиоксидантными элементами, расположенными в промоторных областях генов цитопротекторных, антиоксидантных и дезинтоксикационных ферментов, включая те, которые участвуют в синтезе и рециркуляции широко распространенного эндогенного антиоксиданта глутатиона (194-196).

Таким образом, кверцетин реализует защитные функции либо напрямую, активируя антиоксидантные ферменты, либо косвенно, стимулируя факторы транскрипции, которые усиливают статус антиоксидантной защиты, особенно в условиях стресса. В рассмотренных нами источниках кверцетин включался в рационы птицы в количестве 0,2-1 г/кг корма. Скармливание кверцетина в указанных дозировках способствует повышению экспрессии генов антиоксидантной защиты (129), снижению концентрации МДА, АФК, повышению активности глутатиона (184), в том числе в условиях воздействия окислительного (185, 186), теплового стресса (79). Дозировка вве-

дения таксифолина (дигидрокверцетина) в рационы бройлеров и кур значительно меньше, чем кверцетина, ввиду его повышенной биологической активности — 0,005-0,01 г/кг корма. Авторы отмечали улучшение качественных показателей мяса бройлеров под влиянием ДКВ (173, 174, 180).

В заключение стоит отметить, что современные исследования стрессов и их корректировки в животноводстве и птицеводстве достаточно многочисленны, но в некоторой части противоречивы, поэтому актуальность поиска наиболее эффективных кормовых средств, противодействующих последствиям стрессов, сохраняется. Необходимы биомаркеры, позволяющие проводить прижизненную оценку качества получаемой продукции, и изучение корреляционных взаимосвязей между показателями биохимического, антиоксидантного, гормонального статуса животного и качеством мяса. Это позволит более целенаправленно использовать антиоксиданты в кормлении животных и птицы. Следует учитывать синергическое влияние антиоксидантов-адаптогенов на организм и продукты убоя при комплексном использовании в составе рационов, особенно при стрессах разной природы. На наш взгляд, перспективно применение природных флавоноидов в комплексе с витаминами, что усилит антиоксидантную защиту, резистентность и, как следствие, обеспечит получение мясной продукции улучшенного качества. Возможно, что именно сочетание природных адаптогенов как кормовых добавок окажется наиболее эффективным приемом в защите от последствий стрессов. Этим обусловлен интерес к продолжению таких исследований как на птице, так и на моногастричных животных.

Итак, в птицеводстве стрессы различной природы (климатический, транспортный, кормовой, ветеринарный, плотность размещения) оказывают существенное влияние на организм, в первую очередь на иммунную и антиоксидантную системы. Также неблагоприятные условия приводят к существенным потерям в сохранности и приростах живой массы, снижается конверсия кормов. Наиболее существенно негативное влияние стрессов на качество продукции. Так, при уменьшении доли мышечной массы происходит накопление продуктов перекисного окисления липидов, что снижает рН мяса и повышает долю мяса PSE (pale, soft, exudative). Наиболее эффективным и простым приемом защиты от стрессов и их негативных последствий следует признать скармливание животным антиоксидантов. Во многих работах установлена значительная положительная роль витаминов С и Е, а также биофлавоноидов при скармливании курам-несушкам и бройлерам при различных стрессах, наблюдаемых в современном промышленном птицеводстве. Витамины и биофлавоноиды способствуют усилению экспрессии генов антиоксидантной защиты и снижению перекисного окисления липидов. Они защищают белки и липиды от окислительного повреждения и повышают иммунную функцию в целом, что приводит к улучшению количественных и качественных показателей мясной продуктивности.

ФГБНУ ФИЦ животноводства —
ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск,
пос. Дубровицы, 60,
e-mail: 652202@mail.ru ✉, nek_roman@mail.ru, aly4383@mail.ru

Поступила в редакцию
21 мая 2022 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2022, V. 57, № 4, pp. 628-663

ANTIOXIDANT STATUS AND QUALITY OF POULTRY AND ANIMAL MEAT UNDER STRESS AND ITS CORRECTION WITH THE USE

OF VARIOUS ADAPTOGENS (review)

N.V. Bogolyubova ✉, R.V. Nekrasov, A.A. Zelenchenkova

Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail 652202@mail.ru (✉ corresponding author), nek_roman@mail.ru, aly4383@mail.ru

ORCID:

Bogolyubova N.V. orcid.org/0000-0002-0520-7022

Zelenchenkova A.A. orcid.org/0000-0001-8862-3648

Nekrasov R.V. orcid.org/0000-0003-4242-2239

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially from the Russian Science Foundation (projects Nos. 22-16-00024 and 19-16-00068-П)

Received May 21, 2022

doi: 10.15389/agrobiol.2022.4.628eng

Abstract

Modern animal breeds and poultry crosses do not fully realize their genetic potential for productivity due to the impact of various stresses (V.I. Fisinin et al., 2015). Recently, there has been a marked public concern about the negative impact of intensive rearing on animal health, food safety and quality. Animal health and welfare are prerequisites for both productive performance and obtaining products that are safe for human (K. Proudfoot et al., 2015). Oxidative stress caused by an imbalance between production and accumulation of oxygen reactive species (ROS) and the ability of a biological system to detoxify these reactive products under feed, climatic, technological, and biological stresses negatively affects health, growth rates and product quality. Due to the high level of polyunsaturated fatty acids and non-heme iron Fe^{3+} and Fe^{2+} , chicken meat is most susceptible to lipid peroxidation compared to beef and pork (I.F. Gorlov et al., 2016). The present review paper summarizes the current state of knowledge on the influence of stress factors, including housing conditions (climatic, stocking density), transportation, feeding, veterinary measures on the antioxidant status, meat oxidative properties and quality on the example of chickens and broilers. Climatic and other conditions determine behavioral, physiological and immune responses of birds, affect their antioxidant, biochemical status and productivity. Meat quality deteriorates, as can be seen from changes in pH, muscle protein structure, increased lipid oxidation and the appearance of meat defects (K. Rosenvold et al., 2003; M. Petracci et al., 2015; P.F. Surai et al., 2019). The negative impact on meat quality depends on the type of stresses (chronic or acute), the animal genotype, and the type of muscle fibers (N.A. Mir et al., 2017; P.A. Gonzalez-Rivas et al., 2020; M. Zhang et al., 2020). Transport stress is the result of the simultaneous action of several stress factors (L. Zhang et al., 2014). The intensity of the impact on the body and the change in biochemical markers of stress depends on the conditions of transportation, feeding and keeping, individual characteristics and health status of the bird. Data on the impact of stress on metabolism in animals and birds are rather contradictory. The use of synthetic or natural antioxidants in animal husbandry is currently being discussed due to their ability to influence oxidative stress and meat quality (A. Gouda et al., 2020). This review also provides an analysis of ways to improve the antioxidant protection and meat quality using natural adaptogens (vitamins E and C, taxifolin and quercetin) as feed additives (M. Mazur-Kušnerek et al., 2019; V.R. Pirgozliev et al., 2020). The study of biomarkers of antioxidant protection is essential for obtaining high quality meat. The use of antioxidants enhances antioxidant protection, increases animal resistance, and improves product quality. This method of preventing the negative effects of stress in animal husbandry and poultry farming is considered the most acceptable and cheapest, especially when natural adaptogens are combined in the diet, which can be more effective than the action of each adaptogen separately.

Keywords: stress, meat quality, antioxidant status, vitamin E, vitamin C, taxifolin, quercetin.

REFERENCES

1. Fisinin V.I., Kavtrashvili A.Sh. Heat stress in poultry. I. Danger, related physiological changes and symptoms (review) *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2015, 2(50): 162-171 (doi: 10.15389/agrobiol.2015.2.162rus).
2. Rovers A., Brümmer N., Christoph-Schulz I. Citizens' perception of different aspects regarding German livestock production. In: *Proc. 12th International forum on system dynamics and innovation in food networks*. Innsbruck-Igls, Austria, 2018: 208-215.
3. Proudfoot K., Habing G. Social stress as a cause of diseases in farm animals: Current knowledge and future directions. *The Veterinary Journal*, 2015, 206(1): 15-21 (doi: 10.1016/j.tvjl.2015.05.024).
4. Ouali A., Herrera-Mendez C.H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L., Sentandreu M.A. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 2006, 74(1): 44-58 (doi: 10.1016/j.meatsci.2006.05.010).
5. Xing T., Zhao X., Wang P., Chen H., Xu X., Zhou G. Different oxidative status and expression

- of calcium channel components in stress-induced dysfunctional chicken muscle. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(4): 1565-1573 (doi: 10.2527/jas.2016.0868).
6. Surai P.F., Kochish I.I., Fisinin V.I., Kidd M.T. Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: an update. *Antioxidants*, 2019, 8(7): E235 (doi: 10.3390/antiox8070235).
 7. Sies H., Berndt C., Jones D.P. Oxidative stress. *Annual Review of Biochemistry*, 2017, 86: 1-34 (doi: 10.1146/annurev-biochem-061516-045037).
 8. Estévez M. Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poultry Science*, 2015, 94(6): 1368-1378 (doi: 10.3382/ps/pev094).
 9. Mishra B., Jha R. Oxidative stress in the poultry gut: potential challenges and interventions. *Frontiers in Veterinary Science*, 2019, 6: 60 (doi: 10.3389/fvets.2019.00060).
 10. Surai P.F., Fisinin V.I. Vitagenes in poultry production. Part I. Technological and environmental stresses. *World's Poultry Science Journal*, 2016, 72(4): 721-733 (doi: 10.1017/S0043933916000714).
 11. Bogolyubova N.V., Chabaev M.G., Fomichev Yu.P., Tsis E.Yu., Semenova A.A., Nekrasov R.V. Ways to reduce adverse effects of stress in pigs using nutritional factors. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2019, 9(2): 239-245 (doi: 10.15421/2019_70).
 12. Petracci M., Mudalal S., Soglia F., Cavani C. Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 2015, 71(2): 363-374 (doi: 10.1017/S0043933915000367).
 13. Zhang M., Dunshea F.R., Warner R.D., DiGiacomo K., Osei-Amponsah R., Chauhan S.S. Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration: a review. *International Journal of Biometeorology*, 2020, 64(9): 1613-1628 (doi: 10.1007/s00484-020-01929-6).
 14. Estevez M., Petracci M. Benefits of magnesium supplementation to broiler subjected to dietary and heat stress: improved redox status, breast quality and decreased myopathy incidence. *Antioxidants*, 2019, 8(10): 456 (doi: 10.3390/antiox8100456).
 15. Pietrzak E., Dunisławska A., Siwek M., Zampiga M., Sirri F., Meluzzi A., Tavaniello S., Maiorano G., Sławinska A. Splenic gene expression signatures in slow-growing chickens stimulated in ovo with galactooligosaccharides and challenged with heat. *Animals*, 2020, 10(3): 474 (doi: 10.3390/ani10030474).
 16. Hofmann T., Schmucker S.S., Bessei W., Grashorn M., Stefanski V. Impact of housing environment on the immune system in chickens: a review. *Animals*, 2020, 10(7): 1138 (doi: 10.3390/ani10071138).
 17. He X., Lu Z., Ma B., Zhang L., Li, J., Jiang, Y., Zhou G., Gao F. Effects of chronic heat exposure on growth performance, intestinal epithelial histology, appetite-related hormones and genes expression in broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(12): 4471-4478 (doi: 10.1002/jsfa.8971).
 18. Shakeri M., Cottrell J.J., Wilkinson S., Le H.H., Suleria H.A., Warner R.D., Dunshea F.R. Growth performance and characterization of meat quality of broiler chickens supplemented with betaine and antioxidants under cyclic heat stress. *Antioxidants*, 2019, 8(9): 336 (doi: 10.3390/antiox8090336).
 19. Sahin K., Sahin N., Kucuk O., Hayirli A., Prasad A.S. Role of dietary zinc in heat-stressed poultry: a review. *Poultry Science*, 2009, 88(10): 2176-2183 (doi: 10.3382/ps.2008-00560).
 20. Abidin Z., Khatoon A. Heat stress in poultry and the beneficial effects of ascorbic acid (vitamin C) supplementation during periods of heat stress. *World's Poultry Science Journal*, 2013, 69(1): 135-152 (doi: 10.1017/S0043933913000123).
 21. Borges S.A., Fischer DaSilva A.V., Majorca A., Hooge D.M., Cummings K.R. Physiological responses of broiler chicken to heat stress and electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalent per kilogram). *Poultry Science*, 2004, 83(9): 1551-1558 (doi: 10.1093/ps/83.9.1551).
 22. Attia Y.A., Hassan R.A., Qota E.M. Recovery from adverse effects of heat stress on slow growing chicks in the tropics I: Effect of ascorbic acid and different levels of betaine. *Tropical Animal Health and Production*, 2009, 41: 807-818 (doi: 10.1007/s11250-008-9256-9).
 23. Yahav S., McMurty J. Thermo tolerance acquisition in broiler chickens by temperature conditioning early in life — the effect of timing and ambient temperature. *Poultry Science*, 2001, 80(12): 1662-1666 (doi: 10.1093/ps/80.12.1662).
 24. Garriga C., Hunter R.R., Amat C., Planas J.M., Mitchell M.A., Moretó M. Heat stress increases apical glucose transport in the chicken jejunum. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2006, 290(1): 195-201 (doi: 10.1152/ajpregu.00393.2005).
 25. Al-Homidan A.H. Effect of environmental factors on ammonia and dust production and broiler performance. *British Poultry Science*, 1998, 39: 9-10 (doi: 10.1080/00071669888052).
 26. Donker R.A., Neeuwland M.G., van der Zijpp A.J. Heat-stress influences on antibody production in chicken lines selected for high and low immune responsiveness. *Poultry Science*, 1990, 69(4): 599-607 (doi: 10.3382/ps.0690599).
 27. Pirgozliev V.R., Westbrook C.A., Woods S.L., Mansbridge S.C., Rose S.P., Whiting I.M., Yovchev D.G., Atanasov A.G., Kljak K., Staykova G.P., Ivanova S.G., Karageçili M.R., Karadas F., Stringhini J.H. Feeding dihydroquercetin and vitamin E to broiler chickens reared at standard and high ambient temperatures. *Archives of Animal Nutrition*, 2020, 74(6): 496-511 (doi:

10.1080/1745039X.2020.1820807).

28. Attia Y.A., Al-Harhi M.A., Elnaggar A.Sh. Productive, physiological and immunological responses of two broiler strains fed different dietary regimens and exposed to heat stress. *Italian Journal of Animal Science*, 2018, 17(3): 686-697 (doi: 10.1080/1828051X.2017.1416961).
29. Xing T., Gao F., Tume R.K., Zhou G. H., Xu X.L. Stress effects on meat quality: a mechanistic perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(2): 380-401 (doi: 10.1111/1541-4337.12417).
30. Altan Ö., Pabuçcuoğlu A., Altan A., Konyalioglu S., Bayraktar H. Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. *British Poultry Science*, 2003, 44(4): 545-550 (doi: 10.1080/00071660310001618334).
31. Sen C.K. Oxidants and antioxidants in exercise. *Journal of Applied Physiology*, 1995, 79(3): 675-686 (doi: 10.1152/jap.1995.79.3.675).
32. Clanton T.L., Hypoxia-induced reactive oxygen species formation in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 2007, 102(6): 2379-2388 (doi: 10.1152/jap.01298.2006).
33. Mujahid A., Akiba Y., Toyomizu M. Acute heat stress induces oxidative stress and decreases adaptation in young white leghorn cockerels by downregulation of avian uncoupling protein. *Poultry Science*, 2007, 86(2): 364-371 (doi: 10.1093/ps/86.2.364).
34. Leishman E.M., Ellis J., van Staaveren N., Barbut S., Vanderhout R.J., Osborne V.R., Wood B.J., Harlander-Matauschek A., Baes C.F., Meta-analysis to predict the effects of temperature stress on meat quality of poultry. *Poultry Science*, 2021, 100(11): 101471 (doi: 10.1016/j.psj.2021.101471).
35. Hashizawa Y., Kubota M., Kadowaki M., Fujimura S. Effect of dietary vitamin E on broiler meat qualities, color, water-holding capacity and shear force value, under heat stress conditions. *Animal Science Journal*, 2013, 84(11): 732-736 (doi: 10.1111/asj.12079).
36. Gonzalez-Rivas P.A., Chauhan S.S., Ha M., Fegan N., Dunshea F.R., Warner R.D. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: a review. *Meat Science*, 2020, 162: 108025 (doi: 10.1016/j.meatsci.2019.108025).
37. Mir N.A., Rafiq A., Kumar F., Singh V., Shukla V. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 54: 2997-3009 (doi: 10.1007/s13197-017-2789-z).
38. Temim S., Chagneau A.-M., Peresson R., Tesseraud S. Chronic heat exposure alters protein turnover of three different skeletal muscles in finishing broiler chickens fed 20 or 25% protein diets. *The Journal of Nutrition*, 2000, 130(4): 813-819 (doi: 10.1093/jn/130.4.813).
39. Ezzine S.B.-O., Everaert N., Metayer-Coustard S., Rideau N., Berri C., Joubert R., Temim S., Collin A., Tesseraud S. Effects of heat exposure on Akt/S6K1 signaling and expression of genes related to protein and energy metabolism in chicken (*Gallus gallus*) pectoralis major muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2010, 157(3): 281-287.
40. Akşit M., Yalcin S., Özkan S., Metin K., Özdemir D. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 2006, 85(11): 1867-1874 (doi: 10.1093/ps/85.11.1867).
41. Love J.D., Pearson A.M. Lipid oxidation in meat and meat products—a review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1971, 48(10): 547-549 (doi: 10.1007/BF02544559).
42. Huang C., Jiao H., Song Z., Zhao J., Wang X., Lin H. Heat stress impairs mitochondria functions and induces oxidative injury in broiler chickens. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(5): 2144-2153 (doi: 10.2527/jas.2014-8739).
43. Feng J.-H., Zhang M.-H., Zheng S.-S., Xie P., Li J.-Q. The effect of cyclic high temperature on mitochondrial ROS production, Ca²⁺-ATPase activity and breast meat quality of broilers. *Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica*, 2006, 37(12): 1304-1311.
44. Mujahid A., Yoshiki Y., Akiba Y., Toyomizu M. Superoxide radical production in chicken skeletal muscle induced by acute heat stress. *Poultry Science*, 2005, 84(2): 307-314 (doi: 10.1093/ps/84.2.307).
45. Baziz H.A., Geraert P.A., Padilha J.C.F., Guillaumin S. Chronic heat exposure enhances fat deposition and modifies muscle and fat partition in broiler carcasses. *Poultry Science*, 1996, 75(4): 505-513 (doi: 10.3382/ps.0750505).
46. Lu Q., Wen J., Zhang H. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. *Poultry Science*, 2007, 86(6): 1059-1064 (doi: 10.1093/ps/86.6.1059).
47. Zhang L., Yi Y., Guo Q., Sun Y., Ma S., Xiao S., Geng J., Zheng Z., Song S. Hsp90 interacts with AMPK and mediates acetyl-CoA carboxylase phosphorylation. *Cellular Signalling*, 2012, 24(4): 859-865 (doi: 10.1016/j.cellsig.2011.12.001).
48. Ma B., He X., Lu Z., Zhang L., Li J., Jiang Y., Zhou G., Gao F. Chronic heat stress affects muscle hypertrophy, muscle protein synthesis and uptake of amino acid in broilers via insulin like growth factor-mammalian target of rapamycin signal pathway. *Poultry Science*, 2018, 97(12): 4150-4158 (doi: 10.3382/ps/pey291).
49. Lu Z., He X., Ma B., Zhang L., Li J., Jiang Y., Zhou G., Gao F. Dietary taurine supplementation improves breast meat quality in chronic heat-stressed broilers via activating Nrf2 pathway

- and protecting mitochondria from oxidative attack. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 99(3): 1066-1072 (doi: 10.1002/jsfa.9273).
50. Jiang N., Wang P., Xing T., Han M., Xu X. An evaluation of the effect of water-misting sprays with forced ventilation on the occurrence of pale, soft, and exudative meat in transported broilers during summer: impact of the thermal microclimate. *Journal of Animal Science*, 2016, 94(5): 2218-2227 (doi: 10.2527/jas.2015-9823).
 51. Xing T., Li Y.H., Li M., Jiang N.N., Xu X.L., Zhou G.H. Influence of transport conditions and pre-slaughter water shower spray during summer on protein characteristics and water distribution of broiler breast meat. *Animal Science Journal*, 2016, 87(11): 1413-1420 (doi: 10.1111/asj.12593).
 52. Zhang C., Zhao X., Wang L., Yang L., Chen X., Geng Z. Resveratrol beneficially affects meat quality of heat-stressed broilers which is associated with changes in muscle antioxidant status. *Animal Science Journal*, 2017, 88(10): 1569-1574 (doi: 10.1111/asj.12812).
 53. Li W., Wei F., Xu B., Sun Q., Deng W., Ma H., Bai J., Li S. Effect of stocking density and alpha-lipoic acid on the growth performance, physiological and oxidative stress and immune response of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2019, 32(12): 1914-1922 (doi: 10.5713/ajas.18.0939).
 54. Goo D., Kim J.H., Park G.H., Delos Reyes J.B., Kil D.Y. Effect of heat stress and stocking density on growth performance, breast meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. *Animals*, 2019, 9(3): 107 (doi: 10.3390/ani9030107).
 55. Wang B., Min Z., Yuan J., Zhang B., Guo Y. Effects of dietary tryptophan and stocking density on the performance, meat quality, and metabolic status of broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2014, 5(1): 44 (doi: 10.1186/2049-1891-5-44).
 56. Yu D.G., Namgung N., Kim J.H., Won S.Y., Choi W.J., Kil D.Y. Effects of stocking density and dietary vitamin C on performance, meat quality, intestinal permeability, and stress indicators in broiler chickens. *Journal of Animal Science and Technology*, 2021, 63(4): 815-826 (doi: 10.5187/jast.2021.e77).
 57. Castellini C., Mugnai C., Dal Bosco A. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science*, 2002, 60(3): 219-225 (doi: 10.1016/s0309-1740(01)00124-3).
 58. Perai A.H., Kermanshahi H., Moghaddam H.N., Zarban A. Effects of supplemental vitamin C and chromium on metabolic and hormonal responses, antioxidant status, and tonic immobility reactions of transported broiler chickens. *Biological Trace Element Research*, 2014, 157: 224-233 (doi: 10.1007/s12011-013-9879-1).
 59. Zhang L., Li J.L., Gao T., Lin M., Wang X.F., Zhu X.D., Gao F., Zhou G.H. Effects of dietary supplementation with creatine monohydrate during the finishing period on growth performance, carcass traits, meat quality and muscle glycolytic potential of broilers subjected to transport stress. *Animal*, 2014, 8(12): 1955-1962 (doi: 10.1017/S1751731114001906).
 60. Tamzil M.H., Indarsih B., Jaya I.N.S. Rest before slaughtering alleviates transportation stress and improves meat quality in broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 2019, 18(12): 585-590 (doi: 10.3923/ijps.2019.585.590).
 61. Han H.-S., Kang G., Kim J.S., Choi B.H., Koo S.-H. Regulation of glucose metabolism from a liver-centric perspective. *Experimental & Molecular Medicine*, 2016, 48(3): e218 (doi: 10.1038/emm.2015.122).
 62. Xing T., Xu X., Jiang N., Deng S. Effect of transportation and pre-slaughter water shower spray with resting on AMP-activated protein kinase, glycolysis and meat quality of broilers during summer. *Animal Science Journal*, 2016, 87(2): 299-307 (doi: 10.1111/asj.12426).
 63. Zhang L., Wang X., Li J., Zhu X., Gao F., Zhou G. Creatine monohydrate enhances energy status and reduces glycolysis via inhibition of AMPK pathway in pectoralis major muscle of transport-stressed broilers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(32): 6991-6999 (doi: 10.1021/acs.jafc.7b02740).
 64. Feng J., Li J., Wu L., Yu Q., Ji J., Wu J., Dai W., Guo C. Emerging roles and the regulation of aerobic glycolysis in hepatocellular carcinoma. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*, 2020, 39: 126 (doi: 10.1186/s13046-020-01629-4).
 65. Halliday W., Ross J., Christie G., Jones R. Effect of transportation on blood metabolites in broilers. *British Poultry Science*, 1977, 18(6): 657-659 (doi: 10.1080/00071667708416417).
 66. Zhang C., Wang L., Zhao X.H., Chen X.Y., Yang L., Geng Z.Y. Dietary resveratrol supplementation prevents transport-stress-impaired meat quality of broilers through maintaining muscle energy metabolism and antioxidant status. *Poultry Science*, 2017, 96(7): 2219-2225 (doi: 10.3382/ps/pex004).
 67. Zheng A., Lin S., Pirzado S.A., Chen Z., Chang W., Cai H., Liu G. Stress associated with simulated transport, changes serum biochemistry, postmortem muscle metabolism, and meat quality of broilers. *Animals*, 2020, 10: 1442 (doi: 10.3390/ani10081442).
 68. Nawaz A.H., Amoah K., Leng Q.Y., Zheng J.H., Zhang W.L., Zhang L. Poultry response to heat stress: its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, 8: 699081 (doi: 10.3389/fvets.2021.699081).
 69. Beauclercq S., Nadal-Desbarats L., Hennequet-Antier C., Collin A., Tesseraud S., Bourin M.,

- Bihan-Duval E.L., Berri C. Serum and muscle metabolomics for the prediction of ultimate pH, a key factor for chicken-meat quality. *Journal of Proteome Research*, 2016, 15(4): 1168-1178 (doi: 10.1021/acs.jproteome.5b01050).
70. de Souza Langer R.O., Simões G.S., Soares A.L., Oba A., Rossa A., Shimokomaki M., Ida E.I. Broiler transportation conditions in a Brazilian commercial line and the occurrence of breast PSE (pale, soft, exudative) meat and DFD-like (dark, firm, dry) meat. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2010, 53(5): 1161-1167 (doi: 10.1590/S1516-89132010000500021).
 71. Wilpe S.V., Koornstra R.H.N., Brok M.D., Groot J.W.D., Blank C., Vries J.M.D., Gerritsen W.R., Mehraet N. Lactate dehydrogenase: a marker of diminished antitumor immunity. *OncoImmunology*, 2020, 9(1): 1731942 (doi: 10.1080/2162402X.2020.1731942).
 72. Zhang C., Geng Z.Y., Chen K.K., Zhao X., Wang C. L-theanine attenuates transport stress-induced impairment of meat quality of broilers through improving muscle antioxidant status. *Poultry Science*, 2019, 98(10): 4648-4655 (doi: 10.3382/ps/pez164).
 73. Gou Z., Abouelezz K.F.M., Fan Q., Li L., Lin X., Wang Y., Cui X., Ye J., Masoud M.A., Jiang S., Ma X. Physiological effects of transport duration on stress biomarkers and meat quality of medium-growing yellow broiler chickens. *Animal*, 2021, 15(2): 100079 (doi: 10.1016/j.animal.2020.100079).
 74. Zhang L., Yue H.Y., Wu S.G., Xu L., Zhang H.J., Yan H.J., Cao Y.L., Gong Y.S., Qi G.H. Transport stress in broilers. II. Superoxide production, adenosine phosphate concentrations, and mRNA levels of avian uncoupling protein, avian adenine nucleotide translocator, and avian peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1alpha in skeletal muscles. *Poultry Science*, 2010, 89(3): 393-400 (doi: 10.3382/ps.2009-00281).
 75. Archile-Contreras A.C., Purslow P.P. Oxidative stress may affect meat quality by interfering with collagen turnover by muscle fibroblasts. *Food Research International*, 2011, 44(2): 582-588 (doi: 10.1016/j.foodres.2010.12.002).
 76. Wang X.F., Zhu X.D., Li Y.J., Liu Y., Li J.L., Gao F., Zhou G.H., Zhang L. Effect of dietary creatine monohydrate supplementation on muscle lipid peroxidation and antioxidant capacity of transported broilers in summer. *Poultry Science*, 2015, 94(11): 2797-2804 (doi: 10.3382/ps/pev255).
 77. Mazur-Kuśnerek M., Antoszkiewicz Z., Lipiński K., Kaliniewicz J., Kotlarczyk S., Żukowski P. The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens exposed to high temperature. *Archives of Animal Nutrition*, 2019, 73(2): 111-126 (doi: 10.1080/1745039X.2019.1572342).
 78. Koch R.E. Hill G. E. An assessment of techniques to manipulate oxidative stress in animals. *Functional Ecology*, 2016, 31(1): 9-21 (doi: 10.1111/1365-2435.12664).
 79. Abdelrahman R. E., Khalaf A.A.A., Elhady M.A., Ibrahim M.A., Hassanen E.I., Noshay P.A. Quercetin ameliorates ochratoxin A-Induced immunotoxicity in broiler chickens by modulation of PI3K/AKT pathway. *Chemico-Biological Interactions*, 2022, 351: 109720 (doi: 10.1016/j.cbi.2021.109720).
 80. Sorrenti V., Giacomo C.D., Acquaviva R., Barbagallo I., Bognanno M., Galvano F. Toxicity of ochratoxin A and its modulation by antioxidants: a review. *Toxins*, 2013, 5(10): 1742-1766 (doi: 10.3390/toxins5101742).
 81. Hameed M.R., Khan M.Z., Saleemi M.K., Khan A., Akhtar M., Hassan Z.-ul-, Hussain Z. Study of ochratoxin A (OTA)-induced oxidative stress markers in broiler chicks. *Toxin Reviews*, 2017, 36(4): 270-274 (doi: 10.1080/15569543.2017.1303780).
 82. Tong C., Li P., Yu L.-H., Li L., Li K., Chen Y., Yang S.H., Long M. Selenium-rich yeast attenuates ochratoxin A-induced small intestinal injury in broiler chickens by activating the Nrf2 pathway and inhibiting NF-KB activation. *Journal of Functional Foods*, 2020, 66: 103784 (doi: 10.1016/j.jff.2020.103784).
 83. Al-Waeli A., Zoidis E., Pappas A., Demiris N., Zervas G., Fegeros K. The role of organic selenium in cadmium toxicity: effects on broiler performance and health status. *Animal*, 2013, 7(3): 386-393 (doi: 10.1017/S1751731112001590).
 84. Xu F., Liu S., Li S. Effects of selenium and cadmium on changes in the gene expression of immune cytokines in chicken splenic lymphocytes. *Biological Trace Element Research*, 2015, 165: 214-221 (doi: 10.1007/s12011-015-0254-2).
 85. Shaikh Z.A. Vu T.T., Zaman K. Oxidative stress as a mechanism of chronic cadmium-induced hepatotoxicity and renal toxicity and protection by antioxidants. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 1999, 154(3): 256-263 (doi: 10.1006/taap.1998.8586).
 86. Zhao W., Liu W., Chen X., Zhu Y., Zhang Z., Yao H., Xu S. Four endoplasmic reticulum resident selenoproteins may be related to the protection of selenium against cadmium toxicity in chicken lymphocytes. *Biological Trace Element Research*, 2014, 161: 328-333 (doi: 10.1007/s12011-014-0135-0).
 87. Li J.-L., Jiang C.-Y., Li S., Xu S.-W. Cadmium induced hepatotoxicity in chickens (*Gallus domesticus*) and ameliorative effect by selenium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, 96: 103-109 (doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.07.007).
 88. Gao J., Lin H., Wang X., Song Z., Jiao H. Vitamin E supplementation alleviates the oxidative

- stress induced by dexamethasone treatment and improves meat quality in broiler chickens. *Poultry Science*, 2010, 89(2): 318-327 (doi: 10.3382/ps.2009-00216).
89. Lin H., Decuyper E., Buyse J. Oxidative stress induced by corticosterone administration in broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*): 1. Chronic exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2004, 139(4): 737-744 (doi: 10.1016/j.cbpc.2004.09.013).
 90. Chen X., Zhang L., Li J., Gao F., Zhou G. Hydrogen peroxide-induced change in meat quality of the breast muscle of broilers is mediated by ROS generation, apoptosis, and autophagy in the NF- κ B signal pathway. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(19): 3986-3994 (doi: 10.1021/acs.jafc.7b01267).
 91. Rosenvold K., Andersen H.J. Factors of significance for pork quality — a review. *Meat Science*, 2003, 64(3): 219-237 (doi: 10.1016/S0309-1740(02)00186-9).
 92. Gorlov I.F., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. *Industriya pitaniya*, 2016, 1: 44-53 (in Russ.).
 93. Madkour M., Salman F.M., El-Wardany I., Abdel-Fattah S.A., Alagawany M., Hashem N.M., Abdelnour S.A., El-Kholy M.S., Dhama K. Mitigating the detrimental effects of heat stress in poultry through thermal conditioning and nutritional manipulation. *Journal of Thermal Biology*, 2022, 103: 103169 (doi: 10.1016/j.jtherbio.2021.103169).
 94. Surai P.F. *Selenium in poultry nutrition and health*. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers, 2018 (doi: 10.3920/978-90-8686-865-0).
 95. Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Semenova A.A., Nasonova V.V., Polishchuk E.K. *Voprosy pitaniya*, 2021, 90, 1(533): 74-84 (doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-1-74-84) (in Russ.).
 96. Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Fomichev Yu.P., Chabaev M.G., Semenova A.A., Nasonova V.V. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy innovatsionnogo razvitiya zhivotnovodstva»* [Proc. Int. Conf. «Current challenges of innovative development of animal husbandry»]. Bryansk, 2019: 369-373 (in Russ.).
 97. Semenova A., Kuznetsova T., Nasonova V., Nekrasov R., Bogolyubova N. Effect of modelled stress and adaptogens on microstructural characteristics of pork from fast-growing hybrid animals. *Potravinarstvo*, 2020, 14(1): 656-663 (doi: 10.5219/1388).
 98. Semenova A.A., Kuznetsova T.G., Nasonova V.V., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Tsis E.Yu. Use of antioxidants as adaptogens fed to pigs (*Sus scrofa domesticus* Erleben, 1777) (meta-analysis). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2020, 55(6): 1107-1125 (doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1107rus).
 99. Semenova A.A., Nasonova V.V., Kuznetsova T.G., Tunieva E.K., Bogolyubova N.V., Nekrasov R.V. A study on the effect of dihydroquercetin added into a diet of growing pigs on meat quality. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(S4): 364 (doi: 10.1093/jas/skaa278.639).
 100. Semenova A.A., Nasonova V.V., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Mishurov A.V. *Vse o myase*, 2020, 5S: 318-320 (doi: 10.21323/2071-2499-2020-5S-318-320) (in Russ.).
 101. Zhao W., Li, J., Xing T., Zhang L., Gao F. Effects of guanidinoacetic acid and complex antioxidant supplementation on growth performance, meat quality, and antioxidant function of broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(9): 3961-3968 (doi: 10.1002/jsfa.11036).
 102. Abu Hafsa S.H., Ibrahim S.A. Effect of dietary polyphenol-rich grape seed on growth performance, antioxidant capacity and ileal microflora in broiler chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(1): 268-275 (doi: 10.1111/jpn.12688).
 103. Gouda A., Amer S.A., Gabr S., Tolba S.A. Effect of dietary supplemental ascorbic acid and folic acid on the growth performance, redox status, and immune status of broiler chickens under heat stress. *Tropical Animal Health and Production*, 2020, 52(6): 2987-2996 (doi: 10.1007/s11250-020-02316-4).
 104. Pardue S.L., Thaxton J.P. Ascorbic acid in poultry. A review. *World's Poultry Science Journal*, 1986, 42(2): 107-123 (doi: 10.1079/WPS19860009).
 105. Herrera E., Barbas C. Vitamin E: action, metabolism and perspectives. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 2001, 57: 43-56 (doi: 10.1007/BF03179812).
 106. Ulatowski L., Manor D. Vitamin E trafficking in neurologic health and disease. *Annual Review of Nutrition*, 2013, 33: 87-103 (doi: 10.1146/annurev-nutr-071812-161252).
 107. Khan R.U., Rahman Z.U., Nikousefat Z., Javdani M., Tufarelli V., Dario C., Selvaggi M., Laudadio V. Immunomodulating effects of vitamin E in broilers. *World's Poultry Science Journal*, 2012, 68(1): 31-40 (doi: 10.1017/S0043933912000049).
 108. Klasing K.C., Korver D.R. Nutritional diseases. In: *Diseases of poultry. V. 2*. Wiley-Blackwell, 2020: 1257-1285.
 109. Niu Z.Y., Min Y.N., Liu F.Z. Dietary vitamin E improves meat quality and antioxidant capacity in broilers by upregulating the expression of antioxidant enzyme genes. *Journal of Applied Animal Research*, 2017, 46(1): 397-401 (doi: 10.1080/09712119.2017.1309321).
 110. Van Vleet J.V., Ferrans V.J. Ultrastructural changes in skeletal muscle of selenium-vitamin E-deficient chicks. *American Journal of Veterinary Research*, 1976, 37: 1081-1089.
 111. Awadin W.F., Eladi A.H., El-Shafei R.A., El-Adl M.A., Ali H.S. Immunological and pathological

- effects of vitamin E with Femomune Plus® on chickens experimentally infected with avian influenza virus H9N2. *Veterinary Microbiology*, 2019, 231: 24-32 (doi: 10.1016/j.vetmic.2019.02.028).
112. Ibrahim H.A.-F., Aziz A. Alleviating transport stress of broiler using vitamin C and acetyl salicylic acid. *Journal of Animal and Poultry Production*, 2021, 12(5): 169-173 (doi: 10.21608/jappmu.2021.178565).
 113. Shakeri M., Oskoueian E., Le H.H., Shakeri M. Strategies to combat heat stress in broiler chickens: unveiling the roles of selenium, vitamin E and vitamin C. *Veterinary Sciences*, 2020, 7(2): 71 (doi: 10.3390/vetsci7020071).
 114. Harrison F.E., May J.M. Vitamin C function in the brain: vital role of the ascorbate transporter SVCT2. *Free Radical Biology and Medicine*, 2009, 46(6): 719-730 (doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2008.12.018).
 115. Peeters E., Neyt A., Beckers F., De Smet S., Aubert A., Geers R. Influence of supplemental magnesium, tryptophan, vitamin C, and vitamin E on stress responses of pigs to vibration. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(7): 1568-1580 (doi: 10.2527/2005.8371568x).
 116. Sorice A., Guerriero E., Capone F., Colonna G., Castello G., Costantini, S. Ascorbic acid: its role in immune system and chronic inflammation diseases. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 2014, 14(5): 444-452 (doi: 10.2174/1389557514666140428112602).
 117. Ahmadu S., Mohammed A.A., Buhari H., Auwal A. An overview of vitamin C as an antistress in poultry. *Malaysian Journal of Veterinary research*, 2016; 7(2): 9-22.
 118. Wei J., Lei G.-h., Fu L., Zeng C., Yang T., Peng S.-f. Association between dietary vitamin C intake and non-alcoholic fatty liver disease: a cross-sectional study among middle-aged and older adults. *PLoS ONE*, 2016, 11(1): 11e0147985 (doi: 10.1371/journal.pone.0147985).
 119. Mahmoud K.Z., Edens F.W., Eisen E.J., Havenstein G.B. Effect of ascorbic acid and acute heat exposure on heat shock protein 70 expression by young white Leghorn chickens. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Toxicology & Pharmacology*, 2003, 136(4): 329-335 (doi: 10.1016/j.cca.2003.10.006).
 120. Whitehead C.C., Keller T. An update on ascorbic acid in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 2003, 59(2): 161-184 (doi: 10.1079/WPS20030010).
 121. Rafiee F., Mazhari M., Ghoreishi M., Esmaeilipour O. Effect of lemon verbena powder and vitamin C on performance and immunity of heat-stressed broilers. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 2016, 100(5): 807-812 (doi: 10.1111/jpn.12457).
 122. Rudakov O.B., Rudakova L.V. *Myasnye tekhnologii*, 2020, 5: 44-47 (doi: 10.33465/2308-2941-2020-05-44-47) (in Russ.).
 123. Dueñas M., González-Manzano S., González-Paramás A., Santos-Buelga C. Antioxidant evaluation of O-methylated metabolites of catechin, epicatechin and quercetin. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2010, 51: 443-449 (doi: 10.1016/j.jpba.2009.04.007).
 124. Li Y., Yao J., Han C., Yang J., Chaudhry M., Wang S., Liu H., Yin Y. Quercetin, inflammation and immunity. *Nutrients*, 2016, 8(3): 167 (doi: 10.3390/nu8030167).
 125. Wang S., Yao J., Zhou B., Yang J., Chaudry M.T., Wang M., Xiao F., Li Y., Yin W. Bacteriostatic effect of quercetin as an antibiotic alternative in vivo and its antibacterial mechanism in vitro. *Journal of Food Protection*, 2018, 81(1): 68-78 (doi: 10.4315/0362-028X.JFP-17-214).
 126. Lesjak M., Beara I., Simin N., Pintač D., Majkić T., Bekvalac K., Orčić D., Mimica-Dukić N. Antioxidant and anti-inflammatory activities of quercetin and its derivatives. *Journal of Functional Foods*, 2018, 40: 68-75 (doi: 10.1016/j.jff.2017.10.047).
 127. Hong Z., Piao M. Effect of quercetin Monoglycosides on oxidative stress and gut microbiota diversity in mice with dextran sodium Sulphate-induced colitis. *BioMed Research International*, 2018, 2018: 8343052 (doi: 10.1155/2018/8343052).
 128. Saeed M., Naveed M., Arain M., Arif M., Abd El-Hack M.E., Alagawany M, Sun C. Quercetin: nutritional and beneficial effects in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 2017, 73(2): 355-364 (doi: 10.1017/S004393391700023X).
 129. Abdel-Latif M.A., Elbestawy A.R., El-Far A.H., Noreldin A.E., Emam M., Baty R.S., Albadrani G.M., Abdel-Daim M.M., El-Hamid H.S.A. Quercetin dietary supplementation advances growth performance, gut microbiota, and intestinal mRNA expression genes in broiler chickens. *Animals*, 2021, 11(8): 2302 (doi: 10.3390/ani11082302).
 130. Koudoufio M., Desjardins Y., Feldman F. Spahis S., Delvin E., Levy E. Insight into polyphenol and gut microbiota crosstalk: are their metabolites the key to understand protective effects against metabolic disorders? *Antioxidants*, 2020, 9(10): 982 (doi: 10.3390/antiox9100982).
 131. Fomichev Yu.P., Nikanova L.A., Lashin S.A. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, 3: 21-32 (in Russ.).
 132. Fomichev Yu.P. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*, 2018, 4(143): 58-60 (in Russ.).
 133. Nikanova L.A. *Zootekhnika*, 2020, 6: 12-15 (in Russ.).
 134. Nikanova L.A. *Rossiyskiy zhurnal Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii*, 2020, 1(33): 85-91 (doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202001013) (in Russ.).
 135. Jang I.-S., Ko Y.-H., Moon Y.-S., Sohn S.-H. Effects of vitamin C or E on the pro-inflammatory cytokines, heat shock protein 70 and antioxidant status in broiler chicks under summer conditions. Asian-Australas. *Journal of Animal Science*, 2014, 27(5): 749-756 (doi: 10.5713/ajas.2013.13852).

136. Asensio X., Abdelli N., Piedrafita J., Soler M.D., Barroeta A.C. Effect of fibrous diet and vitamin C inclusion on uniformity, carcass traits, skeletal strength, and behavior of broiler breeder pullets. *Poultry Science*, 2020, 99(5): 2633-2644 (doi: 10.1016/j.psj.2020.01.015).
137. Kutlu H.R., Forbes J.M. Changes in growth and blood parameters in heat-stressed broiler chicks in response to dietary ascorbic acid. *Livestock Production Science*, 1993, 36(4): 335-350 (doi: 10.1016/0301-6226(93)90050-R).
138. Lohakare J.D., Ryu M.H., Hahn T.-W., Lee J.K., Chae B.J. Effects of supplemental ascorbic acid on the performance and immunity of commercial broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 2005, 14: 10-19 (doi: 10.1093/japr/14.1.10).
139. Attia Y.A., Abd El-Hamid A.E.H.E, Abedalla A.A., Berika M.A., Al-Harathi M.A., Kucuk O., Sahin K., Abou-Shehema B.M. Laying performance, digestibility and plasma hormones in laying hens exposed to chronic heat stress as affected by betaine, vitamin C, and/or vitamin E supplementation. *Springerplus*, 2016, 5(1): 1619 (doi: 10.1186/s40064-016-3304-0).
140. Nematollahi F., Shomali T., Abdi-Hachesoo B., Khodakaram-Tafti A. Effect of prophylactic vitamin C administration on the efficiency of florfenicol or sulfadiazine-trimethoprim antimicrobial therapy in chickens with staphylococcal arthritis. *Tropical Animal Health and Production*, 2022, 54: 25 (doi: 10.1007/s11250-021-03033-2).
141. Zangeneh S., Torki M., Lotfollahian H., Abdolmohammadi A. Effects of dietary supplemental lysophospholipids and vitamin C on performance, antioxidant enzymes, lipid peroxidation, thyroid hormones and serum metabolites of broiler chickens reared under thermoneutral and high ambient temperature. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(6): 1521-1532 (doi: 10.1111/jpn.12935).
142. Yiğit A.A., Yarim G. Effects of increases in vitamin C supplementation in the laying hen rations on serum concentrations of vitamin C and vitamin A. *Proc. 1th Int. Eurasian Conf. on biological and chemical sciences «EurasianBioChem 2018»*. Ankara, 2018: 1256.
143. Cilev G., Crncic I., Sefer D., Markovic R., Kochoski L., Stojanovski S., Pacinovski N. The influence of vitamin C over the production performances of the laying hens in conditions of thermal stress. *Zhivotnovodni Nauki*, 2020, 57(1): 29-35.
144. Ružić Z., Kanački Z., Milošević V., Zekic-Stošić M., Savić S., Popovska-Percinic F., Pendovski L., Paraš S. The effect of vitamin C on specific hematologic parameters in broilers during heat stress. *Proc. 5th Int. Vet-Istanbul Group Congress and 8th Int. Scien. Meeting "Days of veterinary medicine 2018"*. Scopie, 2018.
145. Mishra A., Patel P., Jain A., Shakkarpude J., Sheikh A.A. Effect of ascorbic acid supplementation on corticosterone levels and production parameters of white leghorn exposed to heat stress. *International Journal of Chemical Studies*, 2019, 7(6): 930-934.
146. Abudabos M.A., Al-Owaimir A.N., Hussein E.O.S., Ali M.H., Al-Ghadi M.Q. Effect of natural ascorbic acid on performance and certain haemato-biochemical values in layers exposed to heat stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2018, 28(2): 441-448.
147. Abdalla A.M., Erneo B.O. Effect of ascorbic acid supplementation methods on some productive and physiological performances of laying hens. *International Journal of Research Studies in Biosciences*, 2018, 6(1): 10-15 (doi: 10.20431/2349-0365.0601003).
148. Jain G., Neeraj, Pandey R. Effect of vitamin C on growth performance of caged broilers. *Advances in Bioresearch*, 2018, 9(2): 178-181.
149. Singh R., Mandal A.B. Efficacy of vitamin C in ameliorating ochratoxinosis in broiler chicken. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 2018, 35(4): 436-443 (doi: 10.5958/2231-6744.2018.00066.X).
150. Alshelmani M.I., Salem N.A., Salim A.A., Sakal I. Effect of dietary vitamin C and corn oil supplementation on broiler performance under heat stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2020, 9(4): 225-230 (doi: 10.20546/ijcmas.2020.904.027).
151. Hatab M. Effect of *saccharomyces cerevisiae* and vitamin c supplementation on performance of broilers subjected to ochratoxin a contamination. *Egyptian Poultry Science Journal*, 2021, 30(1): 89-113 (doi: 10.13140/RG.2.2.29433.39526).
152. Saiz del Barrio A., Mansilla W.D., Navarro-Villa A., Mica J.H., Smeets J.H., Hartog L.A., Garcia-Ruiz A.I. Effect of mineral and vitamin C mix on growth performance and blood corticosterone concentrations in heat-stressed broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 2020, 29(1): 23-33 (doi: 10.1016/j.japr.2019.11.001).
153. Hashem M.A., Abd El Hamied S.S., Ahmed E.M.A., Amer S.A., Hassan A.M. Alleviating effects of vitamins C and E supplementation on oxidative stress, hematobiochemical, and histopathological alterations caused by copper toxicity in broiler chickens. *Animals*, 2021, 11(6): 1739 (doi: 10.3390/ani11061739).
154. Kholis N., Suryadi U., Roni F. Pengaruh suplementasi vitamin C dan jarak transportasi terhadap penyusutan bobot badan broiler. *Jurnal Ilmu Peternakan Terapan*, 2018, 2(1): 27-33 (doi: 10.25047/jipt.v2i1.1166).
155. Vieira V., Marx F.O., Bassi L.S., Santos M.C., Oba A., Oliveira S.G., Maiorka A. Effect of age and different doses of dietary vitamin E on breast meat qualitative characteristics of finishing broilers. *Animal Nutrition*, 2021, 7(1): 163-167 (doi: 10.1016/j.aninu.2020.08.004).
156. Kaiser M.G., Block S.S., Ciraci C., Fang W., Sifri M., Lamont S.J. Effects of dietary vitamin E

- type and level on lipopolysaccharide-induced cytokine mRNA expression in broiler chicks. *Poultry Science*, 2012, 91(8): 1893-1898 (doi: 10.3382/ps.2011-02116).
157. Pitargue F.M., Kim J.H., Goo D., Delos Reyes J.B., Kil D.Y. Effect of vitamin E sources and inclusion levels in diets on growth performance, meat quality, alpha-tocopherol retention, and intestinal inflammatory cytokine expression in broiler chickens. *Poultry Science*, 2019, 98(10): 4584-4594 (doi: 10.3382/ps/pez149).
 158. Ding X.M., Mu Y.D., Zhang K.Y., Wang J.P., Bai S.P., Zeng Q.F., Peng H.W. Vitamin E improves antioxidant status but not lipid metabolism in laying hens fed a aged corn-containing diet. *Animal Bioscience*, 2021, 34(2): 276-284 (doi: 10.5713/ajas.19.0934).
 159. Mazur-Kuśnerek M., Antoszkiwicz Z., Lipiński K., Kaliniewicz J., Kotlarczyk S. The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens fed low-quality oil. *Archives Animal Breeding*, 2019, 62(1): 287-296 (doi: 10.5194/aab-62-287-2019).
 160. Yang J., Ding X.M., Bai S.P., Wang J.P., Zeng Q.F., Peng H.W., Xuan Y., Su Z.W., Zhang K.Y. Effects of dietary vitamin E supplementation on laying performance, hatchability, and antioxidant status in molted broiler breeder hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 2021, 30(3): 100184 (doi: 10.1016/j.japr.2021.100184).
 161. Livingston M.L., Pokoo-Aikins A., Frost T., Laprade L., Hoang V., Nogal B., Phillips C., Cowieson A.J. Effect of heat stress, dietary electrolytes, and vitamins E and C on growth performance and blood biochemistry of the broiler chicken. *Frontiers in Animal Science*, 2022, 3: 807267 (doi: 10.3389/fanim.2022.807267).
 162. Moustafa K.-E.M.El., Mikhail W.Z.A., Elsharif H.M.R., El-tybe M.A. Effect of nano-selenium and vitamin E on growth performance and blood constituents of broiler chickens. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 2021, 7(4): 468-479.
 163. Gomes P.E.B., Lopes J.B., da Silva Costa Moreira E.M., Merval R.R., Moreira Filho M.A., de Lemos J.G.S. Organic zinc and vitamin E supplementation for broiler chickens under natural heat stress conditions. *Acta Veterinaria Brasilica*, 2020, 14(4): 237-243 (doi: 10.21708/avb.2020.14.4.5151).
 164. Gul S., Khan R., Kashif M., Ahmad M., Hussain R., Khan A. Amelioration of toxicopathological effects of thiamethoxam in broiler birds with vitamin E and selenium. *Toxin Reviews*, 2022, 41(1): 218-228 (doi: 10.1080/15569543.2020.1864647).
 165. Leskovec J., Levart A., Perić L., Đukić Stojičić M., Tomović V., Pirman T., Salobir J., Rezar V. Antioxidative effects of supplementing linseed oil-enriched diets with α -tocopherol, ascorbic acid, selenium, or their combination on carcass and meat quality in broilers. *Poultry Science*, 2019, 98(12): 6733-6741 (doi: 10.3382/ps/pez389).
 166. Romero C., Nardoia M., Arija I., Viveros A., Ana I.R., Prodanov M., Chamorro S. Feeding broiler chickens with grape seed and skin meals to enhance α - and γ -tocopherol content and meat oxidative stability. *Antioxidants*, 2021, 10(5): 699 (doi: 10.3390/antiox10050699).
 167. Wang J., Clark D.L., Jacobi S.K., Velleman S.G. Effect of vitamin E and omega-3 fatty acids early posthatch supplementation on reducing the severity of wooden breast myopathy in broilers. *Poultry Science*, 2020, 99(4): 2108-2119 (doi: 10.1016/j.psj.2019.12.033).
 168. Perez D.M., Richards M.P., Parker R.S., Berres M.E., Wright A.T., Sifri M., Sadler N.C., Tatiyaborworntham N., Li N. Role of cytochrome p450 hydroxylase in the decreased accumulation of vitamin E in muscle from Turkeys compared to that from chickens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(3): 671-680 (doi: 10.1021/acs.jafc.5b05433).
 169. Karadas F., Erdoğan S., Kor D., Oto G., Uluman M. The effects of different types of antioxidants (Se, vitamin E and carotenoids) in broiler diets on the growth performance, skin pigmentation and liver and plasma antioxidant concentrations. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 2016, 18(1): 101-116 (doi: 10.1590/18069061-2015-0155).
 170. Zdanowska-Sasiadek Z., Michalczyk M., Damaziak K., Niemiec J., Poławska E., Gozdowski D., Rozanska E. Effect of vitamin E supplementation on growth performance and chicken meat quality. *European Poultry Science*, 2016, 80: 1-14 (doi: 10.1399/eps.2016.152).
 171. Goliomytis M., Tsourekis D., Simitzis P.E., Charismiadou M.A., Hager-Theodorides A.L., Deligeorgis S.G. The effects of quercetin dietary supplementation on broiler growth performance, meat quality, and oxidative stability. *Poultry Science*, 2014, 93(8): 1957-1962 (doi: 10.3382/ps.2013-03585).
 172. Pirgozliev V., Westbrook C., Woods S., Karagecili M.R., Karadas F., Rose S.P., Mansbridge S.C. 2019 Feeding dihydroquercetin to broiler chickens. *British Poultry Science*, 2019, 60(3): 241-245 (doi: 10.1080/00071668.2018.1556387).
 173. Torshkov A.A., Gerasimenko V.V. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, 2(26): 167-169 (in Russ.).
 174. Fomichev Y., Nikanova L., Lashin A. The effectiveness of using dihydroquercetin (taxifolin) in animal husbandry, poultry and apiculture for prevention of metabolic disorders, higher antioxidative capacity, better resistance and realisation of a productive potential of organism. *Journal of International Scientific Publications*, 2016, 4: 140-159.
 175. Omarov M.O., Slesareva O.A., Osmanova S.O., Abilov B.T. V sbornike: *Sbornik nauchnykh trudov Krasnodarskogo nauchnogo tsentra po zootekhnii i veterinarii* [In: Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine]. Krasnodar, 2019,

- 8(1): 85-90 (doi: 10.34617/ca5k-h109) (in Russ.).
176. Omarov M.O., Slesareva O.A., Osmanova S.O. V sbornike: *Sbornik nauchnykh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva* [In: Collection of scientific papers of the North Caucasian Research Institute of Animal Husbandry]. Krasnodar, 2016, 5(2): 101-106. (in Russ.)
 177. Parmar A., Patel V., Usadadia S., Chaudhary L., Prajapati D., Londhe A. Influence of dietary inclusion of oil and quercetin supplementation on carcass characters and meat. Quality attributes of broiler chickens. *International Journal of Livestock Research*, 2019, 9(9): 93-103 (doi: 10.5455/ijlr.20190629072333).
 178. Kuz'mina N.N., Petrov O.Yu. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, 6(1): 24-32 (doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-24-31) (in Russ.).
 179. Kuz'mina N.N., Petrov O.Yu., Smolentsev S.Yu. *Veterinarnyy vrach*, 2020, 2: 14-20 (doi: 10.33632/1998-698X.2020-2-14-20) (in Russ.).
 180. Kuzmina N.N., Petrov O.Yu., Semenov V.G., Boronin V.V. Effect of preparation Dihydroquercetin on growth-weight indices of broilers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 935: 012016 (doi: 10.1088/1755-1315/935/1/012016).
 181. Pirgozliev V., Mansbridge S.C., Whiting I.M., Arthur C., Rose S.P., Atanasov A.G. Antioxidant status and growth performance of broiler chickens fed diets containing graded levels of supplementary dihydroquercetin. *Research in Veterinary Science*, 2021, 141: 63-65 (doi: 10.1016/j.rvsc.2021.10.001).
 182. Yang J.X., Maria T.C., Zhou B., Xiao F., Wang M., Mao Y., Li Y. Quercetin improves immune function in Arbor Acre broilers through activation of NF- κ B signaling pathway. *Poultry Science*, 2020, 99(2): 906-913 (doi: 10.1016/j.psj.2019.12.021).
 183. Sun L., Xu G., Dong Y., Li M., Yang L., Lu W. Quercetin protects against lipopolysaccharide-induced intestinal oxidative stress in broiler chickens through activation of Nrf2 pathway. *Molecules*, 2022, 25(5): 1053 (doi: 10.3390/molecules25051053).
 184. Dong Y., Lei J., Zhang B. Effects of dietary quercetin on the antioxidative status and cecal microbiota in broiler chickens fed with oxidized oil. *Poultry Science*, 2020, 99(10): 4892-4903 (doi: 10.1016/j.psj.2020.06.028).
 185. Ying L., Chaudhry M.T., Xiao F., Mao Y., Wang M., Wang B., Wang S., Li Y. The effects and mechanism of quercetin dietary supplementation in streptozotocin-induced hyperglycemic arbor acre broilers. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, 2020: 9585047 (doi: 10.1155/2020/9585047).
 186. Zhang S., Kim I.H. Effect of quercetin (flavonoid) supplementation on growth performance, meat stability, and immunological response in broiler chickens. *Livestock Science*, 2020, 242: 104286 (doi: 10.1016/j.livsci.2020.104286).
 187. Khalaf S.A., Mousa B.H. Effect of individual and combining of adding quercetin and vitamin E to diets in productive traits of broiler chickens. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 2021, 25(4): 2485-2496.
 188. Dang X., Wang H., Seok W.J., Ha J.H., Kim I.H. Quercetin extracted from *Sophora japonica* flower improves growth performance, nutrient digestibility, cecal microbiota, organ indexes, and breast quality in broiler chicks. *Animal Bioscience*, 2022, 35(4): 577-586 (doi: 10.5713/ab.21.0331).
 189. Wang M., Wang B., Wang S., Lu H., Wu H., Ding M., Ying L., Mao Y., Li Y. Effect of quercetin on lipids metabolism through modulating the gut microbial and AMPK/PPAR signaling pathway in broilers. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 2021, 9: 616219 (doi: 10.3389/fcell.2021.616219).
 190. Abid A.R., Areaer A.H., Hussein M.A., Gatea S.M., Al-Nuaimi A.J. Impact of different levels of quercetin on productive performance of broiler Chicken(Ross-308). *AIP Conference Proceedings*, 2020, 2290(1): 020046 (doi: 10.1063/5.0028377).
 191. ul Abidin Z., Khatoun A. Improving performance traits of laying hens with vitamin C. In: *Egg Innovations and Strategies for Improvements* /Hester P.Y. Academic Press, 2017: 297-308 (doi: 10.1016/B978-0-12-800879-9.00028-7).
 192. Chen X., Liang D., Huang Z., Jia G., Zhao H., Liu G. Quercetin regulates skeletal muscle fiber type switching via adiponectin signaling. *Food & Function*, 2021, 12(6): 2693-2702 (doi: 10.1039/d1fo00031d).
 193. Kanner J. Polyphenols by generating H₂O₂, affect cell redox signaling, inhibit PTPs and activate Nrf2 axis for adaptation and cell surviving: in vitro, in vivo and human health. *Antioxidants*, 2020, 9(9): 1-20 (doi: 10.3390/antiox9090797).
 194. Shao Y., Yu H., Yang Y., Li M., Hang L., Xu X. A solid dispersion of quercetin shows enhanced Nrf2 activation and protective effects against oxidative injury in a mouse model of dry age-related macular degeneration. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 2019: 1479571 (doi: 10.1155/2019/1479571).
 195. Fuentes J., Atala E., Pastene E., Carrasco-Pozo C., Speisky H. Quercetin oxidation paradoxically enhances its antioxidant and cytoprotective properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(50): 11002-11010 (doi: 10.1021/acs.jafc.7b05214).
 196. Nna V.U., Usman U.Z., Ofutet E.O., Owu D.U. Quercetin exerts preventive, ameliorative and prophylactic effects on cadmium chloride - induced oxidative stress in the uterus and ovaries of female Wistar rats. *Food and Chemical Toxicology*, 2017, 102: 143-155 (doi: 10.1016/j.fct.2017.02.010).