

УДК 619:615

Николаевич Л.Н., кандидат биологических наук, доцент
Згировская А.А., кандидат биологических наук
Борисовец Д.С., кандидат ветеринарных наук, доцент

РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С.М. Вышеслеского», г. Минск, Республика Беларусь

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРОТИНОИДОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РАЦИОНЕ ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ (ОБЗОР)

Резюме

Представлен краткий обзор публикационной активности в мире по данной тематике; рассмотрены общие представления об антиоксидантной системе организма животных, а также научно обоснованы возможные меры специфической антиоксидантной терапии на основе каротинсодержащих кормовых добавок для сельскохозяйственных животных. В последнее десятилетие повышено внимание к каротиноидам, в частности к ликопину как функциональной добавке в корм животным. Ликопин является сильнейшим антиоксидантом среди каротиноидов благодаря своей специфической химической структуре. Многие исследования выявили его антиоксидантные, противовоспалительные, противораковые и противодиабетические свойства. В первую очередь в обзоре представлены данные о влиянии ликопина на продуктивность, качество мяса и яиц, антиоксидантную функцию, иммунную функцию, липидный обмен и физиологические функции кишечника сельскохозяйственных животных. Результаты научных исследований, представленные в данной статье, подчеркивают важнейшую роль ликопина в качестве функциональной кормовой добавки для питания сельскохозяйственных животных, в частности в свиноводстве и птицеводстве.

Ключевые слова: каротиноиды, антиоксиданты, функциональная кормовая добавка, ликопин, домашняя птица, свинья.

Summary

A brief overview of the publication activity in the world on this topic is presented; general ideas about the antioxidant system of the animal organism are considered, as well as scientifically substantiated possible measures of specific antioxidant therapy based on carotene-containing feed additives for farm animals. Lycopene is the strongest antioxidant among carotenoids due to its specific chemical structure. Many studies have identified its antioxidant, anti-inflammatory, anti-cancer, and anti-diabetic properties. First of all, the review presents data on the effect of lycopene on productivity, meat and egg quality, antioxidant function, immune function, lipid metabolism and intestinal physiological functions. The results of scientific research presented in this article highlight the crucial role of lycopene as a functional feed additive for the nutrition of farm animals, in particular, in pig and poultry farming.

Keywords: carotenoids, antioxidants, functional feed additive, lycopene, poultry, pig.

Поступила в редакцию 24.05.2023 г.

В организме животных каротиноиды выполняют функции антиоксидантов, иммуномодуляторов и провитаминов. Основным предшественником витамина А в организме животных является β -каротин, который поступает с кормом. Другие поступающие в организм пигменты, такие как кантаксантин, астаксантин и β -апо-8'-каротиновая кислота, также могут трансформироваться в слизистой кишечника в витамин А. Каротиноиды благотворно влияют на созревание и активность половых клеток животных, участвуют в поддержании гормонального фона при беременности (входят в состав желтого тела яичника), способствуют нормальному эмбриогенезу, улучшают сохранность поголовья и повышают устойчи-

вость животных к технологическим стрессам.

В настоящее время описано около 600 соединений каротиноидов, из которых около 50 видов регулярно поступает в пищу человека (10 из них содержатся непосредственно в плазме крови). Благодаря использованию добавок на основе каротиноидов возможно производство обогащенных каротиноидами продуктов питания.

Основными источниками каротиноидов в кормлении продуктивных животных являются растительные корма, которые содержат одновременно десятки их видов. Чаще всего в кормовых продуктах присутствуют β -каротин, лютеин (бобовые травы), зеаксантин (кукуруза), криптоксантин

куруруза), виолаксантин (тыква) и другие. В качестве натуральных источников каротиноидов в кормлении птицы используют порошок из моркови, перца, тыквы, хлореллы, спирулины, томатов, облепихи, шиповника, брокколи, однако это удорожает рацион. К сожалению, природные каротиноиды являются нестойкими соединениями, и их потери при заготовке кормов (сушка, силосование) могут снизиться до 30–40 % и более, что требует корректировки кормовыми добавками. Использование добавок на основе синтетических и природных каротиноидов в промышленном разведении животных экономически выгодно. Гранулированные и микрокапсулированные формы специализированных кормовых добавок позволяют защитить каротиноиды от воздействия компонентов комбикормов и высоких температур, а также облегчают их смешивание при производстве премиксов. Значительную долю рынка занимают ведущие мировые компании BASF SE, Kemin Industries, DSM Animal Nutrition, EW Nutrition, VievePharm Animal Nutrition BV и Allied Biotech Corporation, на долю которых приходится более 80 % мирового рынка кормовых каротиноидов, остальные применяются в пищевой и фармацевтической промышленности. Среди российских производителей можно отметить компании «Петрохим», «Эко Ресурс» и «Биокол».

Рынок кормовых каротиноидов сегментирован по их типу (бета-каротин, ликопин, лютеин, астаксантин, кантаксантин и другие типы), типу животных (жвачные животные, домашняя птица, свиньи, аквакультура и другие виды животных) и географии (Северная Америка, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, Южная Америка, Ближний Восток и Африка). Различные биологические свойства каротиноидов привели к их более широкому использованию в качестве добавки к кормам для аквакультуры. Каротиноиды широко используются в кормах для лосося, форели, а также моллюсков (креветки, омары). Каротиноиды необходимы на личиночной стадии аквакультурным видам, и личинки рыб резко увеличивают свою выживаемость при выращивании на живых кормах, содержащих каротиноиды. Азиатско-Тихоокеанский регион является крупнейшим потребителем каротиноидов в качестве кормовых добавок, поскольку это крупнейший рынок ак-

вакультуры во всем мире, где доминирует Китай. Вьетнам, Индонезия и Индия – основные лидеры в будущем благодаря внедрению новых научных методов ведения сельского хозяйства и увеличению потребления рыбы и других продуктов животноводства. Спрос на корма, содержащие натуральные антиоксиданты, способствует росту рынка каротиноидов.

Бета-каротин – широко распространенное в природе соединение каротиноидов, улучшающее репродуктивные качества животных и повышающее выход продукции. Сегодня β-каротин является наиболее востребованным из каротиноидов на рынке кормовых добавок. Современные кормовые добавки на основе β-каротина, получаемые в основном путем химического синтеза, выпускаются в сухой форме, защищенной от воздействия света и высоких температур. Некоторые специалисты считают перспективным направлением выпуск добавок натурального β-каротина, однако их стоимость до сих пор существенно выше синтетических аналогов, поэтому их производство актуально скорее для продуктов питания, чем кормов для животных. В животноводстве широко используются кормовые добавки, содержащие β-каротин: Лукаротин 10 % кормовой NXT (BASF), ЛипоКар (ООО «Каратон-ЛАД»), Бета-Каротин 10 % (Zhejiang ZMC-Europe), Лидер β-каротин 10 % (Foshan BioTechnology), Куксавит β-каротин (ZMC-Europe), Лукаротин 10 % кормовой (BASF), Ровимикс Бета-каротин 10 % Р и Ровимикс Бета-каротин 10 % (DSM Nutritional Products), β-каротин 10 % («Эко Ресурс») и др. Среди российских разработок можно отметить добавку Карофлавин («Петрохим»), включающую β-каротин и биофлавоноидный комплекс лиственницы, а также Ларикарвит («Петрохим»), содержащий минеральный сорбент, биофлавоноидный комплекс лиственницы (дигидрокверцетин), β-каротин и микроэлементы в хелатной форме.

Апокаротин – этиловый эфир β-апо-8'-каротиновой кислоты, получаемый в промышленности методом химического синтеза и обладающий желтой окраской, в природе наиболее часто содержится в цитрусовых. Как природное соединение данный эфир содержится в люцерне, зеленых растениях. Кормовые добавки на основе апокаротина (Апо-Эстер 10 % («Эко Ресурс»),

АпоЭплюс 10 % (Zhaoqing Juyuan Bio-Chem), Фидактив Желтый («Биокол»), Карофилл Желтый (DSM Nutritional Products) и др.) применяются в производстве кормов, кормовых добавок и премиксов с целью обогащения рационов каротиноидами и усиления пигментации яичных желтков и кожи бройлеров.

Астаксантин – важнейший каротиноид, применяющийся в аквакультуре для пигментации мяса лососевых рыб, а также в целях улучшения качества икры. Астаксантин представляет собой сильный клеточный антиоксидант, который защищает мембраны клеток от разрушения свободными радикалами. Это особенно важно для развития икры лососевых, а также оптимизирует выводимость и качество мальков. У рыб астаксантин выполняет функцию источника витамина А, положительно воздействует на иммунную и эндокринную системы, усиливает производство антител, также является средством половой коммуникации: с его помощью самцы изменяют цвет кожи во время брачного периода. Рыбы не могут самостоятельно синтезировать астаксантин. Единственным его источником служат природные корма (в том числе рачки). В питании теплокровных животных применение данного каротиноида ограничено. Иммуномодулирующие свойства астаксантина проявляет, в частности, у бройлеров, однако он не придает окраску мясу и яйцам, так как быстро разрушается в организме. Среди кормовых добавок, содержащих астаксантин, используются Астапет («Эко Ресурс»), Лукантин Розовый (BASF SE), Карофилл Розовый (DSM Nutritional Products), Эссеншен Пинк (NHU) и др.

Кантаксантин содержится в организме животных, грибах (лисички), некоторых бактериях, зеленых водорослях и производится путем химического синтеза. Краситель используют в птицеводстве, добавляя в корм курам-несушкам для придания насыщенного цвета желткам яиц и кожным покровам. Также его применяют в аквакультуре для усиления пигментации кожных покровов у промышленных видов рыб. Широко используемыми кормовыми добавками, содержащими кантаксантин, являются Кантаксантин 10 % («Эко Ресурс»); Карофорте Красный 10 % (ZMC-Europe), Висдем рэд (ПК «Корма»), Лидер Красный (Foshan Bio-Technology), Кантаплюс 10 %

(Zhaoqing Juyuan Bio-Chem), Фидактив красный («Биокол»), Лукантин Красный (BASF), Авиксантин 100 (Lohmann Animal Nutrition), Капсантал СХ (ITPSA), Карофилл Красный (DSM Nutritional Products) и др.

Капсантин, капсорубин – натуральные красители, производимые на основе перца (экстракт паприки), придают оранжево-желтую окраску желтку яиц кур. На рынке продаются некоторые кормовые добавки, содержащие пигменты паприки: ЭКО Красный («Эко Ресурс»), Биофон Красный («Биокол») и др.

Ксантофиллы, лютеин содержатся в экстракте лепестков бархатцев, где не менее 2 % натуральных ксантофиллов, представленных главным образом лютеином (около 85 %). Некоторые добавки содержат не менее 4 % натуральных ксантофиллов, что позволяет в два раза снизить дозировку продукта по сравнению с 2%-ными добавками. Лютеин отличается великолепной устойчивостью к свету, что расширяет область его применения. Добавки на основе экстракта лепестков бархатцев допустимо сочетать с пигментами, полученными из экстракта паприки. В премиксах используют некоторые кормовые добавки, содержащие ксантофиллы, а именно ЭКО Золотой («Эко Ресурс»), Капсантал EBS 40 NT (ITPSA), Лидер Желтый (Foshan Bio-Technology), Авизант Желтый 20HS (Kaesler Nutrition GmbH), Биофон Желтый («Биокол»), Висдем Голден-У (ПК «Корма») и др.

В последнее время многие потребители озабочены вопросами качественной пищи, что может благоприятно отразиться на рынке каротиноидов. Перспективным направлением является внедрение кормовых добавок природного происхождения, где природные каротиноиды не только выполняют функции провитаминов и антиоксидантов, но и поддерживают иммунитет, модулируют передачу сигналов в клетке, опосредованно снижают риск сердечно-сосудистых, кожных заболеваний и ревматоидного артрита. Благодаря биологическим свойствам каротиноиды могут применяться в рационе животных не только для улучшения их здоровья и продуктивности, но и в целях получения обогащенных продуктов питания (мяса, яиц и молока) для человека.

Кроме того, обладая высокой антиоксидантной активностью, некоторые из каро-

тиноидов, в частности ликопин, используются для профилактики окислительного стресса, который серьезно угрожает продуктивности и состоянию здоровья сельскохозяйственных животных, что приводит к огромным экономическим потерям в животноводстве [1]. Существующая в организме животных физиологическая антиоксидантная система представляет собой совокупную иерархию защитных механизмов клеток, тканей органов и систем, направленных на сохранение и поддержание в пределах нормы реакций организма. Сохранение окислительно-антиоксидантного равновесия, являющегося важнейшим механизмом гомеостаза живых систем, реализуется как в жидкостных средах организма (кровь, лимфа, межклеточная и внутриклеточная жидкость), так и в структурных элементах клетки, прежде всего в мембранах [2]. В биологических системах антиоксидантами являются вещества, способные ингибировать процессы свободнорадикального окисления. Для живых клеток наибольшую опасность представляет перекисное окисление липидов (ПОЛ) [3]. В реакциях перекисного окисления липидов образуется большое количество гидроперекисей, которые обладают высокой реакционной способностью и оказывают мощное повреждающее действие на клетку. Чрезмерное производство активных форм кислорода и реактивные радикалы азота вызывают необратимое повреждение липидов клеток, белков и ДНК, что влияет на физиологические функции и производительность животных [4].

Защита организма от отрицательных воздействий окружающей среды, в том числе стрессов и различных заболеваний, – основная задача антиоксидантной системы [4]. Окислительный стресс проявляется в дисбалансе между антиоксидантами и прооксидантами [5]. Антиоксидантные вещества в основном делятся на две категории: одни синтезируются самим организмом, а другие поступают в организм с продуктами питания. Введение в корма антиоксидантов способствует снижению окислительных процессов в организме, обеспечивает высокую сохранность молодняка, повышение живой массы, общей резистентности и продуктивности животных [6]. В настоящее время антиоксиданты получили распространение в животноводстве, в первую очередь в производстве комбикормов и премиксов [6].

Наряду с изучением показателей, характеризующих состояние обмена веществ в организме, актуальным является оценка про- и антиоксидантного статуса организма, показатели которого, как известно, взаимосвязаны со здоровьем животных, в том числе и состоянием иммунной, репродуктивной систем. Неуклонно растет информация в области оксидативного стресса в животноводстве и ветеринарии, что указывает на важность антиоксидантной защиты организма (АОЗ) для борьбы с нарушениями здоровья и продуктивности жвачных животных. В случае негативных средовых воздействий в организме продуктивных животных наступают различные дисфункции, а затем и явления патологии, способные нанести урон отраслям животноводства [6]. Окислительный стресс (ОС) в организме животных может быть спровоцирован различными климатическими [7], технологическими [8] и физиологическими [9] факторами. Например, говоря о физиологических стрессах, следует обратить внимание, что образование АФК в организме коров увеличивается не только в начале лактации, но и при переходе лактирующих животных с ранней лактации на среднюю, когда происходит большое количество метаболических и физиологических адаптаций, что может привести к дисфункции и воспалению организма хозяина [10]. Условия содержания животных также влияют на уровень антиоксидантной защиты организма коров. Так, например, новотельные коровы с высокой плотностью посадки имели более высокий статус ОС по сравнению с аналогами с низкой плотностью, что дополнительно приводило к большей проницаемости молочной железы [8]. Ухудшение репродуктивной способности млекопитающих в период стрессовых воздействий может быть также вызвано ОС и образованием излишнего для организма количества АФК [9]. Авторы указывают на различные физиологические и патологические функции в репродуктивных органах животных под действием ОС [10], в том числе крупного рогатого скота [11]. Показано прямое влияние негативных изменений в АОЗ на качество ооцитов, фолликулярную жидкость, развитие желтого тела, раннее эмбриональное развитие и имплантацию эмбрионов [10]. Изучению процессов ПОЛ и АОЗ

посвящены работы многих исследователей, а именно изучено влияние различных форм биологически активных веществ (БАВ) на состояние антиоксидантной системы и интенсивность реакций ПОЛ в организме сельскохозяйственных животных в норме и при различных заболеваниях [12]. Актуальными являются исследования повышения антиоксидантных свойств кормов, используемых в животноводстве, в том числе за счет натуральных источников. Среди каротиноидов ликопин упоминается как питательная и пищевая добавка в более чем 50 странах и широко используется в здоровом питании, медицине, косметике, сельском хозяйстве и других направлениях [13]. Ликопин характеризуется защитными свойствами противовоспалительного, противоракового, антидиабетического [14], сердечно-сосудистого [15], нейробиологического, антигипертензивного [16] действия. В литературе постоянно

растет число экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что ликопин может использоваться в качестве функциональной кормовой добавки для свиней и домашней птицы. В частности, сообщалось, что ликопин улучшает продуктивность животных, качество мяса и яиц, повышает уровень естественных антиоксидантов, иммунитет, метаболизм липидов и состояние физиологических функций в организме [17].

Ликопин содержится в томатах, а также в моркови, тыкве, арбузах, абрикосах, папайе, грейпфрутах и шиповнике. Помидоры являются основным источником экстракции, а также самым дешевым сырьем для производства ликопина [18]. На долю ликопина в помидорах приходится от 80 % до 90 % содержания всех каротиноидов в пище. Ликопин представляет собой форму красного каротиноида с молекулярной формулой $C_{40}H_{56}$ (рисунок 1) [18].

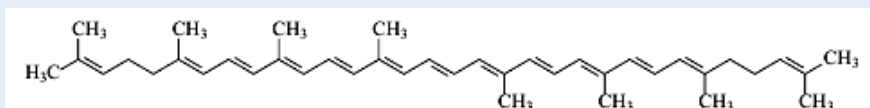


Рисунок 1. – Химическая структура ликопина

Это полиолефиновая цепь, состоящая из 13 двойных связей, 11 из которых сопряжены и объединены в линейный массив (фактор красного цвета), что делает его более длинным, чем у других каротиноидов [19]. Из-за плоской симметрии в своей структуре ликопин не обладает такой же активностью, как витамин А. В природе ликопин существует в виде тонких игольчатых кристаллов транс-конфигурации, которая относительно стабильна с точки зрения термодинамики. Наиболее распространенными формами являются 5-цис-, 9-цис-, 13-цис- и 15-цис-изомеры, что предполагает, что цис-изомеры легче усваиваются в организме человека и животных [20]. Способ абсорбции ликопина аналогичен липидам и происходит через пассивный путь диффузии, а именно высвобождается под действием желудочной и желчной кислот и ферментов. При попадании в кишечник ликопин в сочетании с липидами пищи образуют хиломикроны, которые затем транспортируются в брыжеечную лимфатическую систему посредством диффузии и пермеации. Далее ликопин попадает в порталь-

ную циркуляцию и всасывается в желудочно-кишечный тракт. Ликопин и его метаболиты случайно высвобождаются и транспортируются липопротеинами низкой плотности (ЛПНП) и очень низкой плотности (ЛПОНП) и, наконец, распределяются по тканям-мишеням. Химическая структура ликопина влияет на процесс его распределения через кровеносную систему, и он преимущественно накапливается в яичках, надпочечниках, печени и простате. Такое неравномерное распределение указывает на его уникальную биологическую роль в этих тканях [21].

Ранее было отмечено, что биологические свойства ликопина обусловлены прежде всего его уникальной химической структурой двойных связей, что повышает его антиоксидантную активность по сравнению с другими каротиноидами и способствует удалению свободных радикалов в организме животных [18]. Среди каротиноидов за ликопином по антиоксидантной активности следуют токоферол, каротин, криптоксантин, зеаксантин, β-каротин и лютеин. Интерес к ликопину как к мощному антиокси-

данту резко возрос в последнее десятилетие, после того как были изучены его свойства усиливать защитные функции организма, тормозить дегенеративные процессы в тканях, снижать риск развития онкологических, сердечно-сосудистых и других

патологий [22]. Особенно в течение последних десяти лет ликопин привлек большое внимание исследователей в области свиноводческого и птицеводческого производства (рисунок 2).

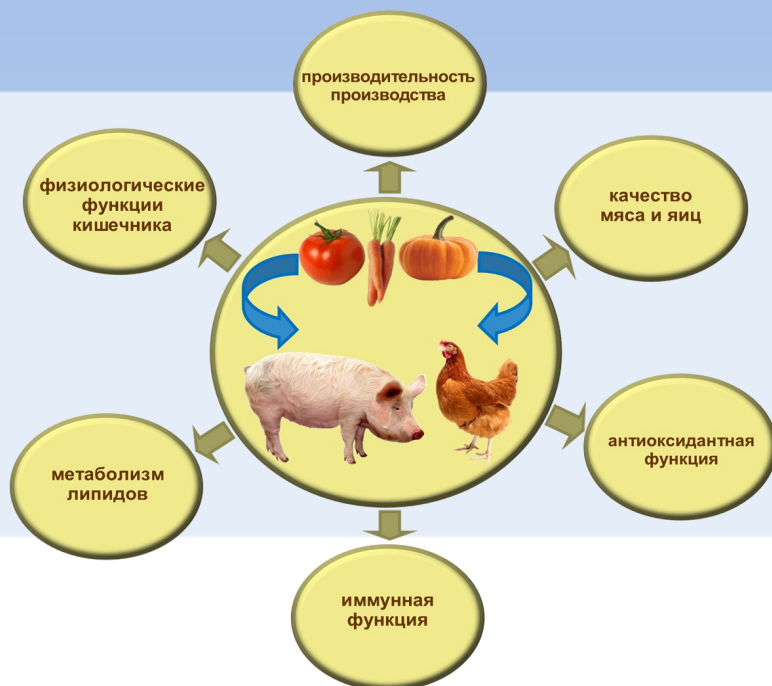


Рисунок 2. – Обзорная диаграмма положительного воздействия ликопина на свиней и домашнюю птицу

В последние годы учеными различных стран проведен цикл исследований по применению ликопина в качестве кормовой добавки в птицеводстве и свиноводстве [17]. Результаты исследований показали, что добавление с пищей 50 мг/кг ликопина во время беременности и лактации улучшило репродуктивную функцию, продуктивность свиноматок, включая увеличение живорожденных поросят, поросят-отъемышей, массы приплода при рождении, массы помета при отъеме и снижение числа мертворожденных поросят. Однако оказалось, что включение этой диетической добавки с различными дозировками ликопина (12,5, 25, 37,5 и 50 мг/кг) не повлияло на показатели роста свиней на откорме [23]. В птицеводстве кормление ликопином кур-несушек в дозе 40 мг/кг в течение 35 дней увеличивает оплодотворяемость и выводимость их яиц [24]. На основании многочисленных исследований ликопин рекомендуется в качестве натуральной кормовой добавки, предназначенной для улучшения мяса и качества яиц в животноводстве [25]. Кроме того, имеются

научные данные о модулирующем влиянии ликопина на антиоксидантную и иммунную функции, а также на метаболизм липидов у свиней и птицы [17]. Анализ литературных данных свидетельствуют о том, что ликопин оказывает стимулирующий эффект на рост сельскохозяйственных животных в стрессовых условиях, таких как тепловой стресс и загрязнение корма микотоксинами [26], и может быть одной из мер специфической антиоксидантной терапии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ литературных источников позволил систематизировать применение каротиноидов в животноводстве. Показаны механизмы их действия на различные системы организма животных. Особую актуальность представляют исследования по оценке про- и антиоксидантного статуса организма продуктивных животных, поскольку они взаимосвязаны со здоровьем, состоянием иммунной и репродуктивной систем. Рассмотрены эффекты включения ликопина в птицеводстве и свиноводстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Plant-derived polyphenols in sow nutrition: An update* / J. Chen. [et al.] // *Anim. Nutr.* – 2023. – Vol. 12. – P. 96–107.
2. Гольдигейн, Н. Активные формы кислорода как жизненно необходимые компоненты воздушной среды / Н. Гольдигейн // *Биохимия.* – 2002. – Т. 67, № 2. – С. 194–204.
3. Чупахина, Г. Н. Природные антиоксиданты (физиологический аспект) / Г. Н. Чупахина, П. В. Масленников, Л. Н. Скрыпник. – Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. – 111 с.
4. Дубинина, Е. Е. Антиоксидантная система плазмы крови / Е. Е. Дубинина // *Укр. биохим. журн.* – 1992. – № 2. – С. 3–15.
5. Dobrică, E. C. *The involvement of oxidative stress in psoriasis: A systematic review* / E. C. Dobrică [et al.] // *Antioxidants.* – 2022. – Vol. 11, № 282. – P. 1–32.
6. Соловьева, Л. П. Восстановление функциональной активности гемостаза у телят и поросят молочного-растительного питания, перенесших неблагоприятное средовое воздействие / Л. П. Соловьева, Т. В. Калыш, В. И. Замуравкин // *Научное обозрение. Биологические науки.* – 2019. – № 1. – P. 56–61.
7. *Effect of seasonal thermal stress on oxidative status, immune response and stress hormones of lactating dairy cows* / Li, H. [et al.] // *Animal Nutrition.* – 2021. – Vol. 7, № 1. – P. 216–223.
8. Lin, S. *Effects of stocking density on oxidative stress status and mammary gland permeability in early lactating dairy cows* / S. Lin, J. Liu, K. Wang, D. M. Wang // *Animal Science Journal.* – 2019. – Vol. 90, № 7. – P. 894–902.
9. Cadenas, E. *Mitochondrial free radical generation, oxidative stress, and aging* / E. Cadenas, K. Davies // *Free Radical Biology and Medicine.* – 2000. – Vol. 29. – P. 222–230.
10. *Prepartum body condition score affects milk yield, lipid metabolism, and oxidation status of Holstein cows* / W. Zhao [et al.] // *Asian Australasian Journal of Animal Sciences.* – 2019. – Vol. 12. – P. 1889–1896.
11. *Role of oxidant-antioxidant balance in reproduction of domestic animals* / S. Talukder [et al.] // *Anim. Prod. Sci.* – 2017. – Vol. 57. – P. 1588–1597.
12. Фомичев, Ю. П. Применение в питании молочных коров энерго-антиоксидантного комплекса и его влияние на продуктивность и качество молока / Ю. П. Фомичев, И. Ю. Ермаков // *Молочное и мясное скотоводство.* – 2021. – № 2. – С. 30–33.
13. *Bacteriophage as an alternative to antibiotics promotes growth performance by regulating intestinal inflammation, intestinal barrier function and gut microbiota in weaned piglets* / Y. Zeng [et al.] // *J. Front. Vet. Sci.* – 2021. – № 8. – P. 623–899.
14. *Potential inhibitory effect of lycopene on prostate cancer* / M. Mirahmadi [et al.] // *Biomed. Pharmacother.* – 2020. – Vol. 129. – P. 110–459.
15. *Costa-Rodrigues, J. Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease?* / J. Costa-Rodrigues, O. Pinho, O. P. Monteiro // *Food Chem.* – 2018. – Vol. 245. – P. 1148–1153.
16. *Lycopene: Food sources, biological activities and human health benefits* / U. M. Khan [et al.] // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity.* – 2021. – Vol. 2021. – P. 1–10.
17. *Research Progress on Lycopene in Swine and Poultry Nutrition: An Update* / J. Chen [et al.] // *Animals.* – 2023. – Vol. 13, № 883. – P. 1–22.
18. *Lycopene: From tomato to its nutraceutical use and its association with nanotechnology* / G. C. Carvalho [et al.] // *Trends. Food Sci. Technol.* – 2021. – Vol. 118. – P. 447–458.
19. *Srivastava, S. Lycopene; chemistry, biosynthesis, metabolism and degradation under various abiotic parameters* / S. Srivastava, A.K. Srivastava // *J. Food Sci. Technol.* – 2015. – Vol. 52. – P. 41–53.
20. *Arballo, J. Lycopene: A critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion* / J. Arballo, J. Amengual, J. W. Erdman // *Antioxidants.* – 2021. – Vol. 10, № 342. – P. 1–16.
21. *Revealing the power of the natural red pigment lycopene* / R. W. Kong [et al.] // *Molecules.* – 2010. – Vol. 15. – P. 959–987.
22. Клебанов, Г. И. Антиоксидантные свойства ликопина / Г. И. Клебанов, А. Б. Капитанов, Ю. О. Теселкин // *Биол. мембраны.* – 1998. – Т. 15, № 2. – С. 227–237.
23. *Dietary lycopene alters the expression of antioxidant enzymes and modulates the blood lipid profile of pigs* / M.R. Fachinello [et al.] // *Anim. Prod. Sci.* – 2020. – Vol. 60. – P. 806–814.
24. *Lycopene regulates production performance, antioxidant capacity, and biochemical parameters in breeding hens* / B. Sun [et al.] // *Czech. J. Anim. Sci.* – 2014. – Vol. 59. – P. 471–473.
25. *Dietary lycopene supplementation improves meat quality, antioxidant capacity and skeletal muscle fiber type transformation in finishing pigs* / W. Wen [et al.] // *Anim. Nutr.* – 2022. – Vol. 8. – P. 256–264.
26. *Sarker, M. T. Dietary lycopene supplementation could alleviate aflatoxin b1 induced intestinal damage through improving immune function and anti-oxidant capacity in broilers* / M. T. Sarker [et al.] // *Animals.* – 2021. – Vol. 11, № 3165. – P. 1–6.