

УДК 636.5:547.992

DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-94

Биологические активные добавки для птицеводства на основе гуминовых комплексов (обзор)

К.С. Нечитайло, К.В. Рязанцева, Е.А. Сизова, В.Л. Королёв

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

Аннотация Поиск альтернативных натуральных агентов, обладающих антибактериальной активностью, но являющихся более безопасными, представляет актуальную глобальную задачу. Одними из таких веществ являются гуминовые субстанции. Они оказывают положительный эффект на пищеварительный тракт, иммунную систему, антиоксидантный статус и минеральный обмен сельскохозяйственной птицы. В частности, ряд исследователей отмечают увеличение коэффициента конверсии корма у подопытной птицы, что отражается на продуктивности цыплят-бройлеров и конечный выход продукции. Учитывая проведённый анализ литературы, отметим, что использование гуминовых веществ в птицеводстве является перспективной и эффективной стратегией.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, гуминовые кислоты, фульвокислоты, гуминовые вещества, гумины, продуктивность.

UDC 636.5:547.992

Biological active additives for poultry farming based on humic complexes (review)

Kseniya S Nechitailo, Kristina V Ryazantseva, Elena A Sizova, Vladimir L Korolyov

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Summary The search for alternative natural agents with antibacterial activity, but which are safer, is an urgent global task. One of these substances are humic substances. They have a positive effect on the digestive tract, immune system, antioxidant status and mineral metabolism in poultry. In particular, a number of researchers note an increase in the feed conversion rate in experimental poultry; it is reflected in the productivity of broiler chickens and the final yield. Taking into account the analysis of literature, we note that the use of humic substances in poultry farming is a promising and effective strategy.

Key words: humic acids, fulvic acids, humic substances, humins, productivity, broiler chickens.

Введение.

Ускоренные эволюционные тенденции формирования устойчивости генов к антибиотическим препаратам представляют собой серьезную угрозу для здоровья человека и животных (Roth N et al., 2019). Поэтому поиск альтернативных натуральных агентов, обладающих антибактериальной активностью, но являющихся более безопасными, представляет актуальную глобальную задачу. По мнению ряда исследователей, одними из таких веществ являются гуминовые субстанции (Логинов Г.П. и Симакова С. А., 2011; Abdel-Mageed МАА, 2012; Серяков И.С. и др., 2012; Симакова И.В. и др., 2018; Капитанова Е. А. и др., 2018; Сингариева Н. Ш. и др., 2019; Комирная А.Н. и Комлацкий В.И., 2019; Корсаков К.В., 2020). Применение гуминовых веществ (ГВ) в рационе цыплят-бройлеров – это современная концепция в птицеводстве (Сярдина И.П., 2014; Edmonds MS et al., 2014; Безуглова О.С. и Зинченко В.Е., 2016; Arif M et al., 2016; Aristimunha PC et al., 2020).

Благодаря уникальным физико-химическим свойствам данные вещества применяют не только в агропромышленном комплексе, но и в промышленности, экологии и биомедицине (Любимова Н.А. и Рабинович Г.Ю., 2020). В Европе практикуют применение гуминовых веществ в ветеринарии в качестве противодиарейных, анальгетических, иммуностимулирующих и антибактериальных средств (Domínguez-Negrete A et al., 2019).

Таким образом, цель данной статьи систематизировать имеющиеся данные о механизмах воздействия и возможности использования гуминовых веществ в качестве доступной альтернативной стратегии применения кормовых антибиотиков в выращивании цыплят-бройлеров с целью увеличения продуктивности.

Экспериментальные исследования, вошедшие в данный обзор, ограничены временными рамками: с 2011 по 2021 г.

Поиск выполнялся в англоязычных базах PubMed, Poultry Science Journal, Google Scholar по ключевым словам: «humic substances», «humic acid», «fulvic acids», «humic substances», «humins», «broiler chickens» и русскоязычной системе elibrary: «гуминовые кислоты», «фульвокислоты», «гуминовые вещества», «гумины», «гуматы», «цыплята-бройлеры».

Алгоритм поисковых запросов был выстроен следующим образом (на примере базы данных PubMed): ((«humic substances» [MeSH Terms] OR («humic» [All Fields] AND «substances» [All Fields]) OR «humic substances» [All Fields] OR («humic» [All Fields] AND «acid» [All Fields]) OR «humic acid» [All Fields]) AND («broiler» [All Fields] OR «broiler s» [All Fields] OR «broilers» [All Fields]) AND («chicken s» [All Fields] OR «chickens» [MeSH Terms] OR «chickens» [All Fields] OR «chicken» [All Fields])) AND (y_10[Filter]).

В ходе анализа литературы были отобраны актуальные источники информации, содержащие сведения о механизмах нутрицевтической активности гуминовых веществ и их производных на организм цыплят-бройлеров.

Выборочные экспериментальные исследования воздействия гуминовых субстанций на продуктивность цыплят-бройлеров представлены в табл. 1.

Таблица 1. Обзор исследований о влиянии гуминовых производных на обмен веществ и продуктивные качества цыплят-бройлеров

Table 1. Review of studies on the effect of humic derivatives on the metabolism and productivity of broiler chickens

Автор/ Author	Год/ Year	Гуминовая субстанция/ Humic substance	Доза/ Dose	Наблюдаемые эффекты/ Observed effects	Результаты исследования/ Research results
1	2	3	4	5	6
Semjon B et al.	2020	Гуминовые вещества	0,8; 1,0 %	Повышение содержания белка и снижение содержания жира в мясе	Улучшение качества мяса цыплят-бройлеров
Сбоев А.А., Синников В.А.	2020	«ОРГАНИК ЛОГОС 300» водный раствор гуматов натрия и калия (50*50)	16,67 мг/л воды	Высокое биохимическое действие на организм	Повышение среднесуточного прироста цыплят-бройлеров
Комирная А.Н., Комлацкий В.И.	2020	«Фурор-Т» концентрат на основе гуминовых веществ	1 кг /т корма	Увеличение среднесуточных приростов, живой массы, убойного выхода.	Увеличение роста, развития и продуктивности птицы
Корсаков К.В.	2020	«Reasil® Humic Health»	500- 10000 г/т корма	Увеличение переваримости и усвояемости питательных веществ	Увеличение интенсивности роста

Продолжение 1 таблицы					
1	2	3	4	5	6
Domínguez-Negrete A et al.	2019	Экстракт из компоста червей	0,25 %	Увеличение перевариваемости и адсорбции пищевых нутриентов	Увеличение производительности цыплят-бройлеров кросса Росс 30
Mao Y	2019	Фульвокислоты (98%)	0,6 г / кг-1 корма	Увеличение активности пищеварительных энзимов, содержания полиненасыщенных жирных кислот, SOD и GPx IgG, IgM и IgA	Повышение роста и производительности цыплят-бройлеров кросса Арбор Айкрес
I Disette ARP et al.	2019	Гумата калия	1,5 %	Увеличение показателей роста, сывороточные метаболиты крови в пределах нормы	Улучшение показателей роста и состояния здоровья
Симакова И.В. и др.	2018	«Reasil Humic Vet»	0,5 мл/л воды	Усиление биосинтеза белка, улучшение физиологического состояния организма	Рост продуктивных показателей, повышение товароведно-технологических качеств мяса
Капионова Е.А. и др.	2018	«Гумовет кормовой»	0,3-0,7 мл/кг корма	Повышение естественной резистентности	Увеличение среднесуточного прироста, снижение расхода корма на 1 кг прироста
Maguey-Gonzalez JA et al.	2018	Гуминовая кислота из компоста червей	0,2 %	Увеличение вязкости содержимого кишечника	Улучшение процессов пищеварения цыплят-бройлеров
Kamel MM et al.	2015	Humax® (гуматы 200 мг / мл)	0,5 мл/л воды	Усиление гуморальной и клеточной ветви иммунной реакции	Увеличение продуктивности и производительности цыплят-бройлеров кросса Кобб
Сярдина И.П.	2014	Лигногумат КД А - калиевые соли гуминовых и фульвовых кислот	150; 200; 300 г/т корма	Увеличение количества эритроцитов и гемоглобина -	Улучшение морфологического состава крови

Строение, физико-химические свойства.

Гуминовые вещества (ГВ) – это соединения сложной супрамолекулярной ассоциации природного происхождения (Cha JY et al., 2020; Jung H et al., 2021), образующиеся в результате биотического и абиотического разложения органических остатков (Islam MZ et al., 2019; Chianese S et al., 2020). Химический состав ГВ невозможно описать единой химической формулой, можно лишь отметить основные компоненты – ароматические кольца и функциональные группы (гидроксильные, алкильные, карбонильные и карбоксильные). Предполагаемые общие химические структуры таких соединений представлены на рисунке 1 (Murbach TS et al., 2020).

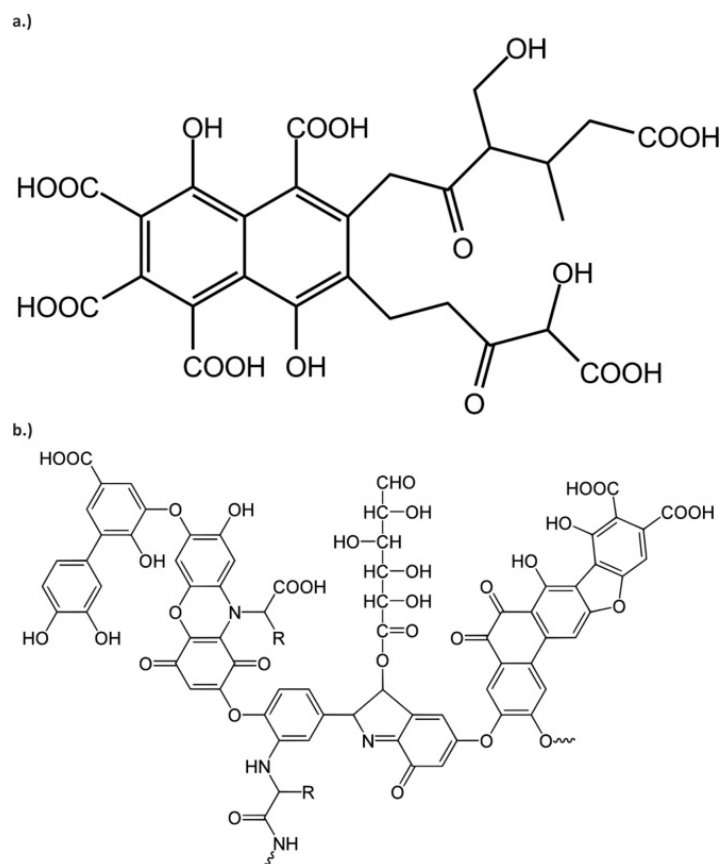


Рис. 1 – Предполагаемая химическая структура: а) – фульвокислоты; б) – гуминовой кислоты (Murbach TS et al., 2020)

Figure 1 – Assumed chemical structure: a) – fulvic acid; b) – humic acid (Murbach TS et al., 2020)

Множественные и сложные слабые силы, стабилизирующие гуминовые вещества, вызывают их реакционную способность, а гидрофобные и гидрофильные домены в структурных молекулах вносят вклад в их гибкие конформационные структуры (Piccolo A, 2012).

Гуминовые субстанции состоят из нескольких фракций: гуминовая кислота, гумус, ульминовая кислота, фульвокислота и гумин (Chianese S et al., 2020).

ГВ обладают нутрицевтическими свойствами и демонстрируют сильное сродство к связыванию различных агентов, таких как микотоксины, гербициды, мутагены, моноароматические и полициклические ароматические соединения, токсические микроэлементы и микроорганизмы *Bacillus subtilis* (Chianese S et al., 2020).

Соли гуминовой кислоты с щелочными металлами (K, Na) – гуматы, отличаются повышенной физиологической активностью. Гумат натрия в своем составе содержит минеральные элементы, такие как Ca, Fe, Na, Mn, Zn и т. д. Данное вещество обладает способностью к ионному обмену тяжёлых металлов, а также сильными адсорбционными свойствами, комплексообразующей и хелатирующей способностями (Лебедев С.В. и др., 2015; Kaevska M et al., 2016; Бахарев А.А. и Александрова С.С., 2020).

Механизм действия гуминовых веществ.

Поскольку гуминовые вещества демонстрируют широкий спектр физико-химических свойств, выявление точного механизма действия на организм является сложной задачей. Предпо-

лагается, что существует ряд взаимодополняющих теорий влияния гуминовых агентов на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров (Delannoy M et al., 2014; Dai C et al., 2020).

Наличие большого количества функциональных групп позволяет ГВ проникать внутрь любой биотической структуры и становиться звеном биохимического цикла. Находясь в организме, они метаболизируются подобно ксенобиотическим химическим субстанциям, провоцируя множество специфических и неспецифических реакций, начиная от стресса, например, в ответ на индукцию белков теплового шока, до гербицидоподобного воздействия на первичные продуценты (Любимова Н.А. и Рабинович Г.Ю., 2020).

В организме птицы ГВ формируют в растворах агрегаты, тем самым увеличивают вязкость кишечного содержимого и создают защитные слои над эпителием слизистой желудочно-кишечного тракта от проникновения токсичных и других агентов бактериальной контаминации (Gomez-Rosales S and Angeles M, 2015; Maguey-Gonzalez JA et al., 2018).

Благодаря коллоидным характеристикам ГВ и их способности формировать хелаты с различными ионами, они улучшают использование минералов животными и изменяют распределение метаболизма питательных веществ, обеспечивая высокую продуктивность (Domínguez-Negrete A et al., 2019; Mao Y, 2019; Сбоев А.А. и Ситников В.А., 2020).

Агенты гуминовой природы действуют как дезинтоксикационные средства в кишечнике (из-за снижения абсорбции нитратов, флюоритов и тяжёлых металлов) (Taklimi SM et al., 2012; Осипова Е.А. и др., 2018).

Влияние на пищеварительную функцию.

ГВ обладают высокой буферной ёмкостью и стабилизируют рН во всей пищеварительной системе (Semjon B et al., 2020).

В полости кишечника ГВ полимеризуются, повышая вязкость и целостность кишечника. Клетки кишечного эпителия отвечают не только за пищеварение, секрецию и абсорбцию, но и действуют как физический барьер, предотвращая проникновение внутрипросветной микробиоты, антигенов и токсинов, обеспечивая при этом толерантность к питательным веществам, воде, электролитам и другим агентам (Salzman NH, 2011; Pan Y, 2012). Макроколлоидная структура гуминовых кислот оказывает экранирующее действие на слизистую оболочку желудка и кишечника, таким образом, абсорбция токсичных метаболитов снижается или полностью предотвращается, что в конечном итоге приводит к улучшению показателей роста (Arif M et al., 2018).

Доказано, фульвокислоты индуцируют экспрессию пищеварительных ферментов (Gao Y et al., 2017). Фульвокислоты увеличивают активность протеазы, липазы и амилазы, соответственно усиливается гидролиз полимеров до мономеров, что в конечном итоге отражается на эффективности абсорбции кишечником нутриентов (Mao Y, 2019).

Добавление гуминовой кислоты увеличивает глубину крипт ворсинок в тонком кишечнике. Рост ворсинок зависит от уровня рН, состава микрофлоры и содержания токсичных агентов в кишечнике. Увеличение длины ворсинок можно рассматривать как индикатор активного функционирования, обеспечивающего площадь поверхности для всасывания питательных веществ (Mohamadsadeghi F et al., 2019).

Влияние на иммунную систему.

Введение ГВ в рацион бройлеров сопровождается стимуляцией иммунной системы. Так, в исследованиях Mudroňová D с коллегами (2020) было выявлено, что добавление 0,8 % гуминовых веществ в рацион цыплят сопровождается усилением относительной экспрессии гена MUC-2, что согласуется с выводами о том, что гуматы могут способствовать образованию защитной плёнки на эпителии слизистой желудочно-кишечного тракта. Помимо этого было выявлено значительное увеличение фагоцитарной активности и соотношения CD⁴⁺:CD⁸⁺ лимфоцитов.

Действие гуминовых веществ на иммунную систему связано со свойствами этих веществ. Они образуют относительно твёрдые комплексы с углеводами. Впоследствии эти комплексы позволяют образовывать гликопротеины, характеризующиеся способностью связываться с НК-клетками и Т-лимфоцитами (Zhang AR et al., 2020). Это означает, что они действуют как модулято-

ры и обеспечивают последующую связь между этими ячейками. Следовательно, способность гуминовых веществ влиять на иммунную систему заключается в регуляции иммунной активности (Gomez-Rosales S, 2015; Mudroňová D et al., 2020).

ГВ усиливают рост иммунных органов цыплят-бройлеров, в основном тимуса и фабрицевой сумки (Ghazalah AA, 2011).

Таким образом, ГВ являются сильными иммуномодуляторами и участвуют в гуморальной и клеточной ветви иммунной реакции (Chang QA et al., 2013; Kamel M et al., 2015).

Минеральный обмен.

Комплексообразующая способность ГВ связана с транспортом и биодоступностью микроэлементов из окружающей среды (Shoba V and Chudnenko K, 2014). Структура хелатов защищает химические элементы от реакции желудочно-кишечного тракта и повышает их стабильность при низких значениях pH (Mézes M et al., 2012). Отрицательный заряд хелатов также обеспечивает их эффективное прохождение через стенку кишечника несколькими путями, в основном через систему транспорта аминокислот (Vaskova J et al., 2018).

Гуминовые комплексы влияют на перераспределение ряда микроэлементов, таких как Zn, Fe, Mn, Cu (Vaskova J et al., 2011).

Гуминовая кислота способна изменять морфологию кишечника цыплят-бройлеров и регулировать уровень внутриклеточного двухвалентного кальция, тем самым увеличивая проницаемость слизистых оболочек и клеток (Jad'uttová I et al., 2019). Повышенная проницаемость способствует более лёгкому усвоению минералов из кишечника и их передаче из крови в кости и клетки, что приводит к эффективному развитию костей (Грибанова Е.А. и др., 2013; Johnsson M et al., 2015).

Регуляции антиоксидантного статуса.

Гуминовые кислоты поглощаются организмом и взаимодействуют на различных молекулярных и биохимических уровнях. Было показано, что они могут транскрипционно контролировать биотрансформацию, системы антиоксидантной и антистрессовой защиты, модулируя активность соответствующих ферментов (Maguey-Gonzalez JA et al., 2018).

Являясь гетерогенными окислительно-восстановительными органическими макромолекулами, ГВ способны стимулировать антиоксидантную активность цыплят-бройлеров. В исследованиях *in vitro* редокс свойства ГВ были тщательно изучены. Фенолы считаются основными электронодонорными фрагментами с антиоксидантными свойствами по сравнению с электроноакцепторными хинонами (Aeschbacher M et al., 2012).

По сведениям Vaškova J с соавторами (2011), электрофильные свойства гуминовых веществ заметно уравнивают окислительно-восстановительный статус митохондрий. ГВ обладают сильными улавливающими свойствами в отношении гидроксильных радикалов и, в меньшей степени, супероксидных (Kamel MM et al., 2015).

В исследовании у бройлеров, получавших пищевые добавки с повышенным содержанием фульвокислот, было обнаружено повышение активности супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы и снижение уровня малонового диальдегида в крови (Мао Y, 2019).

В исследованиях Kamel MM с коллегами (2015) выявлено увеличение активности глутатионредуктазы, общей антиоксидантной и каталазной активности крови, что говорит о высоком антиоксидантном статусе цыплят-бройлеров, получавших добавку ГВ.

У бройлеров, получавших ГВ и подвергшихся транспортному стрессу, также наблюдалась повышенная активность супероксиддисмутазы и глутатионредуктазы в митохондриях печени по сравнению с контрольной группой (Vaskova J et al., 2018).

Таким образом, вещества гуминовой природы принимают участие в регуляции антиоксидантного статуса организма цыплят-бройлеров (Kamel MM et al., 2015; Vaskova J et al., 2018; Мао Y, 2019).

Влияние на микробиоту желудочно-кишечного тракта.

Ряд исследований доказывают влияние гуминовых веществ на микробиоту кишечника цыплят-бройлеров (Awwad M et al., 2011; Taklimi SM, 2012; Mudroňová D et al., 2020).

Во-первых, стоит отметить, гуматы влияют на соотношения бактериальных сообществ кишечника. При добавлении 0,8 % гуминовых веществ в рацион бройлеров, происходит значительное снижение энтеробактерий и увеличение количества молочнокислых бактерий в кишечном содержимом (Mohammadsadeghi F et al., 2019).

Во-вторых, гуминовая кислота стимулирует рост непосредственно самих микроорганизмов. Вероятно, данный эффект связан с увеличением проницаемости клеточной стенки, что в последствии отражается на транспорте питательных веществ внутрь клетки. Помимо этого в состав гуминовых веществ входят макро- и микроминералы, необходимые для жизнедеятельности бактерий (Taklimi SM et al., 2012).

Таким образом, гуминовые вещества влияют на продуктивность домашней птицы через экосистемы пищеварительного тракта (Taklimi SM et al., 2012; Arafat RY et al., 2017).

Влияние на качество продукции.

Было доказано, что использование гуминовых кислот в кормлении животных повышает эффективность выработки продукции животноводства (Saki AA et al., 2012; Jad'uttová I et al., 2019).

Включение гуминовой кислоты в рацион цыплят-бройлеров положительно влияет на показатели роста и состояния здоровья за счёт стимулирующих эффектов, приводящих к повышению эффективности использования корма (Disetlhe ARP et al., 2019; Disetlhe ARP, 2017).

Включение гуминовой кислоты в рацион может улучшать органолептические показатели мяса. Точный механизм неизвестен, предполагают, что данный эффект связан с содержащимися в составе химическими элементами (Fe, Mn и Cu), влияющими на цвет мяса (Disetlhe ARP et al., 2019). Из-за большого количества боковых цепей карбоновых кислот гуматы обладают хелатирующей способностью к ионам Zn, P, Fe (Ozturk E et al., 2014).

Помимо этого введение ГВ в рацион значительно увеличивает долю омега-3-ненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в мясе бройлеров, вероятно, из-за влияния на перевариваемость и распределение белков и липидов, что, в результате, приводит к увеличению накопления ПНЖК в мышечной ткани. Увеличение доли n-3 ПНЖК у бройлеров может быть связано с влиянием гуминовой кислоты на повышение активности десатуразы в превращении γ -линоленовой в эйкозапентаеновую, докозапентаеновую и докозагексаеновую кислоты (Disetlhe ARP et al., 2019).

Детоксикационные свойства.

Гуминовые вещества обладают детоксикационными свойствами. Они способны адсорбировать и выводить тяжёлые металлы, нитраты, фторид, органофосфаты, карбарил и хлоридные органические инсектициды.

Например, гуминовые кислоты являются хелатирующими агентами металлов, таких как железо, медь (Лебедев С.В. и Осипова Е.А., 2014). Оба элемента являются мощными генераторами активных форм кислорода. Свободные радикалы дестабилизируют межклеточный путь, увеличивая скорость утечки ионов (Maguey-Gonzalez JA et al., 2018). Повторно захватывая радикалы, ГВ могут усиливать антиоксидантный защитный механизм организма. Кроме того, было показано, что ароматические группы ГВ стимулируют активное поглощение Na^+ , активность K^+ -АТФазы и снижают межклеточную проницаемость. Эти эффекты будут противодействовать токсическому воздействию металлов (Wood CM et al., 2011; Vaskova J et al., 2018).

Выводы.

Таким образом, гуминовые вещества обладают высокой биологической активностью, проявляя эффективность в качестве стимуляторов роста цыплят-бройлеров, тем самым могут использоваться в качестве альтернативы антибиотикам. Степень биологического действия гуминовых веществ на организм цыплят-бройлеров зависит от: соотношения гуминовых и фульвокислот в со-

ставе; формы включения (вода, корм); химических характеристик, таких как длина цепи, состав боковых радикалов и происхождение (растение, почва, торф, уголь).

Гуминовые субстанции оказывают положительный эффект на пищеварительный тракт, иммунную систему, антиоксидантный статус и минеральный обмен сельскохозяйственной птицы. В частности, ряд исследователей отмечает увеличение коэффициента конверсии корма у подопытной птицы, что отражается на продуктивности цыплят-бройлеров и конечный выход продукции.

Учитывая проведённый анализ литературы, отметим, что использование гуминовых веществ в птицеводстве, является перспективной и достаточно эффективной стратегией.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005)

Литература

1. Бахарев А.А., Александрова С.С. Влияние гумата калия на мясную продуктивность цыплят – бройлеров // Эпоха науки. 2020. № 24. С. 24-29. [Bakharev AA, Alexandrova SS. Influence of potassium humate on meat productivity of broiler chickens. *Epokha nauki*. 2020;24:24-29. (*In Russ*)].
2. Безуглова О.С., Зинченко В.Е. Применение гуминовых препаратов в животноводстве (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 2. С. 89-93. [Bezuglova OS, Zinchenko VE. Application of humic substances in animal husbandry (review). *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(2):89-93. (*In Russ*)].
3. Влияние гуминовых кислот на формирование безопасности и товароведно-технологических качеств мяса цыплят-бройлеров / И.В. Симакова, А.А. Васильев, К.В. Корсаков, С.П. Лифанова, Л.Ю. Гуляева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2018. № 1(21). С. 15-22. [Simakova IV, Vasiliev AA, Korsakov KV, Lifanova SP, Gulyaeva LY. The influence of humic acids on the formation of safety and commodity qualities of broiler chicken meat. *Technologies of Food and Processing Industries of AIC – Healthy Food*. 2018;1(21):15-22. (*In Russ*)].
4. Капитонова Е.А., Пчельникова Ю.М., Чирвинский А.Ю. Эффективность использования гуминовых кислот при выращивании сельскохозяйственной птицы // Зоотехническая наука Беларуси. 2018. Т. 53. № 2. С. 151-158. [Kapitonova EA, Pchelnikova YM, Chirvinskiy AY. Efficiency of humic acids for poultry breeding. *Zootechnical Science of Belarus*. 2018;53(2):151-158. (*In Russ*)].
5. Комирня А.Н., Комлацкий В.И. Перспективы использования гуминовых веществ в птицеводстве // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам 75-й науч.-практ. конф. студентов по итогам НИР за 2019 год (г. Краснодар, 02-16 марта 2020 г.). Краснодар: КГАУ им. И.Т. Трубилина, 2020. С. 272-274. [Komirnyaya AN, Komlatskii VI. Prospects for the use of humic substances in poultry farming. (Conference proceedings) *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. statei po materialam 75-i nauch.-prakt. konf. studentov po itogam NIR za 2019 god* (g. Krasnodar, 02-16 marta 2020 g.). Krasnodar: KGAU im. Trubilina IT; 2020:272-274. (*In Russ*)].
6. Корсаков К.В. Эффективность использования кормовой добавки на основе гуминовых кислот при выращивании цыплят-бройлеров // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: тезисы докл. всероссийской науч.-практ. конф. (Благовещенск, 15 апреля 2020 г.). Благовещенск: ДГАУ, 2020. С. 124. [Korsakov KV. Effektivnost' ispol'zovaniya kormovoi dobavki na osnove guminovykh kislot pri vyrashchivanii tsyplyat-broilerov (Conference proceedings) *Agropromyshlennyy kompleks: problemy i perspektivy razvitiya: tezisy dokladov vserossiiskoi nauch.-prakt. konf. (Blagoveshchensk, 15 aprelya 2020 g.)*. Blagoveshchensk: DGAU; 2020:124. (*In Russ*)].
7. Лебедев С. В., Осипова Е. А. Изменение количества тяжёлых металлов в пшенице под действием различных форм железа с гуминовыми кислотами // Фундаментальные исследования. 2014. №. 11-11. С. 2438-2442. [Lebedev SV, Osipova EA. Changing the quantity of heavy metals in

wheat under different forms of iron with humic acid. *Fundamental Research*. 2014;11(11);2438-2442. (*In Russ*).

8. Лебедев С.В., Осипова Е.А., Сальникова Е. В. Изменение количества макроэлементов в пшенице под действием различных форм железа с гуминовыми кислотами // Вестник Оренбургского государственного университета, 2015. №. 6(181). С. 73-77. [Lebedev SV, Osipova EA, Salnikova EV. Changing the quantity of elements in wheat triticum vulgare vill. by different forms of iron with humic acids. *Vestnik Orenburg State University*. 2015;6(181):73-77. (*In Russ*)].

9. Логинов Г.П., Симакова С.А. Эффективность использования кормовой добавки «ГумоСпир» при выращивании сельскохозяйственной птицы // Учёные записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2011. Т. 205. С. 124-130. [Loginov GP, Simakova SA. Efficiency of feed additive "GumoSpir" growing in the agricultural poultry. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2011;205:124-130. (*In Russ*)].

10. Любимова Н.А., Рабинович Г.Ю. Гуминовые вещества как компоненты кормовых добавок (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 9. С. 77-84. [Lyubimova NA, Rabinovich GYu. Humic substances as components of feed additives (review). *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;34(9):77-84. (*In Russ*)]. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10914

11. Оценка изменения содержания токсичных элементов (Pb, As, Hg, Cd) в надземной части пшеницы *Triticum vulgare Vill* под воздействием вносимой в почву водной суспензии гуминовых кислот с различными формами железа / Осипова Е.А. и др. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. №. 2. С. 195-206. [Osipova EA et al. Assessment of changes in the content of toxic elements (Pb, As, Hg, Cd) in aboveground parts of wheat *Triticum vulgare vill* under the influence of insertion into the soil an aqueous suspension of humic acids with different forms of iron. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(2):195-206. (*In Russ*)]. doi: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-195-206

12. Сбоев А.А., Ситников В.А. Влияние концентрации гуминовых кислот на рост и развитие бройлеров // Пермский аграрный вестник. 2020. № 2 (30). С. 114-121. [Sboev AA, Sitnikov VA. The effect of humic acid concentration on the growth and development of broilers. *Perm Agrarian Journal*. 2020;2(30):114-121. (*In Russ*)]. doi: 10.24411/2307-2873-2020-10027

13. Серяков И.С., Лисицкая Н.Н., Былицкий Н.М. Эффективность использования препарата «Гумовет» в рационах цыплят-бройлеров // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. Горки: БГСХА, 2012. Вып. 15. Ч. 1. С. 219-228. [Seryakov IS, Lisitskaya NN, Bylitskii NM. Effektivnost' ispol'zovaniya preparata «Gumovet» v ratsionakh tsyplyat-broilerov. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva: sb. nauch. tr. Gorki: BGSKhA*; 2012;15(1):219-228. (*In Russ*)].

14. Сингариева Н.Ш., Топурия Л.Ю., Топурия Г.М. Рост и развитие утят под действием препарата гуминовой природы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2(76). С. 245-247. [Singariyeva NSh, Topuria LYu, Topuria GM. Growth and development of ducklings fed preparation of gumic nature. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):245-247. (*In Russ*)].

15. Содержание микроэлементов в мышцах и витаминов в печени цыплят-бройлеров при нагрузке гуматом калия / Е.А. Грибанова, Р.Г. Каримова, Т.В. Гарипов, О.Н. Павлова // Учёные записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2013. Т. 215. С. 81-85. [Gribanova EA, Karimova RG, Garipov TV, Pavlova ON. Contents of microelements in the muscle and vitamins in the liver of broiler chickens at a load of potassium humate. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2013;215:81-85. (*In Russ*)].

16. Сярдина И.П. Морфологический состав крови цыплят-бройлеров при применении гуминового препарата // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2014. № 5. С. 235-238. [Sjardina IP. Morfologicheskij sostav krovi cypljat-brojlerov pri primenenii guminovogo preparata. *Sel'skohozjajstvennyye nauki i agropromyshlennij kompleks na rubezhe vekov*. 2014;5:235-238. (*In Russ*)].

17. Abdel-Mageed MAA. Effect of dietary humic substances supplementation on performance and immunity of Japanese quail. *Egypt Poult Sci.* 2012;32(3): 645-660.
18. Aeschbacher M et al. Antioxidant properties of humic substances. *Environmental Science & Technology.* 2012;46(9):4916-4925. doi: 10.1021/es300039h
19. Arafat RY, Khan SH et al. Evaluation of humic acid as an aflatoxin binder in broiler chickens. *Annals of Animal Science.* 2017;17(1):241-255. doi: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0050>
20. Arif M et al. Impacts of dietary humic acid supplementation on growth performance, some blood metabolites and carcass traits of broiler chicks. *Indian J. Anim. Sci.* 2016;86(9):1073-1078.
21. Arif M, Rehman A, Abd El-Hack ME et al. Growth, carcass traits, cecal microbial counts, and blood chemistry of meat-type quail fed diets supplemented with humic acid and black cumin seeds. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2018;31(12):1930-1938. doi: 10.5713/ajas.18.0148
22. Aristimunha PC et al. Effect of dietary organic acids and humic substance supplementation on performance, immune response and gut morphology of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research.* 2020;29(1):85-94. doi: <https://doi.org/10.3382/japr/pfz031>
23. Awwad M, Atta AM, Elmenaway M et al. Effect of acidifiers on gastrointestinal tract integrity, zootechnical performance and colonization of *Clostridium perfringens* and aerobic bacteria in broiler chickens. *J Am Sci.* 2011;7(4):618-628.
24. Cha JY, Kang SH, Ali I, Lee SC, Ji MG, Jeong SY, Shin GI, Kim MG, Jeon JR, Kim WY. Humic acid enhances heat stress tolerance via transcriptional activation of Heat-Shock Proteins in *Arabidopsis*. *Sci Rep.* 2020;10(1):15042. doi: 10.1038/s41598-020-71701-8
25. Chang QF, Bai HX, Shi BM, Shan AS, Wei CY, Yu CQ, Tong BS. Effects of dietary FA on the growth performance, serum biochemical indices, routine blood parameter and immunity of growing swine. *Chin J Anim Nutr.* 2013;25:1836-1842.
26. Chianese S, Fenti A, Iovino P, Musmarra D, Salvestrini S. Sorption of organic pollutants by humic acids: a review. *Molecules.* 2020;25(4):918. doi: 10.3390/molecules25040918
27. Dai C, Xiao X, Yuan Y, Sharma G, Tang S. A comprehensive toxicological assessment of fulvic acid. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2020;2020:8899244. doi: 10.1155/2020/8899244
28. Delannoy M, Schwarz J, Fournier A, Rychen G, Feidt C. Effects of standard humic materials on relative bioavailability of NDL-PCBs in juvenile swine. *PLoS One.* 2014;9(12):e115759. doi: 10.1371/journal.pone.0115759
29. Disetthe ARP et al. Humic acid and enzymes in canola-based broiler diets: Effects on bone development, intestinal histomorphology and immune development. *South African Journal of Animal Science.* 2017;47(6):914-922. doi: 10.4314/sajas.v47i6.19
30. Disetthe ARP, Marume U, Mlambo V, Hugo A. Effects of dietary humic acid and enzymes on meat quality and fatty acid profiles of broiler chickens fed canola-based diets. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2019;32(5):711-720. doi: 10.5713/ajas.18.0408
31. Domínguez-Negrete A, Gómez-Rosales S, Angeles ML, López-Hernández LH, Reis-de Souza TC, López-García Y, Zavala-Franco A, Téllez-Isaias G. Effect of the addition of humic substances as growth promoter in broiler chickens under two feeding regimens. *Animals.* 2019;9(12):1101. doi: 10.3390/ani9121101
32. Edmonds MS, Johal S, Moreland S. Effect of supplemental humic and butyric acid on performance and mortality in broilers raised under various environmental conditions. *Journal Of Applied Poultry Research.* 2014;23(2):260-267. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00901>
33. Gao Y, He J, He Z, Li Z, Zhao B, Mu Y, Chu Z. Effects of fulvic acid on growth performance and intestinal health of juvenile loach *Paramisgurnus dabryanus* (Sauvage). *Fish Shellfish Immunology.* 2017;62:47-56. doi: 10.1016/j.fsi.2017.01.008
34. Ghazalah AA, Atta AM, Elkloub K, Mustafa MEI, Shata RFH. Effect of dietary supplementation of organic acids on performance, nutrients digestibility and health of broiler chicks. *Int J Poult Sci.* 2011;10(3):176-184. doi: 10.3923/ijps.2011.176.184

35. Gomez-Rosales S, de L Angeles M. Addition of a worm leachate as source of humic substances in the drinking water of broiler chickens. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2015;28(2):215-222. doi: 10.5713/ajas.14.0321
36. Ilan Y. Leaky gut and the liver: A role for bacterial translocation in nonalcoholic steatohepatitis. *World Journal of Gastroenterology.* 2012;18(21):2609-2618. doi: <https://doi.org/10.3748/wjg.v18.i21.2609>
37. Islam MZ, Tutar A et al. Humic substances – versatile natural products: Properties & applications. In: Filcheva E et al., editors. 19th International Conference of Humic Substances and their Contribution to the Climate Change Mitigation; 2018 September 16-21; Bulgaria, Albena Resort, 2019;1(5). p. 30-38.
38. Jađuttová I, Marcinčáková D, Bartkovský M, Semjon B, Harčarová M, Nagyová A, Váczi P, Marcinčák S. The effect of dietary humic substances on fattening performance, carcass yield, biochemical blood parameters and bone mineral profile of broiler chickens. *Acta Vet Brno.* 2019;88:307-313. doi: <https://doi.org/10.2754/avb201988030307>
39. Johnsson M, Johnsson KB, Andersson L, Jensen P, Wright D. Genetic regulation of bone metabolism in the chicken: similarities and differences to mammalian systems. *PLOS Genetics.* 2015;11(5):e1005250. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005250>
40. Jung H, Kwon S, Kim JH, Jeon JR. Which traits of humic substances are investigated to improve their agronomical value? *Molecules.* 2021;26(3):760. doi:10.3390/molecules26030760
41. Kaevska M, Lorencova A, Videnska P, Sedlar K, Provaznik I, Trckova M. Effect of sodium humate and zinc oxide used in prophylaxis of post-weaning diarrhoea on faecal microbiota composition in weaned piglets. *Vet Med.* 2016;61:328-336. doi: <https://doi.org/10.17221/54/2016-VETMED>
42. Kamel MM, Elhady M, El Iraqi KG, Wahba FA. Biological immune stimulants effects on immune response, behavioural and productive performance of broilers. *Egypt. Poult. Sci. J.* 2015;35:691-702.
43. Maguey-Gonzalez JA, Michel MA, Baxter MFA, Tellez G Jr, Moore PA Jr, Solis-Cruz B, Hernández-Patlan D, Merino-Guzman R, Hernandez-Velasco X, Latorre JD, Hargis BM, Gomez-Rosales S, Tellez-Isaias G. Effect of humic acids on intestinal viscosity, leaky gut and ammonia excretion in a 24 hr feed restriction model to induce intestinal permeability in broiler chickens. *Anim Sci J.* 2018;89(7):1002-1010. doi:10.1111/asj.13011
44. Mao Y. Modulation of the growth performance, meat composition, oxidative status, and immunity of broilers by dietary fulvic acids. *Poult Sci.* 2019;98(10):4509-4513. doi: 10.3382/ps/pez281
45. Mézes M, Erdélyi M, Balogh K. Deposition of organic trace metal complexes as feed additives in farm animals. *Eur Chem Bull.* 2012;1(10):410-413. <http://dx.doi.org/10.17628/ecb.2012.1.410-413>
46. Mohammadsadeghi F, Afsharmanesh M, Ebrahimnejad H. The substitution of humic material complex with mineral premix in diet and interaction of that with probiotic on performance, intestinal morphology and microflora of chickens. *Livestock Science.* 2019;228:1-4. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.010>
47. Mudroňová D, Karaffová V, Pešulová T, Koščová J, Cingel'ová Maruščáková I, Bartkovský M, Marcinčáková D, Z. Ševčíková Z, Marcinčák S. The effect of humic substances on gut microbiota and immune response of broilers. *Food and Agricultural Immunology.* 2020;31(1):137-149. doi: 10.1080/09540105.2019.1707780
48. Murbach TS, Glávits R, Endres JR, Clewell AE, Hirka G, Vértesi A, Béres E, Pasics Szakonyiné I. A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation. *Toxicol Rep.* 2020;7:1242-1254. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.08.030
49. Ozturk E, Coskun I, Ocak N, Erener G, Dervisoglu M, Turhan S. Performance, meat quality, meat mineral contents and caecal microbial population responses to humic substances administered in drinking water in broilers. *Br Poult Sci.* 2014;55(5):668-674. doi: 10.1080/00071668.2014.960807
50. Piccolo A. The Nature of Soil Organic Matter and Innovative Soil Managements to Fight Global Changes and Maintain Agricultural Productivity. In: Piccolo A, editors. *Carbon Sequestration in Agricultural Soils.* Springer, Berlin, Heidelberg; 2012:1-19. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-23385-2_1
51. Roth N, Käsbohrer A, Mayrhofer S, Zitz U, Hofacre C, Domig KJ. The application of antibiotics in broiler production and the resulting antibiotic resistance in *Escherichia coli*: A global overview. *Poult Sci.* 2019;98(4):1791-1804. doi:10.3382/ps/pey539

52. Saki AA, Harcini RN, Rahmetnejad E, Salary J. Herbal additives and organic acids as antibiotic alternatives in broiler chickens diet for organic production. *Afr J Biotechnol.* 2012;11(8):2139-2145.
53. Salzman NH. Microbiota-immune system interaction: An uneasy alliance. *Current Opinion in Microbiology.* 2011;14:99-105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mib.2010.09.018>
54. Semjon B, Marcinčáková D, Koréneková B, Bartkovský M, Nagy J, Turek P, Marcinčák S. Multiple factorial analysis of physicochemical and organoleptic properties of breast and thigh meat of broilers fed a diet supplemented with humic substances. *Poultry Science.* 2020;99(3):1750-1760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.012>
55. Shoba V., Chudnenko K. Ion exchange properties of humus acids. *Eurasian Soil Science.* 2014;47. 761-771. doi:10.1134/S1064229314080110.
56. Taklimi SM, Ghahri H, Isakan MA. Influence of different levels of humic acid and esterified glucomannan on growth performance and intestinal morphology of broiler chickens. *Agric Sci.* 2012;3(5):663-668. doi: 10.4236/as.2012.35080
57. Vaskova J, Patlevič P, Žatko D, Marcinčák S, Vaško L, Krempaská K, Nagy J. Effects of humic acids on poultry under stress conditions. *Slov Vet Res.* 2018;55(4):245-253. doi: <https://doi.org/10.26873/SVR-469-2018>
58. Vaskova J, Velika B, Pilatova M, Kron I, & Vasko L. Effects of humic acids in vitro. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Animal.* 2011;47:376-382. doi: <https://doi.org/10.1007/s11626-011-9405-8>
59. Wood CM, Al-Reasi H, & Smith DS. The two faces of DOC. *Aquatic Toxicology.* 2011;105(3-4):3-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.03.007>
60. Zhang AR et al. Dietary supplementation with sodium humate improves egg quality and immune function of laying hens. *Journal of Applied Animal Nutrition.* 2020;8(2):93-99. doi: <https://doi.org/10.3920/JAAN2020.0009>

References

1. Bakharev AA, Alexandrova SS. Influence of potassium humate on meat productivity of broiler chickens. *The Epoch of Science.* 2020;24:24-29.
2. Bezuglova OS, Zinchenko VE. Application of humic substances in animal husbandry (review). *Achievements of Science and Technology of AICis.* 2016;30(2):89-93.
3. Simakova IV, Vasiliev AA, Korsakov KV, Lifanova SP, Gulyaeva LY. The Influence of humic acids on the formation of safety and commodity qualities of broiler chicken meat. *Technologies of food and processing industries of AIC – healthy food.* 2018;1(21):15-22.
4. Kapitonova EA, Pchelnikova YM, Chirvinskiy AY. Efficiency of humic acids for poultry breeding. *Zootechnical Science of Belarus.* 2018;53(2):151-158.
5. Komirnyaya AN, Komlatskii VI. Prospects for the use of humic substances in poultry farming. (Conference proceedings) *Scientific support of the agro-industrial complex: collection of articles. Art. based on the materials of the 75th scientific-practical. conf. students based on the results of research work for 2019 (Krasnodar, March 02-16, 2020).* Krasnodar: KGAU named after Trubilin IT, 2020:272-274.
6. Korsakov KV. Efficiency of using a feed additive based on humic acids in growing broiler chickens (Conference proceedings) *Agro-industrial complex: problems and development prospects: theses of reports. All-Russian scientific-practical. conf. (Blagoveshchensk, 15 april 2020).* Blagoveshchensk: FSAU; 2020:124.
7. Lebedev SV, Osipova EA. Changing the quantity of heavy metals in wheat under different forms of iron with humic acid. *Fundamental Research.* 2014;11(11):2438-2442.
8. Lebedev SV, Osipova EA, Salnikova EV. Changing the quantity of elements in wheat triticum vulgare vill. by different forms of iron with humic acids. *Vestnik Orenburg State University.* 2015;6(181):73-77.
9. Loginov GP, Simakova SA. Efficiency of feed additive "GumoSpir" growing in the agricultural poultry. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine.* 2011;205:124-130.
10. Lyubimova NA, Rabinovich GYu. Humic substances as components of feed additives (review). *Achievements of Science and Technology of AICis.* 2020;34(9):77-84. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10914

11. Osipova EA et al. Assessment of changes in the content of toxic elements (Pb, As, Hg, Cd) in aboveground parts of wheat *Triticum vulgare* vill under the influence of insertion into the soil an aqueous suspension of humic acids with different forms of iron. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(2):195-206. doi: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-195-206
12. Sboev AA, Sitnikov VA. The effect of humic acid concentration on the growth and development of broilers. *Perm Agrarian Journal*. 2020;2(30):114-121. doi: 10.24411/2307-2873-2020-10027
13. Seryakov IS, Lisitskaya NN, Bylitsky NM. The effectiveness of using "Gumovet" in the diets of broiler chickens. Actual problems of intensive development of animal husbandry: collection of articles. scientific. Works Gorki: BGSKhA; 2012;15(1):219-228.
14. Singariyeva NSh, Topuria LYu, Topuria GM. Growth and development of ducklings fed preparation of gumic nature. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):245-247.
15. Griбанова EA, Karimova RG, Garipov TV, Pavlova ON. Contents of microelements in the muscle and vitamins in the liver of broiler chickens at a load of potassium humate. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2013;215:81-85.
16. Syardina IP. Morphological composition of the blood of broiler chickens when using a humic preparation. *Agricultural Sciences and Agro-Industrial Complex at the Turn of the Century*. 2014;5:235-238.
17. Abdel-Mageed MAA. Effect of dietary humic substances supplementation on performance and immunity of Japanese quail. *Egypt Poult Sci*. 2012;32(3): 645-660.
18. Aeschbacher M et al. Antioxidant properties of humic substances. *Environmental Science & Technology*. 2012;46(9):4916-4925. doi: 10.1021/es300039h
19. Arafat RY, Khan SH et al. Evaluation of humic acid as an aflatoxin binder in broiler chickens. *Annals of Animal Science*. 2017;17(1):241-255. doi: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0050>
20. Arif M et al. Impacts of dietary humic acid supplementation on growth performance, some blood metabolites and carcass traits of broiler chicks. *Indian J. Anim. Sci*. 2016;86(9):1073-1078.
21. Arif M, Rehman A, Abd El-Hack ME et al. Growth, carcass traits, cecal microbial counts, and blood chemistry of meat-type quail fed diets supplemented with humic acid and black cumin seeds. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2018;31(12):1930-1938. doi: 10.5713/ajas.18.0148
22. Aristimunha PC et al. Effect of dietary organic acids and humic substance supplementation on performance, immune response and gut morphology of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2020;29(1):85-94. doi: <https://doi.org/10.3382/japr/pfz031>
23. Awwad M, Atta AM, Elmenawey M et al. Effect of acidifiers on gastrointestinal tract integrity, zootechnical performance and colonization of *Clostridium perfringens* and aerobic bacteria in broiler chickens. *J Am Sci*. 2011;7(4):618-628.
24. Cha JY, Kang SH, Ali I, Lee SC, Ji MG, Jeong SY, Shin GI, Kim MG, Jeon JR, Kim WY. Humic acid enhances heat stress tolerance via transcriptional activation of Heat-Shock Proteins in *Arabidopsis*. *Sci Rep*. 2020;10(1):15042. doi: 10.1038/s41598-020-71701-8
25. Chang QF, Bai HX, Shi BM, Shan AS, Wei CY, Yu CQ, Tong BS. Effects of dietary FA on the growth performance, serum biochemical indices, routine blood parameter and immunity of growing swine. *Chin J Anim Nutr*. 2013;25:1836-1842.
26. Chianese S, Fenti A, Iovino P, Musmarra D, Salvestrini S. Sorption of organic pollutants by humic acids: a review. *Molecules*. 2020;25(4):918. doi: 10.3390/molecules25040918
27. Dai C, Xiao X, Yuan Y, Sharma G, Tang S. A comprehensive toxicological assessment of fulvic acid. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2020;2020:8899244. doi: 10.1155/2020/8899244
28. Delannoy M, Schwarz J, Fournier A, Rychen G, Feidt C. Effects of standard humic materials on relative bioavailability of NDL-PCBs in juvenile swine. *PLoS One*. 2014;9(12):e115759. doi: 10.1371/journal.pone.0115759
29. Disetlthe ARP et al. Humic acid and enzymes in canola-based broiler diets: Effects on bone development, intestinal histomorphology and immune development. *South African Journal of Animal Science*. 2017;47(6):914-922. doi: 10.4314/sajas.v47i6.19
30. Disetlthe ARP, Marume U, Mlambo V, Hugo A. Effects of dietary humic acid and enzymes on meat quality and fatty acid profiles of broiler chickens fed canola-based diets. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2019;32(5):711-720. doi: 10.5713/ajas.18.0408

31. Domínguez-Negrete A, Gómez-Rosales S, Angeles ML, López-Hernández LH, Reis-de Souza TC, López-García Y, Zavala-Franco A, Téllez-Isaias G. Effect of the addition of humic substances as growth promoter in broiler chickens under two feeding regimens. *Animals*. 2019;9(12):1101. doi: 10.3390/ani9121101
32. Edmonds MS, Johal S, Moreland S. Effect of supplemental humic and butyric acid on performance and mortality in broilers raised under various environmental conditions. *Journal Of Applied Poultry Research*. 2014;23(2):260-267. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00901>
33. Gao Y, He J, He Z, Li Z, Zhao B, Mu Y, Chu Z. Effects of fulvic acid on growth performance and intestinal health of juvenile loach *Paramisgurnus dabryanus* (Sauvage). *Fish Shellfish Immunology*. 2017;62:47-56. doi: 10.1016/j.fsi.2017.01.008
34. Ghazalah AA, Atta AM, Elkloub K, Mustafa MEI, Shata RFH. Effect of dietary supplementation of organic acids on performance, nutrients digestibility and health of broiler chicks. *Int J Poult Sci*. 2011;10(3):176-184. doi: 10.3923/ijps.2011.176.184
35. Gomez-Rosales S, de L Angeles M. Addition of a worm leachate as source of humic substances in the drinking water of broiler chickens. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2015;28(2):215-222. doi: 10.5713/ajas.14.0321
36. Ilan Y. Leaky gut and the liver: A role for bacterial translocation in nonalcoholic steatohepatitis. *World Journal of Gastroenterology*. 2012;18(21):2609-2618. doi: <https://doi.org/10.3748/wjg.v18.i21.2609>
37. Islam MZ, Tutar A et al. Humic substances – versatile natural products: Properties & applications. In: Filcheva E et al., editors. 19th International Conference of Humic Substances and their Contribution to the Climate Change Mitigation; 2018 September 16-21; Bulgaria, Albena Resort, 2019;1(5). p. 30-38.
38. Jaďuttová I, Marcinčáková D, Bartkovský M, Semjon B, Harčarová M, Nagyová A, Váczi P, Marcinčák S. The effect of dietary humic substances on fattening performance, carcass yield, biochemical blood parameters and bone mineral profile of broiler chickens. *Acta Vet Brno*. 2019;88:307-313. doi: <https://doi.org/10.2754/avb201988030307>
39. Johnsson M, Johnsson KB, Andersson L, Jensen P, Wright D. Genetic regulation of bone metabolism in the chicken: similarities and differences to mammalian systems. *PLOS Genetics*. 2015;11(5):e1005250. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005250>
40. Jung H, Kwon S, Kim JH, Jeon JR. Which traits of humic substances are investigated to improve their agronomical value? *Molecules*. 2021;26(3):760. doi:10.3390/molecules26030760
41. Kaevska M, Lorencova A, Videnska P, Sedlar K, Provaznik I, Trckova M. Effect of sodium humate and zinc oxide used in prophylaxis of post-weaning diarrhoea on faecal microbiota composition in weaned piglets. *Vet Med*. 2016;61:328-336. doi: <https://doi.org/10.17221/54/2016-VETMED>
42. Kamel MM, Elhady M, El Iraqi KG, Wahba FA. Biological immune stimulants effects on immune response, behavioural and productive performance of broilers. *Egypt. Poult. Sci. J*. 2015;35:691-702.
43. Maguey-Gonzalez JA, Michel MA, Baxter MFA, Tellez G Jr, Moore PA Jr, Solis-Cruz B, Hernández-Patlan D, Merino-Guzman R, Hernandez-Velasco X, Latorre JD, Hargis BM, Gomez-Rosales S, Tellez-Isaias G. Effect of humic acids on intestinal viscosity, leaky gut and ammonia excretion in a 24 hr feed restriction model to induce intestinal permeability in broiler chickens. *Anim Sci J*. 2018;89(7):1002-1010. doi:10.1111/asj.13011
44. Mao Y. Modulation of the growth performance, meat composition, oxidative status, and immunity of broilers by dietary fulvic acids. *Poult Sci*. 2019;98(10):4509-4513. doi: 10.3382/ps/pez281
45. Mézes M, Erdélyi M, Balogh K. Deposition of organic trace metal complexes as feed additives in farm animals. *Eur Chem Bull*. 2012;1(10):410-413. <http://dx.doi.org/10.17628/ecb.2012.1.410-413>
46. Mohammadsadeghi F, Afsharmanesh M, Ebrahimnejad H. The substitution of humic material complex with mineral premix in diet and interaction of that with probiotic on performance, intestinal morphology and microflora of chickens. *Livestock Science*. 2019;228:1-4. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.010>
47. Mudroňová D, Karaffová V, Pešulová T, Koščová J, Cingelová Maruščáková I, Bartkovský M, Marcinčáková D, Z. Ševčíková Z, Marcinčák S. The effect of humic substances on gut microbiota and immune response of broilers. *Food and Agricultural Immunology*. 2020;31(1):137-149. doi: 10.1080/09540105.2019.1707780
48. Murbach TS, Glávits R, Endres JR, Clewell AE, Hirka G, Vértesi A, Béres E, Pasics Szakonyiné I. A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation. *Toxicol Rep*. 2020;7:1242-1254. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.08.030

49. Ozturk E, Coskun I, Ocak N, Erener G, Dervisoglu M, Turhan S. Performance, meat quality, meat mineral contents and caecal microbial population responses to humic substances administered in drinking water in broilers. *Br Poult Sci.* 2014;55(5):668-674. doi: 10.1080/00071668.2014.960807
50. Piccolo A. The Nature of Soil Organic Matter and Innovative Soil Managements to Fight Global Changes and Maintain Agricultural Productivity. In: Piccolo A, editors. *Carbon Sequestration in Agricultural Soils.* Springer, Berlin, Heidelberg; 2012:1-19. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-23385-2_1
51. Roth N, Käsbohrer A, Mayrhofer S, Zitz U, Hofacre C, Domig KJ. The application of antibiotics in broiler production and the resulting antibiotic resistance in *Escherichia coli*: A global overview. *Poult Sci.* 2019;98(4):1791-1804. doi:10.3382/ps/pey539
52. Saki AA, Harcini RN, Rahmetnejad E, Salary J. Herbal additives and organic acids as antibiotic alternatives in broiler chickens diet for organic production. *Afr J Biotechnol.* 2012;11(8):2139-2145.
53. Salzman NH. Microbiota-immune system interaction: An uneasy alliance. *Current Opinion in Microbiology.* 2011;14:99-105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mib.2010.09.018>
54. Semjon B, Marcinčáková D, Koréneková B, Bartkovský M, Nagy J, Turek P, Marcinčák S. Multiple factorial analysis of physicochemical and organoleptic properties of breast and thigh meat of broilers fed a diet supplemented with humic substances. *Poultry Science.* 2020;99(3):1750-1760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.012>
55. Shoba V., Chudnenko K. Ion exchange properties of humus acids. *Eurasian Soil Science.* 2014;47. 761-771. doi:10.1134/S1064229314080110.
56. Taklimi SM, Ghahri H, Isakan MA. Influence of different levels of humic acid and esterified glucomannan on growth performance and intestinal morphology of broiler chickens. *Agric Sci.* 2012;3(5):663-668. doi: 10.4236/as.2012.35080
57. Vaskova J, Patlevič P, Žatko D, Marcinčák S, Vaško L, Krempaská K, Nagy J. Effects of humic acids on poultry under stress conditions. *Slov Vet Res.* 2018;55(4):245-253. doi: <https://doi.org/10.26873/SVR-469-2018>
58. Vaskova J, Velika B, Pilatova M, Kron I, & Vasko L. Effects of humic acids in vitro. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Animal.* 2011;47:376-382. doi: <https://doi.org/10.1007/s11626-011-9405-8>
59. Wood CM, Al-Reasi H, & Smith DS. The two faces of DOC. *Aquatic Toxicology.* 2011;105(3-4):3-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.03.007>
60. Zhang AR et al. Dietary supplementation with sodium humate improves egg quality and immune function of laying hens. *Journal of Applied Animal Nutrition.* 2020;8(2):93-99. doi: <https://doi.org/10.3920/JAAN2020.0009>

Нечитайло Ксения Сергеевна, аспирант 3-го года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, e-mail: k.nechit@mail.ru

Рязанцева Кристина Владимировна, аспирант 3-го года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, e-mail: reger94@bk.ru

Сизова Елена Анатольевна, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-912-344-99-07, e-mail: Sizova.L78@yandex.ru

Королёв Владимир Леонтьевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-79

Поступила в редакцию 19 февраля 2021 г.; принята после решения редколлегии 15 марта 2021 г.; опубликована 31 марта 2021 г. / Received: 19 February 2021; Accepted: 15 March 2021; Published: 31 March 2021