

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1314

EDN: GPFIRS

УДК 57.044:636.22/28



Научная статья

О ВЛИЯНИИ МАЛЫХ МОЛЕКУЛ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РУБЦЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА IN SITU

Д.Е. Шошин, К.Н. Атландерова

Аннотация

Обоснование. Отказ от антибиотиков в животноводстве побуждает к поиску новых более эффективных альтернатив, одной из которых являются фитохимические вещества – малые молекулы с выраженным биоактивным действием.

Цель исследования – анализ влияния транс-коричного альдегида, 7-гидроксикумарина, дигидрокверцетина и ванилина, а также их комбинаций на метаболические процессы в рубце жвачных: переваримость сухого вещества, обмен азота, синтез летучих жирных кислот и метана, целлюлозолитическую и амилолитическую активность микрофлоры, углеводный обмен.

Материалы и методы. В статье рассмотрены физиологические свойства дигидрокверцетина, 7-гидроксикумарина, ванилина и транс-коричного альдегида, как действующих веществ из экстрактов некоторых растений. Проведена их аттестация по методу «in situ» на бычках породы казахская белоголовая, включая определение переваримости сухого вещества корма (метод нейлоновых мешочков), динамики концентраций метана и летучих жирных кислот (газовая хроматография), форм азота (метод Кьельдаля), амилолитической и целлюлозолитической активности (ручной метод) микробиоты.

Результаты. Исследуемые фитобиотические вещества способствуют повышению переваримости сухого вещества кормового субстрата in situ в диапазоне от +5,5 % до +12,8 %, модулируют амилолитическую и целлюлозолитическую активность, дигидрокверцетин и его комплекс с ванилином обладает максимальным потенцирующим эффектом в выработке летучих жирных кислот. Ванилин, дигидрокверцетин и транскоричный альдегид нивелируют выработку CH_4 .

Заключение. Проведенные исследования демонстрируют существенный потенциал транс-коричного альдегида, ванилина, 7-гидроксикумарина, дигидро-кверцетина и их комбинаций в качестве модификаторов ферментативных процессов в рубце.

Ключевые слова: фитохимические вещества; малые молекулы; дигидро-кверцетин; 7-гидроксикумарин; ванилин; транс-коричный альдегид; переваримость; рубец; жвачные; метан; азот; летучие жирные кислоты

Для цитирования. Шошин, Д. Е., & Атландерова, К. Н. (2025). О влиянии малых молекул растительного происхождения на пищеварительные процессы в рубце крупного рогатого скота *in situ*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 58-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1314>

Original article

ON THE EFFECT OF SMALL MOLECULES OF PLANT ORIGIN ON DIGESTIVE PROCESSES IN THE RUMEN OF CATTLE IN SITU

D.E. Shoshin, K.N. Atlanderova

Abstract

Background. The abandonment of antibiotics in animal husbandry leads to the search for new more effective alternatives, one of which is phytochemicals – small molecules with pronounced bioactive effects.

Purpose. Analysis of the effect of trans-cinnamic aldehyde, 7-hydroxycoumarin, dihydroquercetin and vanillin, as well as their combinations on metabolic processes in ruminant rumen: digestibility of dry matter, nitrogen metabolism, synthesis of volatile fatty acids and methane, cellulolytic and amylolytic activity of microflora, carbohydrate metabolism.

Materials and methods. The article discusses the physiological properties of dihydroquercetin, 7-hydroxycoumarin, vanillin and trans-cinnamic aldehyde as active ingredients from extracts of some plants. Their certification was carried out using the “in situ” method on Kazakh white-headed gobies, including determination of the digestibility of dry matter of feed (nylon bag method), dynamics of concentrations of methane and volatile fatty acids (gas chromatography), nitrogen forms (Kjeldahl method), amylolytic and cellulolytic activity (manual method) of microbiota.

Results. The studied phytobiotic substances increase the digestibility of the dry matter of the feed substrate *in situ* in the range from +5.5% to +12.8%, modulate

amylolytic and cellulolytic activity, dihydroquercetin and its complex with vanillin have a maximum potentiating effect in the production of volatile fatty acids. Vanillin, dihydroquercetin and transcoric aldehyde neutralize the production of CH₄.

Conclusion. The conducted studies demonstrate the significant potential of trans-cinnamic aldehyde, vanillin, 7-hydroxycoumarin, dihydroquercetin and their combinations as modifiers of enzymatic processes in the rumen.

Keywords: phytochemicals; small molecules; dihydroquercetin; 7-hydroxycoumarin; vanillin; trans-cinnamic aldehyde; digestibility; rumen; ruminants; methane; nitrogen; volatile fatty acids

For citation. Shoshin, D. E., & Atlanderova, K. N. (2025). On the effect of small molecules of plant origin on digestive processes in the rumen of cattle in situ. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 58-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1314>

Введение

Успешность, эффективность и самодостаточность национальной экономики любого независимого государства базируется на широком спектре инкорпорированных в единую систему, взаимосвязанных и в то же время обособленных производственных отраслей, как материальных (промышленность и сельское хозяйство), так и нематериальных (транспорт, финансы, торговля). При этом каждая из них обладает определенным удельным весом. В частности, выступая в роли источника продуктов питания, слагающие компоненты которых (белки, жиры, углеводы, биологически активные вещества) непосредственно детерминируют возможность существования здоровой нации, животноводство и растениеводство являются не только гарантом продовольственной безопасности, но и, как правило, формируют ядро национального благосостояния [115]. Тем не менее даже при высокой степени интеграции мирового хозяйства, сопряженной с переходом на интенсивные технологии производства, отдельные регионы планеты, не исключая высокоразвитые страны, зачастую сталкиваются с дефицитом некоторых продовольственных товаров, чаще всего - источников полноценного белка (различные виды мяса) [44, 75]. Последнее ощущается особенно остро на фоне увеличения численности населения планеты: по данным ФАО за период с 2012 по 2022 год прирост составил более 825 млн человек, при этом потребление животного белка на душу населения выросло с 34,5 до 38,1 г в сутки. Структурно эта величина составляет около 40% от общего количества протеинов в рационе при рекомендуемой норме – 50% (ФАО; Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21) [2, 32]. Важно

также отметить, что в развивающихся странах, в отличие от развитых, ситуация еще более обостряется. Иными словами, существует определенный крен в сторону растительных полипептидов, связанный с большей легкостью их получения. Однако ввиду природных отличий фитогенный белковый компонент не способен заместить животный аналог по фактору незаменимых аминокислот, и более того обладает меньшей усвояемостью и анаболическим эффектом, а также, как правило, характеризуется большей гидрофобностью и агрегированностью [22, 111]. Все это в совокупности на фоне расширения национальных требований к качеству мясной продукции, побуждает животноводческий комплекс к активному поиску возможных решений и способов глубокой интенсификации производства. Последние же условно можно дифференцировать на две созависимые группы. Первая линейка методов подразумевает выведение высокопродуктивных или совершенствование уже существующих пород скота и птицы по достижению ими максимально возможных приростов живой массы за минимальные сроки, что даже при существующем уровне технологий и способах генетического маркирования остается весьма время- и трудозатратным [31, 96]. Более того, новые породы, типы и кроссы нуждаются в длительных периодах аттестации и адаптации, и как правило, имеют изнеженную конституцию, с присущей для нее меньшей сопротивляемостью в отношении различных экологических факторов – климатических, микробиологических и кормовых [46]. Таких животных иногда крайне трудно адаптировать к условиям, отличным от природы мест их выведения без прилития крови аборигенной сельскохозяйственной фауны [34, 63, 94]. Вторая линейка методов предлагает совершенствовать технологии кормления и содержания животных, тем самым обеспечивая лучшую и максимально полную реализацию заложенного в них генетического потенциала при большей рентабельности производства [24, 37, 106]. В этой области исследуется как различные эвентуальные вариации по составу кормосмесей, срокам и методам их скармливания сказываются на пищеварительных процессах, усвояемости питательных веществ и конверсии последних в продукцию, будь то мясо, сало, яйца или молоко [69, 79]. Отдельным направлением является оценка эффективности применения отходов пищевого производства в качестве дополнительных источников метаболической энергии взамен дорогостоящих концентратов [99, 108], а также разработка и внедрение в рационы биоактивных компонентов (кормовых добавок) с каталитическими, антибиотическими, микробиоммодулирующими, противогрибковыми и противовоспалительными свойствами [89], что также

актуально на фоне запрета применения фармацевтических антибиотиков в терапевтических целях в животноводстве из-за растущих рисков распространения резистентности к широкому спектру патогенов [68]. Среди подобных веществ особое внимание уделяется изучению роли энзимов [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], антимикробных пептидов [114, 117], наночастиц [53, 92], олигосахаридов [101] и фитобиотиков [8] в регуляции и стимуляции метаболических процессов различной физиологической направленности. При этом если первые три группы представлены достаточно дорогостоящими или трудносинтезируемыми материалами, то четвертая является наиболее доступной и весьма многообещающей, поскольку включает растительные экстракты, смолы, живицы, перемолотую растительную массу [61], или выделенные из них полифункциональные фитогеники (малые молекулы – вторичные метаболиты растений) [55, 120]. Это, например, тимол [126], эвгенол [97] и карвакрол [112], получаемые, соответственно из эфирных масел тимьяна (*Thymus vulgaris L.*), гвоздики (*Dianthus sp.*) и душицы обыкновенной (*Origanum vulgare L.*), пиперин [84] и капсаицин [86] из черного (*Piper nigrum L.*) и стручкового перцев (*Capsicum annum L.*), различные олеорезины [118], лимонен [51] цитрусовых (*Citrinae*), ментол [56] из мяты перечной (*Mentha × piperita L.*) и многие другие вещества, показавшие значительный потенциал в качестве ростстимулирующих [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 127], антибактериальных [83], противопаразитарных [73] и микробиоммодулирующих агентов [185].

Иными словами, использование различных по своей структуре и составу вторичных метаболитов растений в качестве альтернативы фармацевтическим антибиотикам - стимуляторам роста в животноводстве является весьма рациональным и обнадеживающим решением. Но и в этом случае существуют определенные ограничения, обусловленные, во-первых, природным многообразием фитогеников, а также потенциалом их совместного использования и химической модификации; во-вторых, возможностями взаимодействия последних с иными кормовыми ингредиентами (особенно про- или пребиотиками и органическими кислотами); в-третьих, неопределенностью метаболических превращений малых молекул в условиях сложно организованной пищеварительной системы и наконец, отсутствием полного понимания механизмов действия фитогеников, опосредующих стимуляцию роста, регуляцию иммунитета и ингибирование окислительного стресса [119, 127]. Следовательно, перед внедрением в практику кормления определенной группы сельскохозяйственных животных каких-либо фито-

генных молекул, или же их синтетических аналогов как в чистом виде, так и в комплексе необходимо проводить детальную оценку направленности и степени воздействия последних на различные процессы в организме, в том числе для определения оптимальных доз вводимых компонентов [90].

Цель исследования – анализ влияния транс-коричного альдегида, 7-гидроксикумарина, дигидрохверцетина и ванилина, а также их комбинаций на метаболические процессы в рубце жвачных: переваримость сухого вещества, обмен азота, синтез летучих жирных кислот и метана, целлюлозолитическая и амилолитическая активность микрофлоры, углеводный обмен – в субингибиторных дозировках, выявленных с помощью тестов подавления бактериальной люминесценции и систем «*Quorum sensing*» на рекомбинантных штаммах *Escherichia coli*, несущих гибридные плазмиды *pUC19* и *pAL103* [1, 3].

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе Центра коллективного пользования ФГБНУ ФНИЦ БСТ РАН (<https://цкп-бст.рф>).

Переваримость сухого вещества корма in situ (метод нейлоновых мешочков). Динамику переваримости сухого вещества рациона у бычков казахской белоголовой породы возрастом 12-13 месяцев и живой массой 310-320 кг оценивали методом «*in situ*», для этого использовали 5,0 г высушенного и измельченного образца корма (Таблица 1).

Таблица 1.

Структура рациона подопытных животных

Вид корма / кормовой добавки	Доля в рационе, кг
сено разнотравное	4,5
сено люцерновое	5
зерносмесь	3
отруби пшеничные	1
соль поваренная	0,038
премикс	0,004

Туда же добавляли исследуемые вещества в необходимых дозировках (Таблица 2):

1) Ванилин (Acros Organics, Бельгия) – фенольный альдегид с молекулярной формулой $C_8H_8O_3$, в структуре которого присутствуют также гидроксильная и эфирная функциональные группы, прикрепленные к аро-

матическому кольцу. Это основной компонент экстракта стручков орхидеи *Vanilla planifolia* с выраженными противоопухолевыми, нейропротекторными, антибиотическими и антикворумными характеристиками [7].

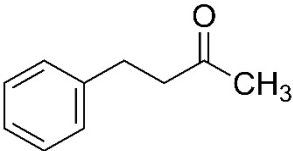
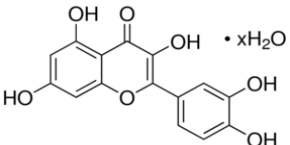
2) 7-гидроксикумарин (Acros Organics, Бельгия) – лактон о-оксикоричной кислоты, гетероциклическое соединение из класса бензопиринов состава $C_9H_6O_3$, получаемое из бобов тонка – семян *Dipteryx odorata*. Кумарины и их производные обладают широким спектром биологически активных свойств, в частности: антикоагулянтными, бактерицидными, противовоспалительными, антиоксидантными, противовирусными и фермент-ингибирующими [36].

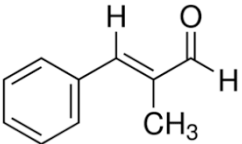
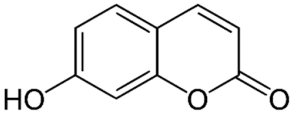
3) Дигидрокверцетин (Acros Organics, Бельгия) – флавоноидное соединение структуры $C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$, обнаруженное во многих растениях и обладающее антиоксидантной, антибактериальной и противопаразитарной активностью в купе с вазопротекторными и антииммуносупрессионными свойствами, демонстрирующее также способность смягчать действие микотоксинов [98].

4) Транс-коричный альдегид, или циннамаль (Acros Organics, Бельгия) – основной компонент эфирного масла *Cinnamomum sp.*, монотерпеновый углеводород C_9H_8O , применяемый в народной медицине как антиоксидантное, противовоспалительное и антибактериальное средство при лечении диабета, заболеваний сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной системы, синдромов Паркинсона и Альцгеймера [11].

Таблица 2.

Тестируемые фитобиотические агенты

Название: тривиальное, CAS	Брутто-формула	Структурная формула	Молярная масса	Дозировка, моль/л
Ванилин (VN), CAS 121-33-5	$C_8H_8O_3$		152,1	$2,5 \times 10^{-4}$
Дигидрокверцетин (QC), CAS 6151-25-3	$C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$		338,3	$4,9 \times 10^{-4}$

Транс-коричный альдегид (CN), CAS 104-55-2	C_9H_8O		132,2	$1,5 \times 10^{-5}$
7-гидроксикумарин (CM), CAS 93-35-6	$C_9H_6O_3$		162,1	$2,5 \times 10^{-4}$

Полученную кормосмесь помещали в нейлоновые мешочки для анализа (Ankom F57), пористостью 25 микрон, которые предварительно были взвешены и пронумерованы. Затем спаянные мешочки погружали через фистулу в рубец бычков на 9 часов [41]. По окончании инкубации образцы промывали и высушивали при температуре +60 °С до константного веса, параллельно отбирали пробы рубцовой жидкости. В качестве контроля использовали корм без добавок. Коэффициент переваримости определяли по формуле:

$$K = \frac{(m_1 - m_2)}{5000} \times 100 \% \quad (1)$$

где m_1 – масса высушенного мешочка с кормом, после переваривания;
 m_2 – масса мешочка без корма

На втором этапе исследований определяли эффективность применения бинарных комбинаций фитогеников: CN+QC, CN+CM, CN+VN, QC+VN с целью выявления синергетических или антагонистических эффектов.

Содержание метана. По завершении инкубации проводили отбор проб воздуха для определения уровня метана на приборе «Кристаллюкс-2000М» методом газовой хроматографии. Определение содержания предельных углеводородов в газовой пробе основано на газохроматографическом разделении компонентов на колонке, заполненной окисью алюминия, модифицированной едким натром, с последующей их регистрацией пламенно-ионизационным детектором. Газовые цельностеклянные шприцы с анализируемыми пробами предварительно выдерживали в помещении до комнатной температуры. Ввод пробы в хроматограф осуществлялся краном-дозатором не менее 3 раз. Кран-дозатор переводили в положение «отбор», подсоединяли шприц и вытесняли пробу (в объеме 20 - 30 см³). Вытеснение проб из шприца осуществлялось насыщенным раствором хлористого натрия. Затем отсоединяли шприц от крана-доза-

тора для выравнивания в нём давления, далее переводили кран-дозатор в положение «анализ».

Амилитическая активность. В пробирке смешивали 1,6 мл 6,25 %-ного раствора крахмального субстрата с 7,4 мл фосфатного буфера (рН 6,8). После 10-минутного нагревания пробирки в водяной бане LOIP LB-160 (АО «Лабораторное оборудование и приборы») при +40 °С добавляли 1 мл жидкости рубца, процеженной через 2 слоя марли. Содержимое пробирки тщательно взбалтывали и сразу же пипеткой переносили 0,5 мл этой жидкости в мерную колбу на 50 мл с 2 мл 2 н. раствора HCl для прекращения действия микробных ферментов. В колбу добавляли 2 мл раствора калия йод-йодистого и дистиллированной водой доводили объем до 50 мл (проба до инкубации). После этого пробирку выдерживали 1 ч в водяной бане при температуре +40 °С, периодически (через 10–15 мин) перемешивая содержимое пробирки встряхиванием. По завершении инкубации из пробирки отбирали пробу 0,5 мл и переносили в мерную колбочку на 50 мл с 2 мл 2 н. раствора HCl. Добавляли 2 мл калия йод-йодистого и дистиллированную воду до метки (проба после инкубации). Полученные растворы проб до инкубации и через 1 ч после нее исследовали на спектрофотометре СФ-2000 («ОКБ СПЕКТР», Россия) в кюветах на 10 мм при красном светофильтре (620 нм) против дистиллированной воды.

По калибровочной кривой определяли количество крахмала (мг) в растворах до инкубации и после нее. Разница между этими показателями дает количество крахмала, расщепленного микробной амилазой за 1 ч инкубации. Степень переваримости крахмала выражали в мг/ч на 1 мл рубцовой жидкости:

$$A_a = (m_1 - m_2) \times 20 \quad (2)$$

где m_1 – масса крахмала в растворе до инкубации, мг;

m_2 – масса крахмала в растворе после инкубации, мг;

20 – коэффициент пересчета на 1 мл рубцовой жидкости;

Целлюлолитическая активность. В пробирке смешивали 10 мл рубцовой жидкости и 0,3 мл 16 %-ного раствора глюкозы, сюда же помещали заранее взвешенную (≈ 100 мг) обезжиренную хлопчатобумажную нить, заливали вазелиновым маслом и плотно закрывали резиновой пробкой. Далее пробирку помещали в термостат ТС-1/80 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия) при +40 °С на 48 часов, после чего доставали нить, промывали ее и сушили до постоянной массы, фиксируя изменение веса. Степень переваримости целлюлозы выражали в мг/ч на 1 мл рубцовой жидкости:

$$Ac = \frac{(m_1 - m_2)}{48 \times 10}, \quad (3)$$

где m_1 – масса нити до переваривания, мг;

m_2 – масса нити после переваривания, мг;

48 – время экспозиции, ч;

10 – коэффициент пересчета на 1 мл рубцовой жидкости.

Уровень ЛЖК и показатели обмена азотистых метаболитов. Летучие жирные кислоты в содержимом рубца определяли методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием на хроматографе газовом «Кристаллюкс-4000М» (ООО «НПФ Мета-хром», Россия). Общий и остаточный азот устанавливали методом Кьельдаля. Концентрацию водородных ионов (рН) определяли с помощью иономера рН-150МИ (ООО «Измерительная техника», Россия).

Динамика углеводного обмена. Оценку влияния фитохимических веществ на углеводный обмен проводили по содержанию растворимых и легкогидролизуемых углеводов в кормовом субстрате. Сущность метода заключается в экстракции из навески кормового субстрата дистиллированной водой при температуре $+50^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ растворимых углеводов (сахаров), последующем гидролизе 1%-ным раствором серной кислоты легкогидролизуемых углеводов (крахмала) в остатке, дегидратации сахаров экстракта и гидролизата, окрашивании растворов антроновым реактивом и фотометрическом определении оптической плотности растворов.

Заключение по биоэтике. При проведении работ были предприняты все необходимые меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых образцов в соответствии с International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Дизайн и методика эксперимента были рассмотрены и одобрены комитетом по биоэтике (Протокол № 2 от 11 марта 2024 г.).

Статистическая обработка. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью программного пакета «Statistica 12» («Stat Soft Inc.», США) и «Microsoft Excel» («Microsoft», США). Рассчитывали среднее (M) и стандартную ошибку ($\pm SE$), коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r). Для сравнения вариантов использовали непараметрический метод анализа. Различия считали статистически значимыми при * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$.

Результаты исследований

Внесение фитогеников в рубец позволило значительно улучшить переваримость сухого вещества корма (Рисунок 1). Так в случае с чистыми ве-

ществами – ванилином, дигидрокверцетином, транскоричным альдегидом и 7-гидроксикумарином коэффициент переваримости увеличился на 11,3 % ($P = 0,012$); 10,1 % ($P = 0,012$); 10,2 % ($P = 0,012$) и 12,8 % ($P = 0,012$) соответственно. Несколько меньшим интенсифицирующим действием, в диапазоне от 5,5 до 9,6 % ($P = 0,012$), обладали составленные на основе этих же соединений комбинации.

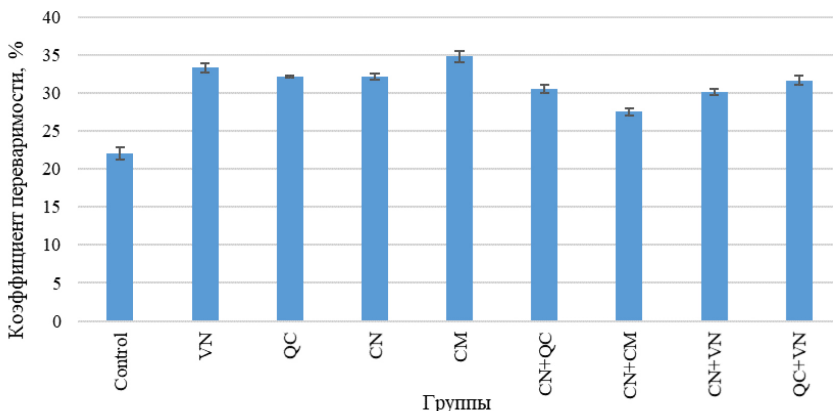


Рис. 1. Переваримость сухого вещества корма при введении в рубец фитогеников ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

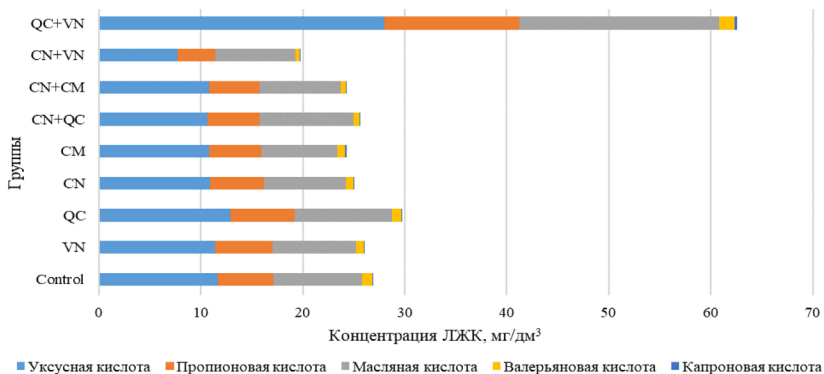


Рис. 2. Концентрация летучих жирных кислот

в рубцовом содержимом после инкубирования с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин

В то же время фитогеники показали дифференцированный эффект относительно концентрации летучих жирных кислот в рубцовой жидкости (Рисунок 2; Таблица 3). По истечению 9-часовой экспозиции исследуемые фитохимические вещества снижали процесс образования ЛЖК, и только дигидрокверцетин, как в отдельности, так и в комплексе с ванилином стимулировал его.

Таблица 3.

Динамика изменения концентрации ЛЖК в рубцовой жидкости при инкубировании с фитогениками и их комплексами (n = 5)

Летучие жирные кислоты	Группы							
	VN	QC	CN	CM	CN+QC	CN+CM	CN+VN	QC+VN
Уксусная кислота	↓-2,6	↑+10,3	↓-6,8	↓-7,7	↓-8,5	↓-7,7	↓-33,8	↑+139,3
<i>P-value</i>	0,676	0,144	0,210	0,210	0,210	0,210	0,012	0,012
Пропионовая кислота	↑+4,6	↑+16,8	↓-3,0	↓-5,5	↓-5,5	↓-8,1	↓-31,6	↑+144,0
<i>P-value</i>	0,676	0,022	0,676	0,210	0,210	0,210	0,012	0,012
Масляная кислота	↓-6,8	↑+8,8	↓-7,9	↓-14,2	↑+4,9	↓-8,7	↓-10,4	↑+124,3
<i>P-value</i>	0,210	0,210	0,210	0,037	0,531	0,210	0,060	0,012
Валерьяновая кислота	↓-14,9	↓-1,1	↓-18,1	↓-18,1	↓-35,1	↓-45,7	↓-57,4	↑+64,9
<i>P-value</i>	0,022	0,676	0,022	0,022	0,012	0,012	0,012	0,012
Капроновая кислота	↓-11,1	↑+11,1	↑+11,1	↑+0,0	↓-22,2	↓-33,3	↑+11,1	↑+122,2
<i>P-value</i>	0,060	0,022	0,210	0,676	0,012	0,012	0,060	0,012

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксумарин. Отмечены различия значимые на уровне $P \leq 0,05$.

Так, введение дигидрокверцетина способствовало достоверному увеличению концентрации пропионовой и капроновой кислот на 16,8 % ($P = 0,022$) и 11,1 % ($P = 0,022$), соответственно. Транскоричный альдегид, как в чистом виде, так и в различных сочетаниях, во всех опытах ингибировал выработку валериановой кислоты в диапазоне от 18,1 % (CN, $P = 0,022$) до 57,4 % (CN+VN, $P = 0,012$). В частности, его комбинация с ванилином демонстрировала максимальный подавляющий эффект: снижалась концентрация всех ЛЖК, кроме капроновой. Напротив, комплекс QC+VN продемонстрировал наибольший потенцирующий эффект: уровень всех ЛЖК увеличился более чем в 2 раза. Следует также отметить, что концентрация уксусной и пропионовой кислот в определенной степени коррелировала с коэффициентом переваримости сухого вещества базового субстрата ($r = 0,30$ при $P = 0,042$; $r = 0,38$ при $P = 0,009$).

Амилолитическая активность рубцовой микробиоты менялась неоднозначно (Рисунок 3). При введении ванилина, транскоричного альдегида, 7-гидроксиумарина, а также комплексов CN+CM и QC+VN она снижалась на 13,1 % ($P = 0,012$); 9,1 % ($P = 0,012$) 47,9 % ($P = 0,012$) 33,4 % ($P = 0,012$) и 13,1 % ($P = 0,012$), соответственно.

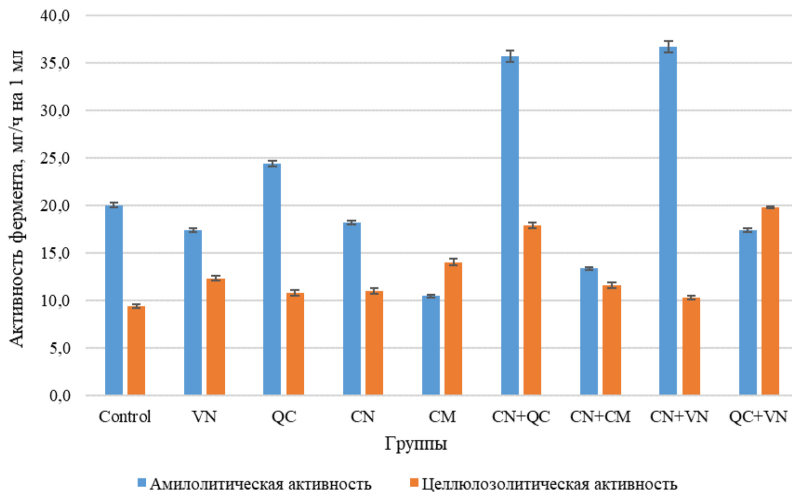


Рис. 3. Амилолитическая и целлюлозолитическая активность рубцовой жидкости при внесении в нее фитогеников ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

В свою очередь, дигидрокверцетин и сочетания CN+QC и CN+VN, обладали противоположным действием, стимулируя расщепление крахмала, разница с контролем – +21,8 % ($P = 0,012$) +78,6 % ($P = 0,012$) и +83,3 % ($P = 0,012$). Аналогичным образом, целлюлозолитическая активность увеличивалась во всех опытах в диапазоне от +9,6 % (CN+VN; $P = 0,022$) до +110,9 % (QC+VN; $P = 0,012$), коррелируя с показателями переваримости сухого вещества ($r = 0,49$ при $P < 0,001$).

Что касается азотного обмена, то его динамика, судя по всему, затрагивалась в наименьшей степени (Рисунок 4). Значимым было только снижение общего и белкового азота при внесении в реактор 7-гидроксиумарина – на 10,1 и 11,8 %, соответственно. Аналогичным эффектом обладал комплекс CN+VN (-9,2 %; $P = 0,022$). CN+CM снижал концентрацию белкового азота на 7,6 % ($P = 0,022$), а QC+VN – небелкового на 8,0 % ($P = 0,022$). При этом

количество общего азота закономерно возрастало при повышении доли белкового ($r = 0,98$ при $P < 0,001$) и небелкового азота ($r = 0,50$ при $P < 0,001$).

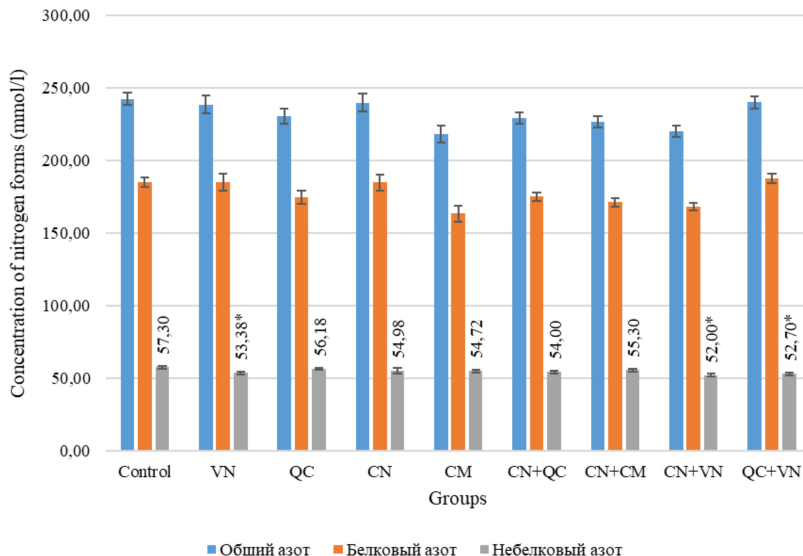


Рис. 4. Концентрация форм азота (ммоль/л) в рубцовой жидкости после инкубации с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксикумарин; * - $P \leq 0,05$

В то же время концентрация растворимых углеводов в рубцовой жидкости снижалась во всех группах (Рисунок 5) в диапазоне от -23,1 % (QC, $P = 0,012$) до -57,7 % (CN+CM, $P = 0,012$). При этом уровень легкогидролизуемых углеводов в опытах с ванилином, транскоричным альдегидом и комплексом CN+VN увеличился на 12,1 % ($P = 0,012$); 17,7 % ($P = 0,012$); 26,2 % ($P = 0,012$), соответственно. Показательно, что концентрация легкогидролизуемых углеводов отрицательно коррелировала с амилитической активностью рубцовой жидкости ($r = -0,43$ при $P = 0,003$), а растворимых – с целлюлозолитической ($r = -0,33$ при $P = 0,029$).

Выработка метана в рубцовой жидкости также зависела от вида вводимых фитогеников (Рисунок 6; Таблица 4). Ванилин, дигидрокверцетин и транскоричный альдегид ингибировали этот процесс, снижая концентрацию метана на 51,8 % ($P = 0,012$); 49,3 % ($P = 0,012$), 23,8 % ($P = 0,012$), соответственно. 7-гидроксикумарин, а также сочетания CN+CM и CN+VN,

действовали противоположным образом: +38,7 % ($P = 0,012$), +17,9 % ($P = 0,022$) и +17,9 % ($P = 0,022$). Комплексы CN+QC и QC+VN, в свою очередь не имели значимых эффектов.

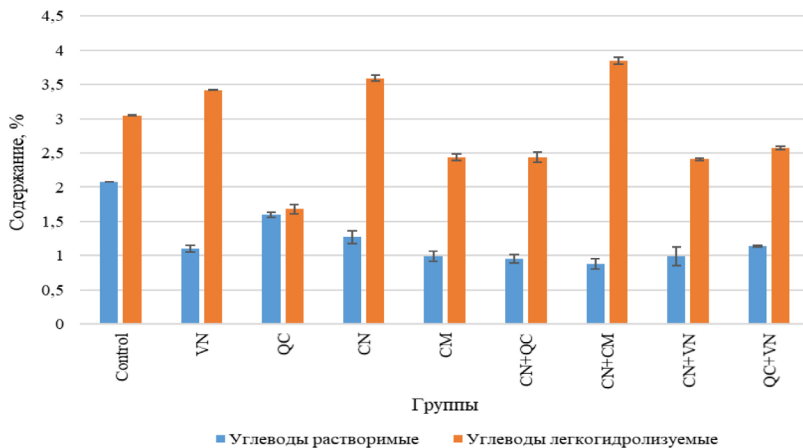


Рис. 5. Углеводы растворимые и легкогидролизуемые в рубцовой жидкости после инкубации с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

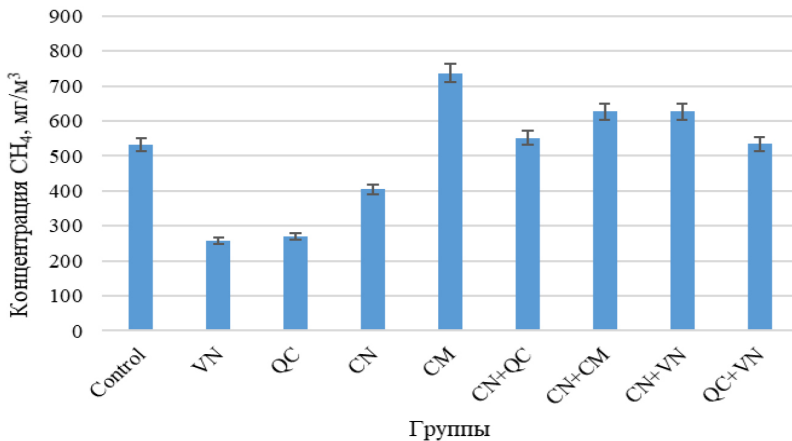


Рис. 6. Концентрация метана в реакторе с рубцовой жидкостью после инкубирования с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

Таблица 4.

**Эквивалент CO₂ в реакторе с рубцовой жидкостью
после инкубирования с фитогениками (n = 5)**

Группы	Эквивалент CO ₂ , е/г	P-value
Control	13,29±0,47	-
VN	6,41±0,227*	0,012
QC	6,75±0,239*	0,012
CN	10,12±0,358*	0,012
CM	18,44±0,652*	0,012
CN+QC	13,81±0,488	0,676
CN+CM	15,67±0,554*	0,022
CN+VN	15,67±0,554*	0,022
QC+VN	13,35±0,472	0,676

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксумарин; * - P ≤ 0,05

Таким образом, представленные фитогеники обладают существенным потенциалом в аспекте регуляции метаболических процессов в рубце жвачных, поскольку способны повышать коэффициент переваримости сухого вещества корма, стимулировать или ингибировать выработку летучих жирных кислот, а также амилолитическую и целлюлозолитическую активность микробиоты.

Обсуждение

Частные аспекты реструктуризации пищеварительных процессов в рубце жвачных под влиянием фитобиотических добавок могут быть сопряжены с реализацией нескольких альтернативных стратегий в отношении микробиома, ведущих к селективному бактерицидному или антибиотическому эффекту, сопряженному к тому же с индукцией или ингибированием отдельных ферментативных функций и метаболических путей, а также прямым или косвенным воздействием на экспрессию генов [5, 40, 65]. К примеру, ранее было показано, что коричный альдегид и его производные эффективно подавляют рост и размножение *Bacillus cereus* [62], *Escherichia coli* [14, 71, 80, 95, 113, 124], *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*, *Chromobacterium violaceu* [71], *Bacillus subtilis* [80, 113, 124], *Staphylococcus* spp. [33, 95, 113, 124], *Listeria* spp., *Salmonella* spp. [14, 33, 80, 113, 124,], *Lactobacillus sakei* [124], *Campylobacter jejuni* [14, 109], *Vibrio* spp. [80, 103, 113,], *Pseudomonas* spp. [80, 95, 113], *Porphyromonas gingivalis* [113], *Streptococcus pyogenes* [103] и *Cronobacter sakazakii* [33,

113]. Причем, следует отметить, что коричный альдегид, как правило, действует преимущественно на патогенные формы, такие как *Clostridium perfringens* и *Bacteroides fragilis*, не затрагивая полезную микробиоту, например, *Bifidobacterium longum* и *Lactobacillus acidophilus* [64]. Аналогичным образом, растительный флавоноид кверцетин подавляет грамположительные и грамотрицательные бактерии, грибки и вирусы [49], ингибируя, к примеру, пролиферацию *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus sanguis*, *Actinobacillus actinomycetemocomitans* и *Prevotella intermedia* при минимальной пороговой концентрации (МПК) в диапазоне от 1 до 8 мг/мл [102], а также *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* при МПК 20 мкг/мл. Более того, структурные модификации кверцетина усиливают его антимикробную активность по сравнению с родительской молекулой, например, кверцетин-5,3'-диметиловый эфир проявлял антибактериальные эффекты в отношении *Micrococcus luteus* и *Shigella sonnei* при МПК 25 мкг/мл [72]. Также было показано, что кверцетин подавляет рост различных лекарственно-устойчивых микроорганизмов, например, метициллин-резистентного золотистого стафилококка (MRSA) [66]. Он же демонстрирует противогрибковый потенциал в отношении *Aspergillus fumigatus* [125], *Candida* spp. [45], *Candida albicans* и *Saccharomyces cerevisiae* [66]. В целом, грамотрицательные бактерии более устойчивы к бактерицидному действию кверцетина, чем грамположительные виды [116].

Несколько противоречивые данные получены в отношении бактерицидных свойств 7-гидроксикумарина (умбеллиферона), выделяемого из экстрактов различных представителей семейства Зонтичные (*Umbelliferae*) – сельдерея, тмина, петрушки, фенхеля и др. [74]. В частности, с помощью метода микроразведений были установлены минимальные ингибирующие концентрации (МИК) умбеллиферона в отношении золотистого стафилококка, синегнойной палочки, а также метициллин-резистентных *Staphylococcus aureus* (MRSA) и *Escherichia coli*, составившие, соответственно, 500 мкг/мл и 1000 мкг/мл [54]. Чистый умбеллиферон показал умеренную антибактериальную активность с зонами ингибирования (количество образца 500 мкг) 1-4 мм в отношении *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus epidermidis*. Кумарин был неактивен в отношении бактериальных штаммов *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus* и *Staphylococcus aureus*, а также против грибковых штаммов *Candida albicans*, *Saccharomyces cerevisiae* и *Aspergillus niger*. Также оценивали активность умбеллиферона с помощью дискового диффузного метода в отношении растительных патогенных грибов. Он силь-

но подавлял рост *Fusarium culmorum* и был неактивен в отношении штаммов *Heterobasidium annosum*, *Botrytis cinerea*, *Phytophthora (cactorum)*, *Rhizoctonia solani* и *Rhizoctonia uninucleate* [85]. Аналогично, умбеллиферон в концентрации 5×10^{-3} М был совершенно неактивен в отношении *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus lysodeicticus* и *Bacillus megatherium*, *Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes* и *Serratia marcescens* [21]. Умбеллиферон в концентрации 500 ppm не мог подавлять рост *Bacillus cereus*, *Sarcina lutea*, *Staphylococcus aureus* SG8A, *Streptococcus lactis*, *Alcaligenes faecalis* B170, *Escherichia coli* ML30, *Pseudomonas aeruginosa* 111, *Salmonella typhimurim* Tml, *Serratia marcescens*, а также грибковых штаммов *Zygosaccharomyces* spp, *Candida* spp, *Pichia chodatii*, *Hansenula anomala*, *Saccharomyces* spp, *Torula uiiis*, *Hanseniaspora melligeri*, *Aspergillus* spp, *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus senti*, *Botrytis cinerea* и *Alienara* spp, в то время как рост *Byssoschlamys fulva* был эффективно подавлен [52]. Минимальная пороговая концентрация в отношении фитопатогена *Ralstonia solanacearum* составила 256 мг/л [121]. Такие отличия могут быть обусловлены различной структурой поверхностного антигенного аппарата у дифференцированных штаммов одного и того же вида бактерий, либо же условиями экспериментов и взаимодействием с компонентами питательных растворов. В частности, в опыте с *Fusarium oxysporum* при введении чистого умбеллиферона в количестве 1,6 мг/мл интенсивность ингибирования достигала 93,66 % и оставалась на этом же уровне после обработки светом, окислителем, восстановителем, Ca^{2+} , но значительно повышалась в кислой среде и снижалась в щелочной; после обработки Co^{2+} и Ni^{2+} ингибирующий эффект достигал 100 %, а противогрибковый эффект значительно усиливался после воздействия Mn^{2+} , напротив K^{+} подавлял противогрибковую активность [42].

Менее всего изучены антибиотические свойства ванилина [70], однако и в этом случае имеется ряд исследований, подтверждающих возможность его воздействия на бактериальные сообщества. Так, в частности, Ngarmasak M. et al. (2006), продемонстрировали, что ванилин эффективно подавляет рост и размножение бактерий *Pantoea agglomerans*, *Aeromonas enteropelogenes*, *Micrococcus lylae* и *Sphingobacterium spiritovorun* (МПК от 10 до 13,3 мМ), грибов *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. и *Fusarium* sp. (МПК от 12,5 до 13,3 мМ) и трех неопознанных дрожжей (МПК от 5,0 до 6,7 мМ), вызывающих порчу манго. Микробиологический анализ при хранении до 14 суток показал, что обработка 80 мМ ванилином значительно задерживает ($P < 0,05$) развитие общих аэробных бактерий и популяций дрожжей и плесени [81].

Иными словами, все исследуемые вещества в той или иной степени обладают антибиотическими свойствами, и соответственно, могут выступать в качестве метаболизм-регулирующих агентов. При этом, однако, не следует оценивать эффекты от их применения как тривиальные или однонаправленные, поскольку они в широком спектре определяются не только нагрузочной дозой, но и молекулярной структурой биоактивных центров (функциональный групп) малых молекул. Последние же, в свою очередь детерминируют перечень возможных механистических моделей, согласно которым фитобиотики взаимодействуют с клеткой. Так, к примеру биологические свойства кверцетина и 7-гидроксикумарина связывают с наличием в их структуре гидроксильных групп [88], транскоричного альдегида – с присутствием электрофильных участков (β -углерод на сопряженной двойной связи и углерод карбонильной группы) [27], ванилина, соответственно – с альдегидной, фенольной и эфирной составляющими [9, 30]. При этом, считается, что основные механизмы действия фитобиотиков, как показано на примере кверцетина, направлены на повреждение клеточных мембран или изменение их проницаемости, угнетение синтеза нуклеиновых кислот и белков, снижение экспрессии факторов вирулентности, митохондриальную дисфункцию, а также предотвращение образования биопленки [82]. В частности, известно, что малые молекулы, в структуре которых имеются фенольные группы -ОН, могут проникать через бактериальную плазматическую мембрану и связывать АТФ, или одновалентные катионы, такие как K^+ , транспортируя их из бактериальной клетки, и влияя тем самым на мембранный потенциал и гомеостаз [43, 122]. Кроме того, гидроксильная группа способна связывать и ингибировать ферменты, такие как АТФаза [38].

В свою очередь, терпены, в том числе и коричный альдегид, продемонстрировали способность изменять липидный профиль бактериальной плазматической мембраны, вызывая увеличение в ней концентрации насыщенных жирных кислот, что ведет к повышению жесткости последней [25], и как итог – к деполяризации, потере целостности мембраны, снижению дыхательной активности и коагуляции цитоплазматического материала [12, 47]. Так, например, обработка клеток *Bacillus cereus* и *Escherichia coli* в экспоненциальной фазе роста коричным альдегидом приводила к филаментации и ингибированию процессов деления за счет связывания фитобиотика с нитевидным температурочувствительным мембранным белком FtsZ, участвующим в цитокинезе: образование перегородок в этом случае было начато, но не завершено [26]. В других исследованиях было проде-

монстрировано, что транс-коричный альдегид снижает экспрессию генов *curlI* и *Shiga-like toxin stx2* у кишечной палочки [59], а различные его производные предотвращают адгезию *Vibrio parahaemolyticus* и *Vibrio harveyi* к инфицируемым клеткам, уменьшают секрецию протеазы и производство сигнальной молекулы индола, ингибируют образование биопленок и экспрессию связанных с этим процессом генов (*aphA*, *cpsA*, *luxS* и *opaR*), а также генов вирулентности (*fliA*, *tdh* и *vopS*) и генов мембранной целостности (*fadL* и *nusA*) [28].

Схожим действием обладает и умбеллиферон. Так, в 2022 г. *Giovannuzzi S. et al.* сообщили о том, что он ингибирует бактериальные α -карбоангидразы (α -CAs) из патогенов *Neisseria gonorrhoeae* (NgCA α) и холерного вибриона (VchCA α) в среднемоярном диапазоне $K_{\text{я}} = 77,1$ мкМ и 68,5 мкМ, соответственно [39]. В другой работе, было установлено, что 7-гидрокумарин также подавляет и тирозиназу [50]. Аналогичным образом, было показано, что ванилин ингибирует дыхание и рассеивает градиенты калия, бактериостатически действуя на *Escherichia coli*, *Lactiplantibacillus plantarum* и *Listeria innocua* при МПК 15, 75 и 35 ммоль/л, соответственно. При этом он, однако почти не повреждает цитоплазматическую мембрану и не затрагивает внутриклеточные пулы АТФ (за исключением *Lactiplantibacillus plantarum*, где выработка АТФ увеличивалась) [30].

Таким образом, исходя из вышесказанного, будет обоснованным предполагать, что малые молекулы растительного происхождения, попадая в микробиальную экосистему рубца, так или иначе способны модифицировать ее структуру и свойства за счет подавления деятельности одних, индифферентности по отношению к другим, или даже путем стимулирования третьих видов бактерий или простейших; доказательством тому - обилие исследований, подчеркивающих микробиом-модулирующие свойства фитобиотиков [48, 1, 55]. Согласно последним различные фитогеники способны дифференцированно стимулировать или ингибировать пищеварительные процессы в рубце, в том числе - ферментативную активность, выработку летучих жирных кислот, форм азота, сахаров и метана [19].

Так, например, Yang, Y. Y. et al. (2021) обнаружили, что введение в рацион телят голштинской породы инкапсулированного коричневого альдегида не влияет на интенсивность роста, однако снижает частоту диареи и индекс разнообразия микробиоты по Симпсону, при этом разнообразие по Шеннону растет, увеличивается численность *Firmicutes* и *Actinobacteria* на уровне типа и *Prevotella* на уровне рода [123]. Однако установленная в этом случае положительная динамика по концентрации летучих жирных

кислот в рубце, в том числе ацетата, пропионата, бутирата и валерата, не согласуется с представленными выше опытными данными, что может быть обусловлено породными и возрастными особенностями животных, а также различиями по составу рациона и используемыми дозировками [13, 17]. В частности, в другом исследовании на той же породе было установлено, что эфирное масло корицы не влияет на концентрацию аммиачного азота и летучих жирных кислот в рубце, но относительная численность простейших и метаногенов при этом снижается, сокращаются популяции *Fibrobacter succinogenes* и *Ruminococcus albus* [57], что гармонирует со снижением выработки CH_4 (Опыт CN). Тенденцию по нивелированию доли метана и аммиака в рубцовой жидкости подтверждают также работы Cobellis G. et al. (2016) и Li Y. et al. (2012) [19, 67]. Аналогично, в эксперименте с ферментерами Russitec и рубцовой жидкостью овец коричный альдегид увеличивал разнообразие и модифицировал структуру бактериальных сообществ при 9-дневной инкубации, но снижал концентрацию бактериальной ДНК после 14 дней. Тем не менее относительная численность грибов, архей, *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* и *Ruminococcus albus* не менялась относительно контроля, а выработка микробного белка увеличивалась [35], что говорит о возможностях адаптации микробиоты к циннамальдегиду при длительном воздействии. Примечательно, что в этой работе амилолитическая активность рубцовой жидкости при воздействии коричневого альдегида также имела тенденцию к снижению, как и в проведенном нами эксперименте. Таким образом, коричный альдегид обладает существенным потенциалом в роли модификатора ферментации в рубце жвачных, в частности в области снижения выбросов метана, однако его эффекты по отношению к выработке летучих жирных кислот и концентрации различных форм азота меняются в зависимости от вида животного, состава базового рациона и сроков скармливания.

Аналогичным образом, Sinz et al. (2018) сообщили, что флавоноиды, такие как дубильная кислота, эпикатехин, кверцетин, изокверцетин и лютеолин-7-глюкозид, уменьшают количество производимого метана по отношению к общему объему выделяемого газа в рубце [105]. Тестируемые флавоноиды, по их мнению, обладают таким же потенциалом, как и дубильная кислота для смягчения образования метана и аммиака во время ферментации в рубце *in vitro*, что благоприятно для окружающей среды. Похожие данные были получены и в экспериментах Oskoueian E. et al. (2013), показавших, что кверцетин в концентрации 4,5 % сни-

жает общую микробную популяцию в рубце, в том числе численность метаногенов и простейших, а также в определенной степени ингибирует выработку микробного белка, что согласуется с представленными выше данными по концентрации белкового азота [87]. Тем не менее, рутин – производное кверцетина, в дозе 3,0 мг/кг рациона способствовал снижению рН, концентрации аммонийного и мочевинового азота, а также белка простейших в рубце дойных коров, при этом стимулирует выработку летучих жирных кислот и микробного сырого протеина, а также повышал содержание лизоцима сыворотки крови, надои и усвояемость кормов [20]. В другой работе было показано, что добавки кверцетина значительно улучшают разнообразие кишечного бактериального сообщества у мышей, получавших антибиотики. При этом восстанавливается барьерная функция кишечника, о чем свидетельствует снижение содержания D-молочной кислоты в сыворотке крови и активности сывороточной диаминооксидазы. Длина кишечных ворсинок и толщина слизистых оболочек также были значительно увеличены в ответ на лечение кверцетином. Кроме того, выработка бутирата в фекалиях была значительно увеличена у мышей, получавших кверцетин [100]. Аналогично, Mi, W. et al. (2022) установили, что у мышей, введение в рацион кверцетина после приема антибиотиков увеличивает численность полезных для здоровья видов бактерий в кишечнике, включая *Faecalibaculum rodentium* (103,13%), *Enterorhabdus caecimuris* (4,13%), *Eggerthella lenta* (4%), *Roseburia hominis* (1,33%) и *Enterorhabdus mucosicola* (1,79%), по сравнению с модельной группой. Эти виды бактерий положительно связаны с экспрессией бутирата, пропионата и белков плотных соединений кишечного эпителия (*zonula occludens-1* и *occludin*), но отрицательно – с уровнем липополисахаридов сыворотки крови и фактора некроза опухоли α . Кроме того, анализ метаболических путей показал, что пищевой кверцетин значительно усиливает сплайсосома (111,11%), плотные соединения (62,96%), цитратный цикл (10,41%), метаболизм пирувата (6,95%) и биосинтез лизина (5,06%), но снижает биосинтез жирных кислот (23,91%) и биосинтез N-гликана (7,37%). Иными словами, диетический кверцетин увеличивал долю бутират-продуцирующих видов бактерий, а ацетил-КоА-опосредованный бутират ускорял углеводный и энергетический обмен, снижал подвижность клеток и эндотоксемию, увеличивал барьерную функцию кишечника.

Что касается кумарина и ванилина, то данных о их микробиом-модулирующих свойствах не так много, поскольку они в большей степени тести-

руются как аналоги лекарственных препаратов [7, 93]. Но, тем не менее, сам этот факт, а также описанные выше бактерицидные эффекты этих соединений говорят о возможности такого действия. В частности, было установлено, что кумарин и кумариновая кислота способны ингибировать утилизацию сахаров анаэробными грибами рубца *Neocallimastix frontalis* и *Neocallimastix patriciarum* [15]. Ванилин же дозозависимо в концентрациях 0,76 и 1,52 г/л снижал выработку метана, коэффициент переваримости кормового субстрата, концентрацию аммиака и летучих жирных кислот *in vitro*. При этом популяция простейших сократилась, но численность *Ruminococcus flavefaciens*, *Prevotella bryantii*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Prevotella ruminicola*, *Clostridium aminophilum* и *Ruminobacter amylophilus* увеличилась с увеличением доз ванилина [91].

Таким образом, ванилин, 7-гидроксикумарин, транскоричный альдегид и дигидрокверцетин могут существенным образом модифицировать микробальную экосистему жвачных, однако эффект от их применения во многом зависит от возраста, вида и породы, а также рациона подопытных животных и используемых дозировок. В частности, в перечисленных здесь работах как правило не было установлено положительного влияния фитогеников на переваримость сухого вещества корма, в то время как в проведенном нами эксперименте она достоверно увеличивалась во всех группах. Возможно это связано с использованием значительно меньших концентраций в сравнении с описанными ранее.

Также следует отметить, что свойства фитобиотических добавок могут существенно меняться в результате их метаболических превращений и разложения в рубце жвачных [58], и тем более при взаимодействии с другими биоактивными компонентами [23]. Так, к примеру, кверцетин действовал синергетически с другими химиотерапевтическими соединениями и антибиотиками, подавляя рост метициллин-резистентного *Staphylococcus aureus* [6]. Аналогичным образом, минимальные ингибирующие концентрации были значительно ниже, когда *Pseudomonas fluorescens*, обрабатывали кверцетином вместе с лактоферрином и гидроксипатитом, чем, когда их обрабатывали только кверцетином [78]. Ванилин, в свою очередь модулировал активность гентамицина и имипенема в отношении золотистого стафилококка и кишечной палочки, но не влиял на результативность норфлоксацина, тетрациклина и эритромицина в отношении этих же микроорганизмов, однако в отношении *Pseudomonas aeruginosa* ассоциация ванилина с норфлоксацином действовала синергетически [10]. Различные синтетические соединения на основе умбеллиферона также показали наличие противовоспалительных, антиоксидантных, нейропротекторных, противоэпилепти-

ческих, противодиабетических, противомикробных и противовирусных свойств [60]. Примечательно наличие синергетического бактерицидного эффекта в случае комбинации ванилина с эфирным маслом корицы [16], что согласуется с максимальным снижением выработки ЛЖК в опыте VN+CN.

Заключение

Проведенные исследования демонстрируют существенный потенциал транс-коричного альдегида, ванилина, 7-гидроксикумарина, дигидрокверцетина и их комбинаций в качестве модификаторов ферментативных процессов в рубце. Показано, что они способствуют повышению переваримости сухого вещества кормового субстрата *in situ* в диапазоне от +5,5 % (CN+CM) до +12,8 % (CM), модулируют амилолитическую и целлюлозолитическую активность, дигидрокверцетин и его комплекс с ванилином обладает максимальным потенцирующим эффектом в выработке летучих жирных кислот. Между тем, установлено, что ванилин, дигидрокверцетин и транскоричный альдегид нивелируют выработку CH_4 . Таким образом, перечисленные фитогеники могут выступать в качестве потенциальных регуляторов рубцового пищеварения, однако для полного понимания механизмов их действия на фоне существующих расхождений в результатах современных экспериментов необходимо провести детальный анализ не только качественного и количественного состава микробиоты, но и динамики метаболических путей в рубце жвачных при внесении фитобиотических компонентов в рационы различного состава для животных отличающихся по полу, возрасту, породе и условиям содержания.

Заключение комитета по этике. Дизайн и методика эксперимента были рассмотрены и одобрены комитетом по биоэтике (Протокол № 2 от 11 марта 2024 г.).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 22-76-10008, <https://rscf.ru/project/22-76-10008/>

Список литературы / References

1. Власенко, Л. В., Атландерова, К. Н., Дускаев, Г. К., & Шошин, Д. Е. (2023). Влияние фитохимических веществ на сигнальные молекулы системы

- «Quorum Sensing» у бактерий. *Международный вестник ветеринарии*, (2), 25–31. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.2.25>. EDN: <https://elibrary.ru/DUSZLN> (Vlasenko, L. V., Atlanderova, K. N., Duskaev, G. K., & Shoshin, D. E. (2023). Effect of phytochemicals on signaling molecules of the “Quorum Sensing” system in bacteria. *International Bulletin of Veterinary Medicine*, (2), 25–31. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.2.25>. EDN: <https://elibrary.ru/DUSZLN>)
2. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.). <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=m6638an2zk797764414#review> (*Methodological recommendations MP 2.3.1.0253-21 “Norms of physiological requirements for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation”* (approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing on July 22, 2021). Retrieved from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=m6638an2zk797764414#review>)
 3. Шошин, Д. Е., Дускаев, Г. К., Атландерова, К. Н., & Власенко, Л. В. (2023). Влияние фитомолекулярных комплексов на бактериальную люминесценцию in vitro. *Ветеринария и кормление*, (5), 91–93. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-5-22>. EDN: <https://elibrary.ru/TWCLTQ> (Shoshin, D. E., Duskaev, G. K., Atlanderova, K. N., & Vlasenko, L. V. (2023). Effect of phytomolecular complexes on bacterial bioluminescence in vitro. *Veterinary Medicine and Feeding*, (5), 91–93. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-5-22>. EDN: <https://elibrary.ru/TWCLTQ>)
 4. Ahmed, M. G., Elwakeel, E. A., El-Zarkouny, S. Z., & Al-Sagheer, A. A. (2024). Environmental impact of phytobiotic additives on greenhouse gas emission reduction, rumen fermentation manipulation, and performance in ruminants: an updated review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33664-5>. EDN: <https://elibrary.ru/MMDRZT>
 5. Álvarez-Martínez, F. J., Barrajón-Catalán, E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2021). Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: an updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*, 90, 153626. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>. EDN: <https://elibrary.ru/DWJXCJ>
 6. Amin, M. U., Khurram, M., Khattak, B., & Khan, J. (2015). Antibiotic additive and synergistic action of rutin, morin and quercetin against methicillin-resistant *Staphy-*

- lococcus aureus*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12906-015-0580-0>. EDN: <https://elibrary.ru/XYTOBQ>
7. Arya, S. S., Rookes, J. E., Cahill, D. M., & Lenka, S. K. (2021). Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring molecule. *Advances in Traditional Medicine*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13596-020-00531-w>. EDN: <https://elibrary.ru/LVFOER>
 8. Bagno, O. A., Prokhorov, O. N., Shevchenko, S. A., Shevchenko, A. I., & Dyadichkina, T. V. (2018). Use of phytobiotics in farm animal feeding. *Agricultural Biology*, 53(4), 687–697. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.4.687eng>. EDN: <https://elibrary.ru/UZBLPC>
 9. Banerjee, G., & Chattopadhyay, P. (2019). Vanillin biotechnology: the perspectives and future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 499–506. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9303>
 10. Bezerra, C. F., Camilo, C. J., do Nascimento Silva, M. K., de Freitas, T. S., Ribeiro-Filho, J., & Coutinho, H. D. M. (2017). Vanillin selectively modulates the action of antibiotics against resistant bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 113, 265–268. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.10.052>
 11. Błaszczuk, N., Rosiak, A., & Kałużna-Czaplińska, J. (2021). The potential role of cinnamon in human health. *Forests*, 12(5), 648. <https://doi.org/10.3390/f12050648>. EDN: <https://elibrary.ru/HEQDAR>
 12. Bouhdid, S., Abrini, J., Amensour, M., Zhiri, A., Espuny, M. J., & Manresa, A. (2010). Functional and ultrastructural changes in *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* cells induced by *Cinnamomum verum* essential oil. *Journal of Applied Microbiology*, 109(4), 1139–1149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04124.x>. EDN: <https://elibrary.ru/YVVQLV>
 13. Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Cardozo, P. W., & Kamel, C. (2005). Effects of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen microbial fermentation in a dual flow continuous culture. *Journal of Dairy Science*, 88(7), 2508–2516. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72928-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72928-3)
 14. Calo, J. R., Crandall, P. G., O’Bryan, C. A., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems — a review. *Food Control*, 54, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>
 15. Cansunar, E., Richardson, A. J., Wallace, G., & Stewart, C. S. (1990). Effect of coumarin on glucose uptake by anaerobic rumen fungi in the presence and absence of *Methanobrevibacter smithii*. *FEMS Microbiology Letters*, 70(2), 157–160. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb13970.x>
 16. Cava-Roda, R. M., Taboada-Rodríguez, A., Valverde-Franco, M. T., & Marín-Iniesta, F. (2012). Antimicrobial activity of vanillin and mixtures with cinnamon and

- clove essential oils in controlling *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 in milk. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2120–2131. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0484-4>. EDN: <https://elibrary.ru/LHURYI>
17. Chaves, A. V., Stanford, K., Gibson, L. L., McAllister, T. A., & Benchaar, C. (2008). Effects of carvacrol and cinnamaldehyde on intake, rumen fermentation, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1–4), 396–408. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.016>
 18. Cobellis, G., Trabalza-Marinucci, M., & Yu, Z. (2016). Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: a review. *Science of the Total Environment*, 545, 556–568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.103>
 19. Cobellis, G., Trabalza-Marinucci, M., Marcotullio, M. C., & Yu, Z. (2016). Evaluation of different essential oils in modulating methane and ammonia production, rumen fermentation, and rumen bacteria in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 215, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.008>
 20. Cui, K., Guo, X. D., Tu, Y., Zhang, N. F., Ma, T., & Diao, Q. Y. (2015). Effect of dietary supplementation of rutin on lactation performance, ruminal fermentation and metabolism in dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(6), 1065–1073. <https://doi.org/10.1111/jpn.12334>
 21. Dadák, V., & Hoďák, K. (1966). Some relations between the structure and the antibacterial activity of natural coumarins. *Experientia*, 22(1), 38–39. <https://doi.org/10.1007/BF01897757>. EDN: <https://elibrary.ru/DLWKCW>
 22. Day, L., Cakebread, J. A., & Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 428–442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>. EDN: <https://elibrary.ru/BQRSCJ>
 23. de Souza, K. A., de Oliveira Monteschio, J., Mottin, C., Ramos, T. R., de Moraes Pinto, L. A., Eiras, C. E., Guerrero, A., & do Prado, I. N. (2019). Effects of diet supplementation with clove and rosemary essential oils and protected oils (eugenol, thymol and vanillin) on animal performance, carcass characteristics, digestibility, and ingestive behavior activities for Nellore heifers finished in feedlot. *Livestock Science*, 220, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.026>
 24. Devendra, C., & Leng, R. A. (2011). Feed resources for animals in Asia: issues, strategies for use, intensification and integration for increased productivity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(3), 303–321. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.r.05>
 25. Di Pasqua, R., Betts, G., Hoskins, N., Edwards, M., Ercolini, D., & Mauriello, G. (2007). Membrane toxicity of antimicrobial compounds from essential oils.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12), 4863–4870. <https://doi.org/10.1002/pmic.200900568>. EDN: <https://elibrary.ru/OACPAN>
26. Domadia, P., Swarup, S., Bhunia, A., Sivaraman, J., & Dasgupta, D. (2007). Inhibition of bacterial cell division protein FtsZ by cinnamaldehyde. *Biochemical Pharmacology*, 74(6), 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2007.06.029>
 27. Doyle, A. A., & Stephens, J. C. (2019). A review of cinnamaldehyde and its derivatives as antibacterial agents. *Fitoterapia*, 139, 104405. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2019.104405>
 28. Faleye, O. S., Sathiyamoorthi, E., Lee, J. H., & Lee, J. (2021). Inhibitory effects of cinnamaldehyde derivatives on biofilm formation and virulence factors in *Vibrio* species. *Pharmaceutics*, 13(12), 2176. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13122176>. EDN: <https://elibrary.ru/OIMTXA>
 29. Fitzgerald, D. J., Stratford, M., Gasson, M. J., & Narbad, A. (2005). Structure–function analysis of the vanillin molecule and its antifungal properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1769–1775. <https://doi.org/10.1021/jf048575t>
 30. Fitzgerald, D. J., Stratford, M., Gasson, M. J., Ueckert, J., Bos, A., & Narbad, A. (2004). Mode of antimicrobial action of vanillin against *Escherichia coli*, *Lactobacillus plantarum* and *Listeria innocua*. *Journal of Applied Microbiology*, 97(1), 104–113. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02275.x>. EDN: <https://elibrary.ru/FOZWBR>
 31. Flint, A. P. F., & Woolliams, J. A. (2008). Precision animal breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 573–590. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2171>
 32. Food and Agriculture Organization (FAO). <https://www.fao.org/faostat/ru/#compare>
 33. Friedman, M. (2017). Chemistry, antimicrobial mechanisms, and antibiotic activities of cinnamaldehyde against pathogenic bacteria in animal feeds and human foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(48), 10406–10423. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04344>
 34. Galukande, E., Mulindwa, H., Wurzinger, M., Roschinsky, R., Mwai, A. O., & Sölkner, J. (2013). Cross-breeding cattle for milk production in the tropics: achievements, challenges and opportunities. *Animal Genetic Resources / Ressources génétiques animales / Recursos genéticos animales*, 52, 111–125. <https://doi.org/10.1017/S2078633612000471>
 35. García-Rodríguez, J., Saro, C., Mateos, I., Carro, M. D., & Ranilla, M. J. (2024). Effects of garlic oil and cinnamaldehyde on sheep rumen fermentation and microbial populations in Rusitec fermenters in two different sampling periods. *An-*

- imals*, 14(7), 1067. <https://doi.org/10.3390/ani14071067>. EDN: <https://elibrary.ru/SDWSCH>
36. Garg, S. S., Gupta, J., Sharma, S., & Sahu, D. (2020). An insight into the therapeutic applications of coumarin compounds and their mechanisms of action. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 152, 105424. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105424>. EDN: <https://elibrary.ru/XQOBAG>
37. Getabalew, M., & Alemneh, T. (2019). The application of biotechnology on livestock feed improvement. *Arch. Biomed. Eng. Biotechnol*, 1(5). <https://doi.org/10.33552/ABEB.2019.01.000522>
38. Gill, A. O., & Holley, R. A. (2006). Inhibition of membrane-bound ATPases of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* by plant oil aromatics. *International Journal of Food Microbiology*, 111(2), 170–174. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.046>
39. Giovannuzzi, S., Hewitt, C. S., Nocentini, A., Capasso, C., Flaherty, D. P., & Supuran, C. T. (2022). Coumarins effectively inhibit bacterial α -carbonic anhydrases. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 37(1), 333–338. <https://doi.org/10.1080/14756366.2021.2012174>. EDN: <https://elibrary.ru/YWOOIC>
40. Gonelimali, F. D., Lin, J., Miao, W., Xuan, J., Charles, F., Chen, M., & Hatab, S. R. (2018). Antimicrobial properties and mechanism of action of some plant extracts against food pathogens and spoilage microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1639. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01639>
41. Guadayo, G. F., Rayos, A. A., Merca, F. E., Tandang, A. G., Loresco, M. M., & Angeles, A. A. (2019). Prediction of in situ ruminal degradability of forages in buffaloes using the in vitro gas production technique. *Tropical Animal Science Journal*, 42(2), 128–136. <https://doi.org/10.5398/tasj.2019.42.2.128>
42. Guocai, Z., Jiyuan, A., Zhenting, X., Weihu, M., Heming, S., & Shouquan, C. (2022). Study on the antifungal activity and stability of 7-hydroxycoumarin. *Journal of Southwest Forestry University*, 42(2), 77–82. <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202012026>
43. Hemaiswarya, S., & Doble, M. (2009). Synergistic interaction of eugenol with antibiotics against Gram-negative bacteria. *Phytomedicine*, 16(11), 997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.04.006>
44. Henchion, M., Moloney, A. P., Hyland, J., Zimmermann, J., & McCarthy, S. (2021). Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*, 15, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>. EDN: <https://elibrary.ru/IBCFFM>

45. Herrera, C. L., Alvear, M., Barrientos, L., Montenegro, G., & Salazar, L. A. (2010). The antifungal effect of six commercial extracts of Chilean propolis on *Candida* spp. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37(1), 75–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202010000100007>
46. Hoffmann, I. (2010). Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics*, 41, 32–46. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02043.x>. EDN: <https://elibrary.ru/NAPKVF>
47. Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
48. Jahani-Azizabadi, H., Baraz, H., Bagheri, N., & Ghaffari, M. H. (2022). Effects of a mixture of phytobiotic-rich herbal extracts on growth performance, blood metabolites, rumen fermentation, and bacterial population of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 5062–5073. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20687>. EDN: <https://elibrary.ru/TQICTX>
49. Jaishingani, R. N. (2017). Antibacterial properties of quercetin. *Microbiology Research*, 8(1), 6877. <https://doi.org/10.3390/molecules27082494>
50. Jung, M. S., Jin, H. U., Kim, M. S., & An, C. E. (2024). Anti-melanogenic effects of umbelliferone: in vitro and clinical studies. *Molecules*, 29(23), 5571. <https://doi.org/10.3390/molecules29235571>. EDN: <https://elibrary.ru/KIWOPK>
51. Junior, P. C. G. D., da Silva, A. L., dos Santos, I. J., Soares, L. C., Carlis, M. S., Vicente, A. C. S., de Souza, T. T., de Assis, R. G., Biava, J. S., Quigley, S., Pires, A. V., & Ferreira, E. M. (2024). Orange (*Citrus sinensis*) essential oil inclusion in high-energy diets for feedlot lambs: productivity, eating behavior, carcass characteristics, rumen morphometry, and fatty acid profile of the meat. *Small Ruminant Research*, 238, 107326. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107326>. EDN: <https://elibrary.ru/MAMQMM>
52. Jurd, L., King Jr, A. D., & Mihara, K. (1971). Antimicrobial properties of umbelliferone derivatives. *Phytochemistry*, 10(12), 2965–2970. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)97333-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)97333-3)
53. Kamirova, A. M., Sizova, E. A., Shoshin, D. E., & Ivanishcheva, A. P. (2024). The combined effect of ultrafine particles of cobalt and manganese oxides and *Origanum vulgare* herb extract on ruminal digestion in vitro. *Veterinary World*, 17(1), 189. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.189-196>. EDN: <https://elibrary.ru/BRRPDQ>
54. Khan, R., Bhat, K. A., Raja, A. F., Shawl, A. S., & Alam, M. S. (2010). Isolation, characterisation and antibacterial activity studies of coumarins from *Rhododendron lepidotum* Wall. ex G. Don, Ericaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20, 886–890. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010005000037>

55. Kholif, A. E., & Olafadehan, O. A. (2021). Essential oils and phytogetic feed additives in ruminant diet: chemistry, ruminal microbiota and fermentation, feed utilization and productive performance. *Phytochemistry Reviews*, 20(6), 1087–1108. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09739-3>. EDN: <https://elibrary.ru/LAUXWK>
56. Kholif, A. E., Hassan, A. A., El Ashry, G. M., Bakr, M. H., El-Zaiat, H. M., Olafadehan, O. A., Matloup, O. H., & Sallam, S. M. A. (2021). Phytogetic feed additives mixture enhances the lactational performance, feed utilization and ruminal fermentation of Friesian cows. *Animal Biotechnology*, 32(6), 708–718. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1746322>. EDN: <https://elibrary.ru/GLABYE>
57. Khorrami, B., Vakili, A. R., Mesgaran, M. D., & Klevenhusen, F. (2015). Thyme and cinnamon essential oils: potential alternatives for monensin as a rumen modifier in beef production systems. *Animal Feed Science and Technology*, 200, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.009>
58. Kim, D., Kuppusamy, P., Jung, J. S., Kim, K. H., & Choi, K. C. (2021). Microbial dynamics and in vitro degradation of plant secondary metabolites in Hanwoo steer rumen fluids. *Animals*, 11(8), 2350. <https://doi.org/10.3390/ani11082350>. EDN: <https://elibrary.ru/FYKRSK>
59. Kim, Y. G., Lee, J. H., Kim, S. I., Baek, K. H., & Lee, J. (2015). Cinnamon bark oil and its components inhibit biofilm formation and toxin production. *International Journal of Food Microbiology*, 195, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.028>
60. Kornicka, A., Balewski, L., Lahutta, M., & Kokoszka, J. (2023). Umbelliferone and its synthetic derivatives as suitable molecules for the development of agents with biological activities: a review of their pharmacological and therapeutic potential. *Pharmaceuticals*, 16(12), 1732. <https://doi.org/10.3390/ph16121732>. EDN: <https://elibrary.ru/BNNUEL>
61. Kuralkar, P., & Kuralkar, S. V. (2021). Role of herbal products in animal production—an updated review. *Journal of Ethnopharmacology*, 278, 114246. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114246>. EDN: <https://elibrary.ru/CLECKE>
62. Kwon, J. A., Yu, C. B., & Park, H. D. (2003). Bacteriocidal effects and inhibition of cell separation of cinnamic aldehyde on *Bacillus cereus*. *Letters in Applied Microbiology*, 37(1), 61–65. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.2003.01350.x>. EDN: <https://elibrary.ru/ETLRKB>
63. Lamy, E., Van Harten, S., Sales-Baptista, E., Guerra, M. M. M., & De Almeida, A. M. (2012). Factors influencing livestock productivity. *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*, 19–51. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_2

64. Lee, H. S., & Ahn, Y. J. (1998). Growth-inhibiting effects of *Cinnamomum cassia* bark-derived materials on human intestinal bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(1), 8–12. <https://doi.org/10.1021/jf970548y>
65. Li, A. P., He, Y. H., Zhang, S. Y., & Shi, Y. P. (2022). Antibacterial activity and action mechanism of flavonoids against phytopathogenic bacteria. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188, 105221. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105221>. EDN: <https://elibrary.ru/OCRWEA>
66. Li, K., Xing, S., Wang, M., Peng, Y., Dong, Y., & Li, X. (2012). Anti-complement and antimicrobial activities of flavonoids from *Entada phaseoloides*. *Natural Product Communications*, 7(7), 1934578X1200700715. <https://doi.org/10.1177/1934578X1200700715>
67. Li, Y., He, M., Li, C., Forster, R., Beauchemin, K. A., & Yang, W. (2012). Effects of wheat dried distillers' grains with solubles and cinnamaldehyde on in vitro fermentation and protein degradation using the Rusitec technique. *Archives of Animal Nutrition*, 66(2), 131–148. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2012.656479>
68. Low, C. X., Tan, L. T. H., Ab Mutalib, N. S., Pusparajah, P., Goh, B. H., Chan, K. G., Letchumanan, V., & Lee, L. H. (2021). Unveiling the impact of antibiotics and alternative methods for animal husbandry: a review. *Antibiotics*, 10(5), 578. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050578>. EDN: <https://elibrary.ru/JFPAYG>
69. Mahgoub, O., Lu, C. D., & Early, R. J. (2000). Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small Ruminant Research*, 37(1–2), 35–42. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00132-7)
70. Maisch, N. A., Bereswill, S., & Heimesaat, M. M. (2022). Antibacterial effects of vanilla ingredients provide novel treatment options for infections with multidrug-resistant bacteria—a recent literature review. *European Journal of Microbiology and Immunology*. <https://doi.org/10.1556/1886.2022.00015>. EDN: <https://elibrary.ru/MNIIRM>
71. Malheiro, J. F., Maillard, J. Y., Borges, F., & Simões, M. (2019). Evaluation of cinnamaldehyde and cinnamic acid derivatives in microbial growth control. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 141, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.06.003>
72. Martini, N. D., Katerere, D. R. P., & Eloff, J. N. (2004). Biological activity of five antibacterial flavonoids from *Combretum erythrophyllum* (Combretaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 93(2–3), 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.02.030>
73. Matté, E. H. C., Luciano, F. B., & Evangelista, A. G. (2023). Essential oils and essential oil compounds in animal production as antimicrobials and anthelmint-

- ics: an updated review. *Animal Health Research Reviews*, 1–11. <https://doi.org/10.1017/S1466252322000093>. EDN: <https://elibrary.ru/QPODFU>
74. Mazimba, O. (2017). Umbelliferone: sources, chemistry and bioactivities review. *Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University*, 55(2), 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.bfopcu.2017.05.001>
75. McCarthy, U., Uysal, I., Badia-Melis, R., Mercier, S., O'Donnell, C., & Ktenioudaki, A. (2018). Global food security—issues, challenges and technological solutions. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.002>
76. Mi, W., Hu, Z., Xu, L., Bian, X., Lian, W., Yin, S., & Shi, T. (2022). Quercetin positively affects gene expression profiles and metabolic pathway of antibiotic-treated mouse gut microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 13, 983358. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.983358>. EDN: <https://elibrary.ru/PHEPZV>
77. Mirkena, T., Duguma, G., Haile, A., Tibbo, M., Okeyo, A. M., Wurzinger, M., & Sölkner, J. (2010). Genetics of adaptation in domestic farm animals: a review. *Livestock Science*, 132(1–3), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.05.003>. EDN: <https://elibrary.ru/MYCFZL>
78. Montone, A. M. I., Papaiani, M., Malvano, F., Capuano, F., Capparelli, R., & Albanese, D. (2021). Lactoferrin, quercetin, and hydroxyapatite act synergistically against *Pseudomonas fluorescens*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9247. <https://doi.org/10.3390/ijms22179247>. EDN: <https://elibrary.ru/UOZIXC>
79. Mueller-Harvey, I., Bee, G., Dohme-Meier, F., Hoste, H., Karonen, M., Kölliker, R., Lüscher, A., Niderkorn, V., Pellikaan, W. F., Salminen, J.-P., Sköt, L., Smith, L. M. J., Thamsborg, S. M., Totterdell, P., Wilkinson, I., Williams, A. R., Azuhwi, B. N., Baert, N., Brinkhaus, A. G., Copani, G., Desrues, O., Drake, C., Engström, M., Frygasas, C., Girard, M., Huyen, N. T., Kempf, K., Malisch, C., Mora-Ortiz, M., Quijada, J., Ramsay, A., Ropiak, H. M., & Waghorn, G. C. (2019). Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: importance of structure, concentration, and diet composition. *Crop Science*, 59(3), 861–885. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0369>
80. Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451–1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>
81. Ngarmsak, M., Delaquis, P., Toivonen, P., Ngarmsak, T., Ooraikul, B., & Mazza, G. (2006). Antimicrobial activity of vanillin against spoilage microorganisms in stored fresh-cut mangoes. *Journal of Food Protection*, 69(7), 1724–1727. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.7.1724>

82. Nguyen, T. L. A., & Bhattacharya, D. (2022). Antimicrobial activity of quercetin: an approach to its mechanistic principle. *Molecules*, 27(8), 2494. <https://doi.org/10.3390/molecules27082494>. EDN: <https://elibrary.ru/SXTTRO>
83. O'Bryan, C. A., Pendleton, S. J., Crandall, P. G., & Ricke, S. C. (2015). Potential of plant essential oils and their components in animal agriculture—in vitro studies on antibacterial mode of action. *Frontiers in Veterinary Science*, 2, 35. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00035>
84. Ogbuewu, I. P., & Mbajorgu, C. A. (2023). Black pepper (*Piper nigrum* L.) as a natural feed additive and source of beneficial nutrients and phytochemicals in chicken nutrition. *Open Agriculture*, 8(1), 20220204. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0204>. EDN: <https://elibrary.ru/JNVKWN>
85. Ojala, T., Remes, S., Haansuu, P., Vuorela, H., Hiltunen, R., Haahtela, K., & Vuorela, P. (2000). Antimicrobial activity of some coumarin containing herbal plants growing in Finland. *Journal of Ethnopharmacology*, 73(1–2), 299–305. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00279-8](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00279-8)
86. Orzuna-Orzuna, J. F., Godina-Rodríguez, J. E., Garay-Martínez, J. R., & Lara-Bueno, A. (2024). Capsaicin as a dietary additive for dairy cows: a meta-analysis on performance, milk composition, digestibility, rumen fermentation, and serum metabolites. *Animals*, 14(7), 1075. <https://doi.org/10.3390/ani14071075>. EDN: <https://elibrary.ru/WKAZLX>
87. Oskoueian, E., Abdullah, N., & Oskoueian, A. (2013). Effects of flavonoids on rumen fermentation activity, methane production, and microbial population. *BioMed Research International*, 2013(1), 349129. <https://doi.org/10.1155/2013/349129>
88. Osonga, F. J., Akgul, A., Miller, R. M., Eshun, G. B., Yazgan, I., Akgul, A., & Sadik, O. A. (2019). Antimicrobial activity of a new class of phosphorylated and modified flavonoids. *ACS Omega*, 4(7), 12865–12871. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00077>
89. Pandey, A. K., Kumar, P., & Saxena, M. J. (2019). Feed additives in animal health. In *Nutraceuticals in Veterinary Medicine* (pp. 345–362). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04624-8_23
90. Pashetsky, V., Ostapchuk, P., Kuevda, T., Zubochenko, D., Yemelianov, S., & Uppe, V. (2020). Use of phytobiotics in animal husbandry and poultry. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 215, p. 02002). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021502002>. EDN: <https://elibrary.ru/OEPPNJ>
91. Patra, A. K., & Yu, Z. (2014). Effects of vanillin, quillaja saponin, and essential oils on in vitro fermentation and protein-degrading microorganisms of the rumen. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 897–905. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4930-x>. EDN: <https://elibrary.ru/QCMAKQ>

92. Patra, A., & Lalhriatpuii, M. (2020). Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding—a review. *Biological Trace Element Research*, 197(1), 233–253. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01959-1>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQWXMM>
93. Peng, X. M., Lv Damu, G., & He Zhou, C. (2013). Current developments of coumarin compounds in medicinal chemistry. *Current Pharmaceutical Design*, 19(21), 3884–3930. <https://doi.org/10.2174/1381612811319210013>. EDN: <https://elibrary.ru/RHSOHL>
94. Ragkos, A., Koutouzidou, G., Koutsou, S., & Roustemis, D. (2019). A new development paradigm for local animal breeds and the role of information and communication technologies. In *Innovative Approaches and Applications for Sustainable Rural Development: 8th International Conference, HAIC-TA 2017, Chania, Crete, Greece, September 21–24, 2017, Selected Papers 8* (pp. 3–21). Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02312-6_1
95. Rao, P. V., & Gan, S. H. (2014). Cinnamon: a multifaceted medicinal plant. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014(1), 642942. <https://doi.org/10.1155/2014/642942>
96. Rege, J. E. O., Marshall, K., Notenbaert, A., Ojango, J. M., & Okeyo, A. M. (2011). Pro-poor animal improvement and breeding — what can science do? *Livestock Science*, 136(1), 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.09.003>
97. Saeed, M., Khan, M. S., Alagawany, M., Farag, M. R., Alqaisi, O., Aqib, A. I., Qumar, M., Siddique, F., & Ramadan, M. F. (2021). Clove (*Syzygium aromaticum*) and its phytochemicals in ruminant feed: an updated review. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 32, 273–285. <https://doi.org/10.1007/s12210-021-00985-3>. EDN: <https://elibrary.ru/PFXXUZ>
98. Salehi, B., Machin, L., Monzote, L., Sharifi-Rad, J., Ezzat, S. M., Salem, M. A., Merghany, R. M., El Mahdy, N. M., Kılıç, C. S., Sytar, O., Sharifi-Rad, M., Shariopov, F., Martins, N., Martorell, M., & Cho, W. C. (2020). Therapeutic potential of quercetin: new insights and perspectives for human health. *ACS Omega*, 5(20), 11849–11872. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01818>. EDN: <https://elibrary.ru/ZEWVME>
99. Salemedeb, R., Zu Ermgassen, E. K., Kim, M. H., Balmford, A., & Al-Tabbaa, A. (2017). Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. *Journal of Cleaner Production*, 140, 871–880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.049>
100. Shi, T., Bian, X., Yao, Z., Wang, Y., Gao, W., & Guo, C. (2020). Quercetin improves gut dysbiosis in antibiotic-treated mice. *Food & Function*, 11(9),

- 8003–8013. <https://doi.org/10.1039/D0FO01439G>. EDN: <https://elibrary.ru/PHCJPO>
101. Shim, S. B., Verstegen, M. W. A., Kim, I. H., Kwon, O. S., & Verdonk, J. M. A. J. (2005). Effects of feeding antibiotic-free creep feed supplemented with oligofructose, probiotics or synbiotics to suckling piglets increases the pre-weaning weight gain and composition of intestinal microbiota. *Archives of Animal Nutrition*, 59(6), 419–427. <https://doi.org/10.1080/17450390500353234>
 102. Shu, Y., Liu, Y., Li, L., Feng, J., Lou, B., Zhou, X., & Wu, H. (2011). Antibacterial activity of quercetin on oral infectious pathogens. *African Journal of Microbiology Research*, 5(30), 5358–5361. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.849>
 103. Silva, L. N., Zimmer, K. R., Macedo, A. J., & Trentin, D. S. (2016). Plant natural products targeting bacterial virulence factors. *Chemical Reviews*, 116(16), 9162–9236. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00184>
 104. Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., & Mehta, P. K. (2016). Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. *3 Biotech*, 6, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0485-8>. EDN: <https://elibrary.ru/YWALLB>
 105. Sinz, S., Kunz, C., Liesegang, A., Braun, U., Marquardt, S., Soliva, C. R., & Kreuzer, M. (2018). In vitro bioactivity of various pure flavonoids in ruminal fermentation, with special reference to methane formation. *Czech Journal of Animal Science*, 63, 293–304. <https://doi.org/10.17221/118/2017-CJAS>
 106. Somagond, A., Aderao, G. N., Girimal, D., & Singh, M. (2024). Animal feeding and watering technologies. In *Engineering Applications in Livestock Production* (pp. 37–62). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98385-3.00009-8>
 107. Tedeschi, L. O., Muir, J. P., Naumann, H. D., Norris, A. B., Ramírez-Restrepo, C. A., & Mertens-Talcott, S. U. (2021). Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 628445. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.628445>. EDN: <https://elibrary.ru/MGSHPL>
 108. Torres-León, C., Ramírez-Guzman, N., Londoño-Hernandez, L., Martínez-Medina, G. A., Díaz-Herrera, R., Navarro-Macias, V., Alvarez-Pérez, O. B., Picazo, B., Villarreal-Vazquez, M., Ascacio-Valdes, J., & Aguilar, C. N. (2018). Food waste and byproducts: an opportunity to minimize malnutrition and hunger in developing countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 52. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00052>. EDN: <https://elibrary.ru/WVPEWV>
 109. Upadhyay, A., Arsi, K., Wagle, B. R., Upadhyaya, I., Shrestha, S., Donoghue, A. M., & Donoghue, D. J. (2017). *Trans*-cinnamaldehyde, carvacrol, and eugenol reduce *Campylobacter jejuni* colonization factors and expression of viru-

- lence genes in vitro. *Frontiers in Microbiology*, 8, 713. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00713>
110. Uwineza, C., Bouzarjomehr, M., Parchami, M., Sar, T., Taherzadeh, M. J., & Mahboubi, A. (2023). Evaluation of in vitro digestibility of *Aspergillus oryzae* fungal biomass grown on organic residue derived-VFAs as a promising ruminant feed supplement. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 120. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00922-4>. EDN: <https://elibrary.ru/IDZXFG>
 111. van Vliet, S., Burd, N. A., & van Loon, L. J. (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. *The Journal of Nutrition*, 145(9), 1981–1991. <https://doi.org/10.3945/jn.114.204305>
 112. Varga-Visi, É., Nagy, G., Csivincsik, Á., & Tóth, T. (2023). Evaluation of a phytogenic feed supplement containing carvacrol and limonene on sheep performance and parasitological status on a Hungarian milking sheep farm. *Veterinary Sciences*, 10(6), 369. <https://doi.org/10.3390/vetsci10060369>. EDN: <https://elibrary.ru/ZARRTX>
 113. Vasconcelos, N. G., Croda, J., & Simionatto, S. (2018). Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: a review. *Microbial Pathogenesis*, 120, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.04.036>
 114. Wang, J., Dou, X., Song, J., Lyu, Y., Zhu, X., Xu, L., Li, W., & Shan, A. (2019). Antimicrobial peptides: promising alternatives in the post feeding antibiotic era. *Medicinal Research Reviews*, 39(3), 831–859. <https://doi.org/10.1002/med.21542>. EDN: <https://elibrary.ru/JNMVYQ>
 115. Wang, L., & Tan, H. (2022). Economic analysis of animal husbandry based on system dynamics. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 5641384. <https://doi.org/10.1155/2022/5641384>. EDN: <https://elibrary.ru/JCTFEM>
 116. Wang, S., Yao, J., Zhou, B., Yang, J., Chaudry, M. T., Wang, M., Xiao, F., Li, Y., & Yin, W. (2018). Bacteriostatic effect of quercetin as an antibiotic alternative in vivo and its antibacterial mechanism in vitro. *Journal of Food Protection*, 81(1), 68–78. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-214>
 117. Wang, S., Zeng, X., Yang, Q., & Qiao, S. (2016). Antimicrobial peptides as potential alternatives to antibiotics in food animal industry. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(5), 603. <https://doi.org/10.3390/ijms17050603>
 118. Wang, Z., You, W., Hu, X., Cheng, H., Song, E., Hu, Z., & Jiang, F. (2025). Effects of Capsicum oleoresin on the growth performance, nutrient digestibil-

- ity and meat quality of fattening beef cattle. *Ruminants*, 5(1), 5. <https://doi.org/10.3390/ruminants5010005>. EDN: <https://elibrary.ru/XKEYZZ>
119. Wells, C. W. (2024). Effects of essential oils on economically important characteristics of ruminant species: a comprehensive review. *Animal Nutrition*, 16, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.017>. EDN: <https://elibrary.ru/HOGBTF>
120. Wink, M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Medicines*, 2(3), 251–286. <https://doi.org/10.3390/medicines2030251>
121. Yang, L., Ding, W., Xu, Y., Wu, D., Li, S., Chen, J., & Guo, B. (2016). New insights into the antibacterial activity of hydroxycoumarins against *Ralstonia solanacearum*. *Molecules*, 21(4), 468. <https://doi.org/10.3390/molecules21040468>
122. Yang, X. N., Khan, I., & Kang, S. C. (2015). Chemical composition, mechanism of antibacterial action and antioxidant activity of leaf essential oil of *Forsythia koreana* deciduous shrub. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 8(9), 694–700. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2015.07.031>
123. Yang, Y. Y., Wang, Q. Y., Peng, D. W., Pan, Y. F., Gao, X. M., Xuan, Z. Y., Chen, Sh., Zou, C., Cao, Y., & Lin, B. (2021). Effects of cinnamaldehyde on growth performance, health status, rumen fermentation and microflora of dairy calves. *ISSN 0578-1752*, 2021(10), 18. <https://doi.org/10.3864/j>
124. Ye, H., Shen, S., Xu, J., Lin, S., Yuan, Y., & Jones, G. S. (2013). Synergistic interactions of cinnamaldehyde in combination with carvacrol against food-borne bacteria. *Food Control*, 34(2), 619–623. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.05.032>
125. Yin, J., Peng, X., Lin, J., Zhang, Y., Zhang, J., Gao, H., Tian, X., Zhang, R., & Zhao, G. (2021). Quercetin ameliorates *Aspergillus fumigatus* keratitis by inhibiting fungal growth, toll-like receptors and inflammatory cytokines. *International Immunopharmacology*, 93, 107435. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107435>. EDN: <https://elibrary.ru/JVMMQA>
126. Yu, J., Cai, L., Zhang, J., Yang, A., Wang, Y., Zhang, L., Guan, L. L., & Qi, D. (2020). Effects of thymol supplementation on goat rumen fermentation and rumen microbiota in vitro. *Microorganisms*, 8(8), 1160. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081160>. EDN: <https://elibrary.ru/TVIREA>
127. Zeng, Z., Zhang, S., Wang, H., & Piao, X. (2015). Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6, 1–10. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40104-015-0004-5>. EDN: <https://elibrary.ru/IPNKHS>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шошин Даниил Евгеньевич, аспирант, младший научный сотрудник отдела физиологии, биохимии и морфологии животных
ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
daniilshoshin@mail.ru

Атландерова Ксения Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Испытательного центра
ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
atlander-kn@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Daniil E. Shoshin, Postgraduate Student, Junior Researcher at the Department of Physiology, Biochemistry and Morphology of Animals
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
daniilshoshin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>
SPIN-code: 7444-9999

Ksenia N. Atlanderova, PhD of Biological Sciences, Researcher at the Testing Center
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
atlander-kn@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>
SPIN-code: 7444-9999

Поступила 02.03.2025

После рецензирования 11.04.2025

Принята 28.04.2025

Received 02.03.2025

Revised 11.04.2025

Accepted 28.04.2025