

УДК 636.085:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-102-4-186

### Микробиом рубца крупного рогатого скота при использовании в кормлении экстракта *Quercus cortex*

**К.Н. Атландерова, Г.К. Дускаев, А.М. Макаева, Д.М. Муслимова, К.С. Кондрашова**  
Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследований влияния экстракта *Quercus cortex* в различных концентрациях на переваримость сухого вещества корма методом «*in situ*» после 3 и 6 часов экспозиции в рубце. Анализ данных показал, что введение экстракта *Quercus cortex* (3,3 мг/мл) в рацион молодняка крупного рогатого скота увеличивает переваримость на 2,43 % ( $P \leq 0,05$ ) и на 6,33 % ( $P \leq 0,01$ ) соответственно через 3 и 6 часов относительно контроля.

Экстракт *Quercus cortex* оказывал значимое влияние на соотношение грамотрицательной и грамположительной микрофлоры рубца. В эксперименте выявлено преобладание в большей степени *Firmicutes* (на 1,7 % от контроля), это выражалось изменением доли в микробиоценозе представителей классов *Clostridia*, *Bacteroidia* и *Bacilli*.

В рамках таксонов *Firmicutes* и *Proteobacteria* отмечалось снижение числа бактерий классов *Clostridia* (на 8,8 % от контроля), *Negativicutes* (на 3,0 % от контрольной группы). Тогда как в рамках таксона *Bacteroidetes* наблюдалось увеличение численности бактерий класса *Bacilli* на 13,5 % от контроля, что в основном было не связано с увеличением представителей р. *Streptococcus* (на 14,4 % от общего числа).

В опытной группе выявлено 665 таксономических категорий, наиболее преобладающими являлись 8 из них, в том числе *Streptococcus bovis* – 14,5 %, *Prevotella ruminicola* – 3,1 %, *Butyrivibrio proteoclasticus* – 1,5 % от общего числа микроорганизмов.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, микробиом, экстракт *Quercus cortex*, вещества «anti-quogum», рубец.

UDC 636.085:577.17

### Cattle rumen microbiome after *Quercus cortex* extract

**Kseniya N Atlanderova, Galimzhan K Duskaev, Aina M Makaeva, Dina M Marselyevna, Kristina S Kondrashova**

Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

**Summary.** The paper presents the results of studies of the effect of *Quercus cortex* extract in various concentrations on the digestibility of feed dry matter by *in situ* method after 3 and 6 hours of exposure in rumen. Data analysis showed that the introduction of *Quercus cortex* extract (3.3 mg / ml) in the diet of young cattle increases digestibility by 2.43% ( $P \leq 0.05$ ) and 6.33% ( $P \leq 0.01$ ) after 3 and 6 hours, respectively, relative to the control.

*Quercus cortex* extract had a significant effect on the ratio of gram-negative and gram-positive rumen microflora. The experiment revealed a predominance of *Firmicutes* largely, 1.7% higher than the control, it was expressed with a change in the proportion of representatives of *Clostridia*, *Bacteroidia* and *Bacilli* classes in the microbiocenosis.

Within the taxa *Firmicutes* and *Proteobacteria*, a decrease in the number of bacteria of the classes *Clostridia* (by 8.8% of the control), *Negativicutes* (by 3.0% of the control group) was noted. Whereas, within the framework of the taxon *Bacteroidetes*, an increase in the number of bacteria of *Bacilli* class by 13.5% of the control was observed, which was mainly not associated with an increase in representatives of *Streptococcus* (14.4% of the total).

In the experimental group, 665 taxonomic categories were identified, 8 of them were the most predominant, including *Streptococcus bovis* - 14.5%, *Prevotella ruminicola* - 3.1%, *Butyrivibrio proteoclasticus* - 1.5% of the total number of microorganisms.

**Key words:** cattle, microbiome, *Quercus cortex* extract, anti-quorum substances, rumen.

### Введение.

В настоящее время осторожное использование антибиотиков и создание систем научного мониторинга в сфере животноводства являются лучшим способом ограничения неблагоприятных последствий злоупотребления ими и обеспечения безопасности продуктов питания животного происхождения (Дускаев Г.К. и др., 2017).

В последнее время переосмыслен подход к принципам функционирования ЖКТ сельскохозяйственных животных и птиц. Для нормального исправного функционирования пищеварительной системы животных необходима стабильная микрофлора (Багиров В.А. и др., 2018).

Поэтому многие исследования направлены на изучение влияния растительных экстрактов на уровень экспрессии РНК-маркеров пищеварения сельскохозяйственной птицы и животных, а также их совместного использования с синбиотиками (Duskaev GK et al., 2018).

Секвенирование генома микробов рубца является важным инструментом для улучшения наших знаний о процессах, лежащих в основе пищеварения. В настоящее время несколько проектов изучения рубцового бактериального и археального генома либо завершены, либо находятся в стадии реализации (Hall AB et al., 2017).

Недавние усилия по изучению микробиома рубца были направлены на выявление и количественную оценку микробных сообществ в рубце (Jami E et al., 2014; Tong J et al., 2018). В качестве мощного молекулярного подхода к таксономическому анализу применяют технологии секвенирования генов 16S рРНК, что позволяет по-новому взглянуть на экологию микробиома желудочно-кишечного тракта (Schären M et al., 2018). Этот метод широко используется для изучения микробного разнообразия и метаболических возможностей микробиомов в различных экологических нишах (Li F and Guan LL, 2017), ферментированных пищевых продуктов (Myer PR et al., 2015), очистных сооружений сточных вод (Shabat SKB et al., 2016) и желудочно-кишечного тракта человека и животных (Creevey CJ et al., 2014). Недавно учёные (Paz NA et al., 2016) сообщили о составе различных бактериальных сообществ у разных пород крупного рогатого скота. Кроме того, некоторые отдельные бактериальные сообщества рубца были в значительной степени связаны с параметрами ферментации, которые влияли на выработку молока коров (Golder HM et al., 2014).

Препараты растительного происхождения, применяемые для коррекции пищеварительного процесса, занимают до трети всего списочного состава, используемого при лечении заболеваний органов пищеварения. К числу последних относятся препараты, производимые из экстракта *Quercus cortex* (ЭҚс) (Deryabin DG and Tolmacheva AA, 2015).

Установлено, что комплекс растительных субстанций, присутствующих в экстракте коры дуба (*Quercus cortex*), проявил выраженную способность к подавлению чувства кворума у бактерий. Биологическая активность экстрактов лекарственных растений определяется совместным эффектом присутствующих в них малых молекул, оказывающих суммарное воздействие на систему «кворум сенсинг» патогенных микроорганизмов (Muhammed AA and He J, 2018).

Таким образом, понимание этого и накопленный научный потенциал представили нам возможность подробно изучить микробиом рубца при введении в рацион молодняка крупного рогатого скота экстракта *Quercus cortex*.

### Цель исследования.

Изучение влияния экстракта *Quercus cortex* на переваримость кормового субстрата и микробиом рубца крупного рогатого скота.

### Материалы и методы исследования

**Объект исследования.** Бычки красной степной породы в возрасте 13 месяцев; рубцовая жидкость.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996). При выполнении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества образцов.

**Схема эксперимента.** Исследования проводились на базе Центра коллективного пользования Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФНЦ БСТ РАН).

Физиологические исследования проводились на производственном участке Покровского сельскохозяйственного колледжа-филиала ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет».

В качестве вещества «anti-quorum» использовался экстракт *Quercus cortex*, представляющий собой порошок красновато-коричневого цвета с характерным запахом, растворимый в воде. Производитель – АО «Красногорсклексредства» (г. Красногорск, Россия).

Экстракт *Quercus cortex* был получен при смешивании точных навесок в соотношении 1:10 с дистиллированной водой, выдерживании на кипящей водяной бане 30 мин, с последующей фильтрацией и отжимом через фильтрующий компонент. Полученный экстракт центрифугировали при 2000 об./мин продолжительностью 15 минут.

Состав экстракта *Quercus cortex* был определён методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на колонке HP-5MS и включал 36 активных веществ: галловую и эллаговую кислоты, танин, кверцетин, пирогаллол, пропилизорцин, кумарин, скополетин, конифероловый спирт, ванилин, антиарол и т. д.

В период исследований животные были разделены на 4 группы (n=3). Контрольная (без введения), I опытная группа – ЭQc (2,6 мг/мл), II – ЭQc (3,3 мг/мл), III – ЭQc (4,2 мг/мл).

Для изучения свойств кормовой добавки методом «*in situ*» использовали 5,0 г высушенного и размолотого образца корма. Корм помещали в нейлоновые мешочки и погружали через фистулу в рубец бычков на 3 и 6 часов экспозиции. По истечении времени мешочки извлекали, промывали и высушивали с последующим определением переваримости сухого вещества корма в рубце по формуле:

$$X = \frac{A-B}{C} \times 100\% ,$$

где: X – коэффициент переваримости сухого вещества корма (%);

A – масса мешочка с кормом (г);

B – масса мешочка после переваривания и высушивания (г);

C – масса образца корма (г).

Отбор рубцовой жидкости проводился у бычков через хроническую фистулу рубца в количестве 200 мл через 3 часа после кормления. Пробы фильтровали через стерильную марлю, сложенную в четыре слоя, образцы содержимого рубца помещали в стерильные пробирки, убирали в ультранизкотемпературный лабораторный морозильник ARKТИКО при t -80 °C с последующим выделением очищенных препаратов ДНК с целью изучения метагеномного состава рубцового содержимого.

**Выделение ДНК простейших.** После разморозки брали 400 мкл суспензии, добавляли смесь стеклянных шариков d=0,1 и 0,5 мм в объёме, равном примерно 1/3 от объёма жидкости в пробирке. Смесь гомогенизировали по 3 мин на максимальной скорости. Далее суспензию инкубировали при +95 °C в течение 10 мин. Встряхивали на вортексе и центрифугировали 10 мин при 14500 об./мин. Супернатант переносили в новую пробирку. В то время как образцы центрифугируются, добавляли 200 мкл раствора Binding Matrix в чистые 2,0 мл конические пробирки. Переносили колонку SPIN Filter в чистую 1,9 мл Catch пробирку. Добавляли 50 мкл TES. Для ресуспендирования матрикса

смесь перемешивали. Образцы центрифугировали при 14000 об./мин в течение 2 мин, чтобы элюировать очищенную ДНК в чистую *Catch* пробирку. Метагеномный состав содержимого рубца определялся методом NGS секвенирования на приборе MiSeq.

**Оборудование и технические средства.** Газовый хроматограф с масс-селективным детектором GCMS 2010 Plus («Shimadzu», Япония), ультранизкотемпературный лабораторный морозильник ARKTIKO ULUF 65 («Arktiko», Дания), гомогенизатор Tissue Lyser («Qiagen», Германия), прибор для секвенирования MiSeq («Illumina», США), центрифуга MiniSpin («MerckKGaA», Германия), центрифуга медицинская ОПн-8 («Дастан», Россия), шкаф сушильный ШС-80-01-СПУ («Смоленское СКТБ СПУ», Россия).

**Статистическая обработка.** Результаты, полученные в исследованиях, были обработаны с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США), включая определение средней арифметической величины (M), стандартной ошибки средней (m). Статистическую оценку проводили с помощью t-критерия Стьюдента, при ненормальном распределении значений применяли непараметрический метод Манна-Уитни.

### Результаты исследований.

По результатам исследований *in situ* установлено, что переваримость сухого вещества кормовых добавок увеличивается при добавлении экстракта *Quercus cortex* (рис. 1).

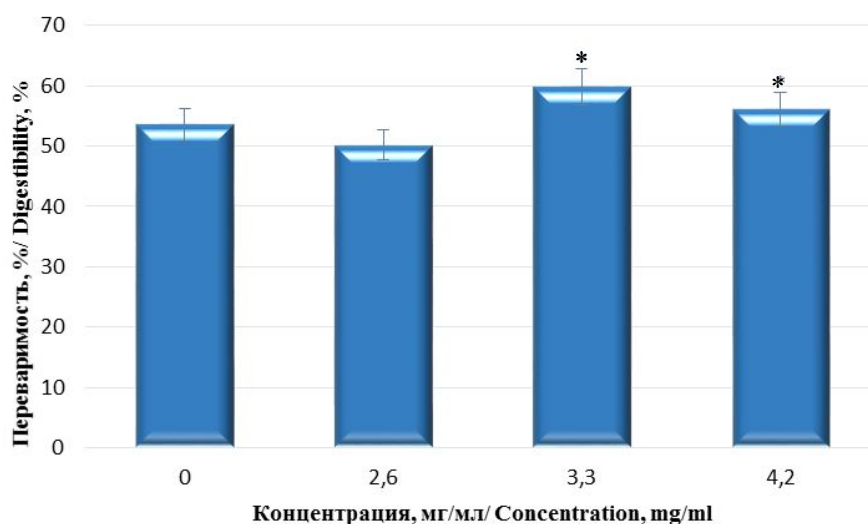


Рис. 1 – Переваримость сухого вещества корма *in situ* после 3 часов экспозиции в рубце, %. \* –  $P \leq 0,05$

Figure 1 – Digestibility of dry matter *in situ* after 3 hours of exposure in rumen, %. \* –  $P \leq 0.05$

По истечении 3-часовой экспозиции переваримость сухого вещества во всех опытных группах по отношению к контрольной возрастала. Так, при введении экстракта *Quercus cortex* (3,3 мг/мл) переваримость была больше на 2,43 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контроля соответственно. Применение экстракта *Quercus cortex* (4,2 мг/мл) было менее эффективно и увеличивало переваримость на 1,3 % ( $P \leq 0,05$ ).

Переваримость после 6 часов подтверждает полученный эффект введения препаратов (рис. 2).

Наибольшая переваримость наблюдается при применении экстракта *Quercus cortex* (3,3 мг/мл), что достоверно на 6,33 % ( $P \leq 0,01$ ) выше контроля. Применение экстракта *Quercus cortex* (4,2 мг/мл) способствует увеличению переваримости сухого вещества корма на 2,53 % ( $P \leq 0,05$ ).

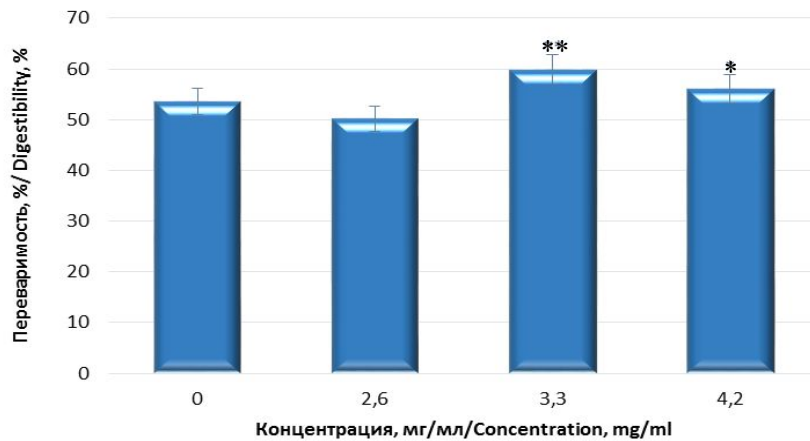


Рис. 2 – Переваримость сухого вещества корма *in situ* после 6 часов экспозиции в рубце, %. \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$

Figure 2 – Digestibility of dry matter *in situ* after 6 hours of exposure in rumen, %. \* -  $P \leq 0.05$ ; \*\* -  $P \leq 0.01$

Для лучшего понимания действия экстракта *Quercus cortex* на микробиом рубца крупного рогатого скота нами был проведён метагеномный анализ рубцовой жидкости через 3 часа после кормления, с дозировкой, показавшей наилучший результат по переваримости (3,3 мг/мл).

Микроорганизмы рубца играют важную роль в обеспечении энергетических потребностей животных путём преобразования органических соединений в корме для производства полезной энергии.

Анализ полученных в эксперименте данных показал, что преобладающим таксоном в рубце подопытных животных является *Bacteria* – 99,9 % от общего числа классифицированных микроорганизмов (рис. 3).

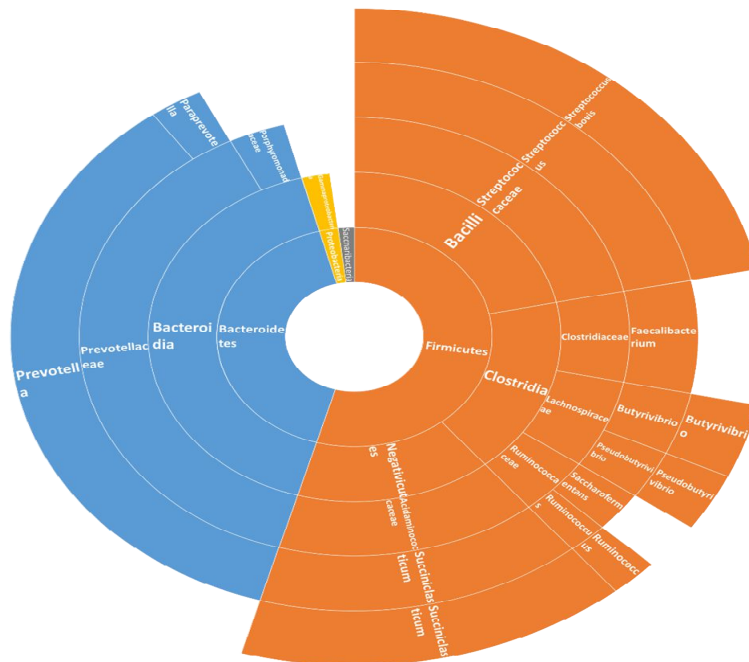


Рис. 3 – Метагеномный анализ рубцовой жидкости подопытных животных в контрольной группе

Figure 3 – Metagenomic analysis of ruminal fluid in experimental animals in the control group

Наиболее встречаемые в пробах филумы: *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria* – соответственно 42,0, 41,0 и 5,0 % от общего числа бактерий, содержащихся в рубцовой жидкости.

Таксономический состав рубцовой жидкости контрольной группы был представлен 8 классами, из них преобладали *Bacteroidia* – 35,05 %; *Clostridia* – 27,0; *Bacilli* – 13,7; *Sphingobacteriia* – 5,0 %, остальные в совокупности составляли 4,0 % от общего числа бактерий.

Доминирующим семейством класса *Bacteroidia* являлось *Prevotellaceae* – 19,0 % от общего числа, также *Streptococcaceae* – 11,0 % и *Lachnospiraceae* – 10,0 %, принадлежащие классам *Bacilli* и *Clostridia*.

Таксономический состав был представлен бактериями, относящимися к таким родам, как *Prevotella* (22,6 % от контроля), *Streptococcus* (11,6 % от контроля), *Butyrivibrio* (2,3 % от контроля), *Pedobacter* (4,0 % от контроля). Не классифицированные бактерии составляли 17,0 % от общего числа микроорганизмов.

Видовое разнообразие в содержимом рубца контрольной группы было представлено *Streptococcus bovis* – 8,0 %, *Prevotella ruminicola* – 3,0 %, *Butyrivibrio proteoclasticus* – 2,0 % из 694 бактериальной разновидности в пробе.

При метагеномном анализе рубцовой жидкости животных, получавших экстракт *Quercus cortex* (3,3 мг/мл), идентифицировано 24 филума, из них 8 классифицированы (рис. 4).

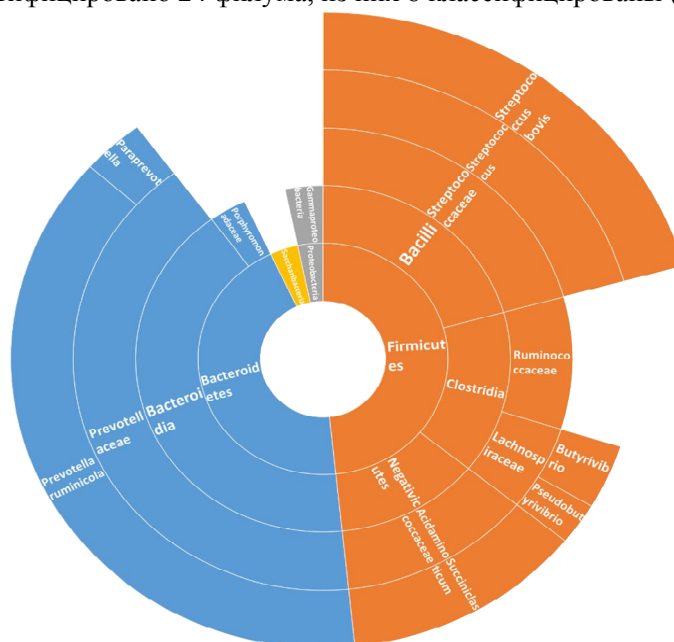


Рис. 4 – Метагеномный анализ рубцовой жидкости подопытных животных, получавших экстракт *Quercus cortex*

Figure 4 – Metagenomic analysis of cecotrial fluid in experimental animals treated with *Quercus cortex* extract

Использование экстракта *Quercus cortex* в кормлении молодняка крупного рогатого скота сопровождалось снижением числа бактерий в рубце, относящихся к филуму *Bacteroidetes*, на 1,6 % от контроля, и увеличением численности филума *Firmicutes* на 1,7 % от контроля, что выразалось в изменении доли в микробиоценозе представителей классов *Clostridia*, *Bacteroidia* и *Bacilli*.

В рамках таксонов *Firmicutes* и *Proteobacteria* отмечалось снижение числа бактерий классов *Clostridia* (на 8,8 % от контроля), *Negativicutes* (на 3,0 % от контрольной группы). Тогда как в рамках таксона *Bacteroidetes* наблюдалось увеличение численности бактерий класса *Bacilli* на 13,5 % от контроля, что в основном было не связано с увеличением представителей р. *Streptococcus* (на 14,4 % от общего числа).

В опытной группе выявлено 665 таксономических категорий, наиболее преобладающими являлись 8 из них, в том числе *Streptococcus bovis* – 14,5 %, *Prevotella ruminicola* – 3,1 %, *Butyrivibrio proteoclasticus* – 1,5 % от общего числа микроорганизмов.

Введение в рацион экстракта *Quercus cortex* способствовало уменьшению условно-патогенных микроорганизмов, а именно представителей рода *Enterobacter* – на 1,1 %, *Melissococcus* – на 19,0 %, *Serratia* – на 57,2 % относительно контроля.

#### Обсуждение полученных результатов.

Одной из главных проблем современного животноводства является невозможность широкого использования антибиотиков. Это связано с беспрецедентным развитием антибиотикорезистентности патогенной микрофлоры и прямой угрозой всему человечеству. Значимость проблемы для животноводства определяется огромными масштабами потребления антибиотиков, до 50 % от мирового производства (Gupta PD and Birdi TJ, 2017).

Вместе с тем полный запрет антибиотиков в животноводстве приведёт к всплеску заболеваемости различными инфекциями (Gadde U et al., 2017). Альтернативой антибиотиков, возможно, станут средства, произведённые из растительного сырья (Kim JE et al., 2015). По различным оценкам растительные экстракты используются почти 80 % населения мира, главным образом в развивающихся странах, для оказания первичной медико-санитарной помощи (Valenzuela-Grijalva NV et al., 2017). Растительные экстракты, также известные как фитобиотики, используются в кормлении животных, в частности в качестве противомикробных, противовоспалительных, антиоксидантных и противопаразитарных агентов (Mihaylova D et al., 2018).

Одним из активных начал лекарственных растений, реализуемых при подавлении условно-патогенной микрофлоры, являются ингибиторы системы чувствительности кворума (QS) у бактерий (Tolmacheva AA et al., 2014).

Как следует из полученных нами результатов, экстракт *Quercus cortex* оказывает непосредственное воздействие на переваримость сухого вещества *in situ* от 2,40 % ( $P \leq 0,05$ ) до 6,50 % ( $P \leq 0,01$ ) относительно контроля соответственно. Возможно, что отчасти эти эффекты связаны с присутствием в коре дуба кверцетинов, способных влиять на переваримость питательных веществ в рубце крупного рогатого скота (Anantasook N et al., 2015).

Наибольшее значение переваримости кормового субстрата мы наблюдали при использовании ЭОС при дозировке 3,3 мг/мл. При увеличении дозировок ЭОС переваримость уменьшалась. На наш взгляд, этот эффект связан с тем, что количество дубильных веществ, содержащихся в коре дуба, воздействует на микробиом рубца частично денатурацией белка, тем самым происходит уменьшение процентного соотношения переваримости (Atlanderova K et al., 2019).

Жвачные животные зависят от сообщества микробов рубца, чтобы превращать грубые корма в летучие жирные кислоты и микробный белок (Franzolin R and Wright ADG, 2016). Известно, что природа корма и физико-химические изменения, вызванные его ферментацией, способствуют развитию определённых микробных экотипов в твёрдой и жидкой фазах рубца (Kim YH et al., 2016).

Появление технологий секвенирования следующего поколения, таких как секвенирование генов 16S рНК, позволило охарактеризовать структуру кишечного микробиома CRC в доступном и не требующем культивирования подходе, а также к более широкому использованию метагеномного анализа для изучения сложных кишечных экосистем, таких как рубец (Lima J et al., 2019).

Внесение в рацион животных ЭОС сдвигало устоявшееся равновесие микроорганизмов в сторону тех, которые отвечают за лучшую перевариваемость корма, в частности, повышение численности *Proteobacteria* и *Firmicutes*, а также способствовало уменьшению условно-патогенных микроорганизмов, а именно представителей рода *Enterobacter* – на 1,1 %, *Melissococcus* – на 19,0 %, *Serratia* – на 57,2 % относительно контроля.

Значимым в группах был вид *Streptococcus bovis*, при повышении которого происходило увеличение переваримости сухого вещества корма.

Ранее показано, что кормление поросят растительным экстрактом из древесины, содержащим танин, может привести к улучшению переваримости корма и снижению протеолитических микробиальных реакций кишечника (Peng M et al., 2019).

#### Выводы.

Введение экстракта *Quercus cortex* в корм сопровождается увеличением переваримости сухого вещества *in situ*, наиболее значительно в дозировке 3,3 мг/мл.

Препарат экстракта *Quercus cortex* оказывал значимое влияние на соотношение грамотрицательной и грамположительной микрофлоры рубца. В эксперименте выявлено преобладание в большей степени *Bacteroidetes* (на 1,6 % от контроля) и увеличение численности филума *Firmicutes* (на 1,7 % от контроля), что выражалось в изменении доли в микробиоценозе представителей классов *Clostridia*, *Bacteroidia* и *Bacilli*. Значимым в группах был вид *Streptococcus bovis*, при повышении которого происходило увеличение переваримости сухого вещества корма.

Полученные результаты указывают на перспективность метода 16S Metagenomics для изучения микробиома рубца, тема требует дальнейших исследований, чтобы максимально увеличить потенциал коррекции рубцового пищеварения.

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2019-0002)**

#### Литература

1. Включение экстракта *Quercus cortex* в рацион бройлеров изменяет их убойные показатели и биохимический состав мышечной ткани / В.А. Багиров, Г.К. Дускаев, Н.М. Казачкова, Ш.Г. Рахматуллин, Е.В. Яушева, Д.Б. Косян, Ш.А. Макаев, Х.Б. Дусаева // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 799-810. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng [Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of *Quercus cortex* extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2018;53(4):799-810. (In Russ)]. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng
2. Оценка воздействия на кишечную микрофлору птицы веществ, обладающих антибиотическим, пробиотическим и анти-quorum sensing эффектами / Г.К. Дускаев, Е.А. Дроздова, Е.С. Алешина, А.С. Безрядина // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 11(211). С. 84-87. [Duskaev GK, Drozdova EA, Alyoshina ES, Bezryadina AS. Estimation of impact on the intestinal microflora of birds of substances with antibiotic, probiotic and anti-quorum sensing effects. Vestnik of the Orenburg State University. 2017;11(211):84-87. (In Russ)].
3. Anantasook N, Wanapat M, Cherdthong A, Gunun P. Effect of tannins and saponins in *Samaena saman* on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2015;99(2):335-344. doi: <https://doi.org/10.1111/jpn.12198>
4. Atlanderova K, Makaeva A, Miroshnikov S, Ivanishcheva A. Changes in rumen microbiota of cattle with the simultaneous introduction of iron and copper nanoparticles and quorum sensing suppressants. FEBS Open Bio 9. 2019;Suppl.1:415-416. doi: <https://doi.org/10.1002/2211-5463.12675>
5. Creevey CJ, Kelly WJ, Henderson G, Leahy SC. Determining the culturability of the rumen bacterial microbiome. Microbial Biotechnology. 2014;7(5):467-479. doi: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12141>
6. Deryabin DG, Tolmacheva AA. Antibacterial and anti-quorum sensing molecular composition derived from *Quercus cortex* (Oak bark) Extract. Molecules. 2015;20(9):17093-17108. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules200917093>
7. Duskaev GK, Kazachkova NM, Ushakov AS, Nurzhanov BS, Rysaev AF. The effect of purified *Quercus cortex* extract on biochemical parameters of organism and productivity of healthy broiler chickens. Vet World. 2018;11(2):235-239. doi: 10.14202/vetworld.2018.235-239



8. Franzolin R, Wright ADG. Microorganisms in the rumen and reticulum of buffalo (*Bubalus bubalis*) fed two different feeding systems. *BMC research notes*. 2016;9:243. doi: 10.1186/s13104-016-2046-y
9. Gadde U, Kim WH, Oh ST, Lillehoj HS. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review. *Anim Health Res Rev*. 2017;18(1):26-45. doi: <https://doi.org/10.1017/S1466252316000207>
10. Golder HM, Denman SE, McSweeney C, Wales WJ, Auldish MJ, Wright MM, Marett LC, Greenwood JS, Hannah MC, Celi P, Bramley E, Lean IJ. Effects of partial mixed rations and supplement amounts on milk production and composition, ruminal fermentation, bacterial communities, and ruminal acidosis. *J Dairy Sci*. 2014;97(9):5763-5785. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8049>
11. Gupta PD, Birdi TJ. Development of botanicals to combat antibiotic resistance *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*. 2017;8(4):266-275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.05.004>
12. Hall AB, Tolonen AC, Xavier RJ. Human genetic variation and the gut microbiome in disease. *Nat Rev Genet*. 2017;18(11):690-699. doi: <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.63>
13. Jami E, White BA, Mizrahi I. Potential role of the bovine rumen microbiome in modulating milk composition and feed efficiency. *Plos One*. 2014;9(1):e85423. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085423>
14. Kim JE, Lillehoj HS, Hong YH, Kim GB, Lee SH, Lillehoj EP, Bravo DM. Dietary Capsicum and Curcuma longa oleoresins increase intestinal microbiome and necrotic enteritis in three commercial broiler breeds. *Res Vet Sci*. 2015;102:150-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2015.07.022>
15. Kim YH., Nagata R, Ohtani N, Ichijo T, Ikuta K, Sato S. Effects of dietary forage and calf starter diet on ruminal pH and bacteria in Holstein calves during weaning transition. *Front. Microbiol*. 2016;7:1575. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01575>
16. Li F, Guan LL. Metatranscriptomic profiling reveals linkages between the active rumen microbiome and feed efficiency in beef cattle. *Appl Environ Microbiol*. 2017;83(9):e00061-17. doi: 10.1128/AEM.00061-17
17. Lima J, Auffret MD, Stewart RD, Dewhurst RJ, Duthie CA, Snelling TJ, Walker AW, Freeman TC, Watson M, Roehe R. Identification of rumen microbial genes involved in pathways linked to appetite, growth, and feed conversion efficiency in cattle. *Front Genet*. 2019;10:701. doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00701>
18. Mihaylova D, Vrancheva R, Petkova N, Ognyanov M, Desseva I, Ivanov I, Popova M, Popova A. Carotenoids, tocopherols, organic acids, carbohydrate and mineral content in different medicinal plant extracts. *Zeitschrift für Naturforschung C A Journal of Biosciences*. 2018;73(11-12):439-448. doi: <https://doi.org/10.1515/znc-2018-0057>
19. Muhammed AA, He J. Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: a review. *Animal Nutrition*. 2018;4(3):241-249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.010>
20. Myer PR, Smith TPL, Wells JE, Kuehn LA, Freetly HC. Rumen microbiome from steers differing in feed efficiency. *PLoS One*. 2015; 10(6):e0129174. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129174>
21. Paz HA, Anderson CL, Muller MJ, Kononoff PJ, Fernando SC. Rumen bacterial community composition in Holstein and Jersey cows is different under same dietary condition and is not affected by sampling method. *Front Microbiol*. 2016;7:1206. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01206>
22. Peng M, Wang Z, Peng S, Zhang M, Duan Y, Li F, Shi S, Yang Q, Zhang C. Dietary supplementation with the extract from *Eucommia ulmoides* leaves changed epithelial restitution and gut microbial community and composition of weanling piglets. *PLoS One*. 2019;14(9):e0223002. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223002>
23. Schären M, Frahm J, Kersten S, Meyer U, Hummel J, Breves G, Dänicke S. Interrelations between the rumen microbiota and production, behavioral, rumen fermentation, metabolic, and immunological attributes of dairy cows. *J Dairy Sci*. 2018;101(5):4615-4637. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13736>

24. Shabat SKB, Sasson G, Doron-Faigenboim A, Durman T, Yaacoby S, Berg Miller ME, White BA, Shterzer N, Mizrahi I. Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants. *ISME J.* 2016;10(12):2958-2972. doi: <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.62>

25. Tolmacheva AA, Rogozhin EA, Deryabin DG. Antibacterial and quorum sensing regulatory activities of some traditional Eastern-European medicinal plants. *Acta Pharmaceutica.* 2014;64(2):173-186. doi: <https://doi.org/10.2478/acph-2014-0019>

26. Tong J, Zhang H, Yang D, Zhang Y, Xiong B, Jiang L. Illumina sequencing analysis of the ruminal microbiota in high-yield and low-yield lactating dairy cows. *PLoS ONE.* 2018;13(11):e0198225. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198225>

27. Valenzuela-Grijalva NV, Pinelli-Saavedra A, Muhlia-Almazan A, Domínguez-Díaz D, González-Ríos H. Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *Journal of animal science and technology.* 2017;59:8. doi: 10.1186/s40781-017-0133-9

#### References

1. Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of *Quercus cortex* extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology].* 2018;53(4):799-810. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng

2. Duskaev GK, Drozdova EA, Alyoshina ES, Bezryadina AS. Estimation of impact on the intestinal microflora of birds of substances with antibiotic, probiotic and anti-quorum sensing effects. *Vestnik Orenburg State University.* 2017;11(211):84-87.

3. Anantasook N, Wanapat M, Cherdthong A, Gunun P. Effect of tannins and saponins in *Samaena saman* on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 2015; 99(2):335-344. doi: <https://doi.org/10.1111/jpn.12198>

4. Atlanderova K, Makaeva A, Miroshnikov S, Ivanishcheva A. Changes in rumen microbiota of cattle with the simultaneous introduction of iron and copper nanoparticles and quorum sensing suppressants. *FEBS Open Bio* 9. 2019;Suppl.1: 415-416. doi: <https://doi.org/10.1002/2211-5463.12675>

5. Creevey CJ, Kelly WJ, Henderson G, Leahy SC. Determining the culturability of the rumen bacterial microbiome. *Microbial Biotechnology.* 2014;7(5):467-479. doi: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12141>

6. Deryabin DG, Tolmacheva AA. Antibacterial and anti-quorum sensing molecular composition derived from *Quercus cortex* (Oak bark) Extract. *Molecules.* 2015;20(9):17093-17108. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules200917093>

7. Duskaev GK, Kazachkova NM, Ushakov AS, Nurzhanov BS, Rysaev AF. The effect of purified *Quercus cortex* extract on biochemical parameters of organism and productivity of healthy broiler chickens. *Vet World.* 2018;11(2):235-239. doi: 10.14202/vetworld.2018.235-239

8. Franzolin R, Wright ADG. Microorganisms in the rumen and reticulum of buffalo (*Bubalus bubalis*) fed two different feeding systems. *BMC research notes.* 2016;9:243. doi: 10.1186/s13104-016-2046-y

9. Gadde U, Kim WH, Oh ST, Lillehoj HS. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review. *Anim Health Res Rev.* 2017;18(1):26-45. doi: <https://doi.org/10.1017/S1466252316000207>

10. Golder HM, Denman SE, McSweeney C, Wales WJ, Auldism MJ, Wright MM, Maret LC, Greenwood JS, Hannah MC, Celi P, Bramley E, Lean IJ. Effects of partial mixed rations and supplement amounts on milk production and composition, ruminal fermentation, bacterial communities, and ruminal acidosis. *J Dairy Sci.* 2014;97(9):5763-5785. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8049>

11. Gupta PD, Birdi TJ. Development of botanicals to combat antibiotic resistance *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine.* 2017;8(4):266-275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.05.004>

12. Hall AB, Tolonen AC, Xavier RJ. Human genetic variation and the gut microbiome in disease. *Nat Rev Genet.* 2017;18(11):690-699. doi: <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.63>

13. Jami E, White BA, Mizrahi I. Potential role of the bovine rumen microbiome in modulating milk composition and feed efficiency. *Plos One*. 2014;9(1):e85423. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085423>
14. Kim JE, Lillehoj HS, Hong YH, Kim GB, Lee SH, Lillehoj EP, Bravo DM. Dietary Capsicum and Curcuma longa oleoresins increase intestinal microbiome and necrotic enteritis in three commercial broiler breeds. *Res Vet Sci*. 2015;102:150-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2015.07.022>
15. Kim YH., Nagata R, Ohtani N, Ichijo T, Ikuta K, Sato S. Effects of dietary forage and calf starter diet on ruminal pH and bacteria in Holstein calves during weaning transition. *Front. Microbiol*. 2016;7:1575. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01575>
16. Li F, Guan LL. Metatranscriptomic profiling reveals linkages between the active rumen microbiome and feed efficiency in beef cattle. *Appl Environ Microbiol*. 2017;83(9): e00061-17. doi: [10.1128/AEM.00061-17](https://doi.org/10.1128/AEM.00061-17)
17. Lima J, Auffret MD, Stewart RD, Dewhurst RJ, Duthie CA, Snelling TJ, Walker AW, Freeman TC, Watson M, Roehe R. Identification of rumen microbial genes involved in pathways linked to appetite, growth, and feed conversion efficiency in cattle. *Front Genet*. 2019;10:701. doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00701>
18. Mihaylova D, Vrancheva R, Petkova N, Ognyanov M, Desseva I, Ivanov I, Popova M, Popova A. Carotenoids, tocopherols, organic acids, carbohydrate and mineral content in different medicinal plant extracts. *Zeitschrift für Naturforschung C A Journal of Biosciences*. 2018;73(11-12):439-448. doi: <https://doi.org/10.1515/znc-2018-0057>
19. Muhammed AA, He J. Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: a review. *Animal Nutrition*. 2018;4(3):241-249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.010>
20. Myer PR, Smith TPL, Wells JE, Kuehn LA, Freetly HC. Rumen microbiome from steers differing in feed efficiency. *PLoS One*. 2015; 10(6):e0129174. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129174>
21. Paz HA, Anderson CL, Muller MJ, Kononoff PJ, Fernando SC. Rumen bacterial community composition in Holstein and Jersey cows is different under same dietary condition and is not affected by sampling method. *Front Microbiol*. 2016;7:1206. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01206>
22. Peng M, Wang Z, Peng S, Zhang M, Duan Y, Li F, Shi S, Yang Q, Zhang C. Dietary supplementation with the extract from *Eucommia ulmoides* leaves changed epithelial restitution and gut microbial community and composition of weanling piglets. *PLoS One*. 2019;14(9):e0223002. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223002>
23. Schären M, Frahm J, Kersten S, Meyer U, Hummel J, Breves G, Dänicke S. Interrelations between the rumen microbiota and production, behavioral, rumen fermentation, metabolic, and immunological attributes of dairy cows. *J Dairy Sci*. 2018;101(5):4615-4637. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13736>
24. Shabat SKB, Sasson G, Doron-Faigenboim A, Durman T, Yaacoby S, Berg Miller ME, White BA, Shterzer N, Mizrahi I. Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants. *ISME J*. 2016;10(12):2958-2972. doi: <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.62>
25. Tolmacheva AA, Rogozhin EA, Deryabin DG. Antibacterial and quorum sensing regulatory activities of some traditional Eastern-European medicinal plants. *Acta Pharmaceutica*. 2014;64(2):173-186. doi: <https://doi.org/10.2478/acph-2014-0019>
26. Tong J, Zhang H, Yang D, Zhang Y, Xiong B, Jiang L. Illumina sequencing analysis of the ruminal microbiota in high-yield and low-yield lactating dairy cows. *PLoS ONE*. 2018;13(11):e0198225. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198225>
27. Valenzuela-Grijalva NV, Pinelli-Saavedra A, Muhlia-Almazan A, Domínguez-Díaz D, González-Ríos H. Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *Journal of animal science and technology*. 2017;59:8. doi: [10.1186/s40781-017-0133-9](https://doi.org/10.1186/s40781-017-0133-9)

**Атландерова Ксения Николаевна**, младший научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, e-mail: atlander-[kn@mail.ru](mailto:kn@mail.ru)

**Дускаев Галимжан Калиханович**, доктор биологических наук, заместитель директора по науке, заведующий отделом 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)43-46-79, e-mail: [gduskaev@mail.ru](mailto:gduaev@mail.ru)

**Макаева Айна Маратовна**, младший научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-919-842-46-99, e-mail: [ayna.makaeva@mail.ru](mailto:ayna.makaeva@mail.ru)

**Муслюмова Дина Марсельевна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)77-39-97, e-mail: [icvniims.or@mail.ru](mailto:icvniims.or@mail.ru)

**Кондрашова Кристина Сергеевна**, младший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

Поступила в редакцию 29 ноября 2019 г.; принята после решения редколлегии 16 декабря 2019 г.; опубликована 31 декабря 2019 г. / Received: 29 November 2019; Accepted: 16 December 2019; Published: 31 December 2019