

Е.В. Шейда<sup>1, 2</sup> ✉Г.К. Дускаев<sup>1</sup>С.А. Мирошников<sup>1</sup>М.С. Аринжанова<sup>1</sup>Д.А. Проскурин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>2</sup> Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

✉ elena-shejjda@mail.ru

Поступила в редакцию:  
28.03.2024

Одобрена после рецензирования:  
12.07.2024

Принята к публикации:  
28.07.2024

## Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-82-87

Elena V. Sheida<sup>1, 2</sup> ✉Galimzhan K. Duskaev<sup>1</sup>Sergey A. Miroshnikov<sup>1</sup>Maria S. Arinzhanova<sup>1</sup>Dmitry A. Proskurin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>2</sup> Federal State Educational Institution of Higher Education Orenburg State University, Orenburg, Russia

✉ elena-shejjda@mail.ru

Received by the editorial office:  
28.03.2024

Accepted in revised:  
12.07.2024

Accepted for publication:  
28.07.2024

# Изменение метаболических параметров рубцового содержимого в результате преобразования отходов маслоэкстракционных производств в системе непрерывной ферментации

## РЕЗЮМЕ

**Аннотация.** В данной работе авторы провели оценку метаболических параметров рубцового содержимого в результате преобразования растительного субстрата (льняной жмых) в конструкции биореактора (ферментере непрерывного действия).

**Методы.** Исследование проводили методом *in vitro* по специализированной методике с использованием биореактора, продолжительность ферментации в котором составляла 20 суток непрерывной ферментации без дополнительного добавления субстрата. Рубцовое содержимое было получено от бычков казахской белоголовой породы возрастом 15 месяцев с хронической фистулой рубца. Уровень летучих жирных кислот в содержимом рубца определялся методом газовой хроматографии. Определение химического состава испытуемого субстрата осуществлялось по общепринятым методикам.

**Результаты.** Непрерывная ферментация льняного жмыха в биореакторе в течение 14 суток показала способность данного субстрата поддерживать активность рубцовой микрофлоры для разложения питательных компонентов. В результате расщепления льняного жмыха отмечено сохранение достаточно высокого уровня летучих жирных кислот и метаболитов азота в инокуляте рубца, а также увеличение переваримости СВ, СЖ, СП в данном кормовом средстве. Результаты исследования показывают, что льняной жмых может быть использован для синтеза микробного белка и в качестве источника белка и жира при добавлении в рацион жвачных животных с использованием системы непрерывного культивирования.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, искусственный рубец, биореактор, льняной жмых, метаболиты, биомасса рубца

**Для цитирования:** Шейда Е.В., Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Аринжанова М.С., Проскурин Д.А. Изменение метаболических параметров рубцового содержимого в результате преобразования отходов маслоэкстракционных производств в системе непрерывной ферментации. *Аграрная наука*. 2024; 385(8): 82–87.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-82-87>

© Шейда Е.В., Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Аринжанова М.С., Проскурин Д.А.

# Changes in the metabolic parameters of rumen changes as a result of converting oil extraction waste into a continuous fermentation system

## ABSTRACT

**Annotation.** In this paper, the authors evaluated the metabolic parameters of the scar content as a result of the transformation of a vegetable substrate (linseed cake) in the design of a bioreactor (continuous fermenter).

**Methods.** The study was carried out *in vitro* using a specialized technique using a bioreactor, the duration of fermentation in which was 20 days of continuous fermentation without additional addition of a substrate. The scar content was obtained from Kazakh white-headed bull calves aged 15 months with chronic scar fistula. The level of volatile fatty acids in the contents of the rumen was determined by gas chromatography. The chemical composition of the test substrate was determined according to generally accepted methods.

**Results.** Continuous fermentation of linseed cake in a bioreactor for 14 days showed the ability of this substrate to maintain the activity of the scar microbiota for the decomposition of nutritional components. As a result of the splitting of flaxseed cake, the preservation of a sufficiently high level of volatile fatty acids and nitrogen metabolites in the rumen inoculum was noted, as well as an increase in the digestibility of DM, CF, CP in this feed medium, was noted. The results of this study show that flaxseed cake can be used for the synthesis of microbial protein and as a source of protein and fat when added to the diet of ruminants using a continuous cultivation system.

**Key words:** cattle, artificial rumen, bioreactor, flaxseed cake, metabolites, rumen biomass

**For citation:** Sheida E.V., Duskaev G.K., Miroshnikov S.A., Arinzhanova M.S., Proskurin D.A. Changes in the metabolic parameters of rumen changes as a result of converting oil extraction waste into a continuous fermentation system. *Agrarian science*. 2024; 385(8): 82–87 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-82-87>

© Sheida E.V., Duskaev G.K., Miroshnikov S.A., Arinzhanova M.S., Proskurin D.A.

## Введение/Introduction

В настоящее время при организации переработки отходов маслоэкстракционных производств крайне низкой является эффективность использования побочных продуктов сельского хозяйства, таких как лузга, шелуха, и некоторых других отходов, содержащих трудноперевариваемую клетчатку [1, 2]. Тем не менее состав этих отходов позволяет рассматривать их как перспективное сырье для пищевой промышленности и животноводства.

Главные проблемы — низкая биологическая доступность питательных веществ этих растительных субстратов и негативное влияние на микробиоту рубца за счет содержания большого количества жира и лигнина [3]. В связи с этим ожидаемо, что перспективные решения по наращиванию производства продовольствия в ближайшие годы станут возможными через создание промышленных технологий, построенных на принципах работы пищеварительного аппарата жвачных, являющихся интересным источником устойчивого консорциума микроорганизмов, способных перерабатывать растительные отходы со значительным содержанием некрахмалистых полисахаридов [1, 4].

Прийти к осуществлению этой непростой задачи можно благодаря совершенствованию уже существующих систем непрерывного культивирования различных конструкций, моделирующих пищеварение рубца жвачных (*Rumen continuous fermenter*, RCF) [5]. Данные аппараты в настоящее время используются для оценки влияния состава корма, кормовых добавок и рациона на синтез микробного белка, пищеварение и процессы ферментации, осуществляемые в инокуляте рубца жвачных животных.

Важным преимуществом ферментеров непрерывного культивирования *in vitro* является способность удалять конечные продукты ферментации и поддерживать относительно стабильную ферментацию в течение длительного периода времени [6]. Основные недостатки таких систем — накопление непереваренных материалов в ферментационных колбах, трудности с поддержанием микробного разнообразия и постоянства среды инокулята рубца, близкой к *in vivo* и т. д. [7, 8].

За 60-летнюю историю с начала разработки первого аппарата ферментации непрерывного культивирования учеными был сделан большой шаг для преодоления недостатков работы данных устройств, но тем не менее не все проблемы были решены [9].

Моделирование «идеального» биореактора, поддерживающего и воспроизводящего условия среды и естественное микробное сообщество рубца жвачного животного, является актуальной задачей и может дать начало передовой природоподобной технологии, производящей такие конечные продукты ферментации, как летучие жирные кислоты, водород и метан, которые могут использоваться в качестве прекурсоров для производства биотоплива или в качестве биотоплива [10].

Таким образом, совершенствование конструкции ферментера непрерывного действия не только даст возможность преобразования отходов сельского хозяйства благодаря внедрению в биотехнологическую промышленность принципов работы пищеварения жвачных [11, 12], но и поможет приблизиться к изучению структуры и функционирования экосистемы сложного консорциума микроорганизмов, обитающих в преджелудках животного-хозяина.

*Цель исследования* — проанализировать изменения инокулята рубцовой жидкости в результате преобразования льняного жмыха в условиях непрерывной работы биореактора в течение продолжительного времени.

## Материалы и методы / Materials and methods

Исследования проводили с 04.2021 по 05.2023 на базе отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Оренбург, Россия).

Объекты исследования — растительные отходы масложировой промышленности: льняной жмых по ГОСТ 10974<sup>1</sup> (Самарская область, Россия), ферментированная рубцовая жидкость.

Отбор рубцовой жидкости для загрузки в биореактор производили из рубца быков казахской белоголовой породы при убое (убойный цех мясоперерабатывающего комбината «Мегаторг», х. Чулошников, Оренбургская обл., Россия). Полученную рубцовую жидкость помещали в термосы объемом 3 л, транспортировку осуществляли в течение 30 минут.

Группой соавторов совместно с ООО «Основа» (г. Москва, Россия) была разработана конструкция биореактора (рис. 1), продолжительность ферментации в котором составляла 20 суток непрерывной ферментации без дополнительного добавления субстрата.

Установка состоит из реактора, представляющего собой цилиндрическую емкость, с рабочим объемом 100 л с конусным дном и нижним выпуском. Рамная мешалка с плавающими скребками из фторопласта и наклонными серповидными лопастями встроена внутрь емкости.

Ферментер был заполнен на 80% от объема емкости ( $V = 100$  л), причем 2/3 этого объема загружали опытными образцами растительных субстратов. Ферментация осуществлялась в биореакторе на таком растительном субстрате, как льняной жмых (отход масложировой промышленности).

Образцы льняного жмыха подвергались высушиванию (сушильный шкаф) (Binder, Германия) (+60 °C) до константного веса, в последующем проводился анализ химического состава до и после ферментации.

Рубцовая жидкость представляла жидкую часть ферментера и была получена от бычков казахской белоголовой породы возрастом 15 месяцев с хронической фистулой рубца ( $n = 4$ ).

Рацион кормления подопытных животных составлялся с учетом рекомендаций<sup>2</sup> и включал: сено разнотравное — 47,4%, сено бобовое — 32,6%, зерновую смесь — 19%, минеральный премикс — 1,0%. В рационе: сухое вещество — 94,7%, сырой протеин — 5,9%, сырая клетчатка — 28%, НДК — 6,3%, КДК — 4,6%, гемицеллюлоза — 1,65%, сырой жир — 2,73%, органическое вещество — 93,4%, Са — 0,51%, Р — 0,37%.

Корм скармливался животным два раза в день, при этом они имели свободный доступ к питьевой воде.

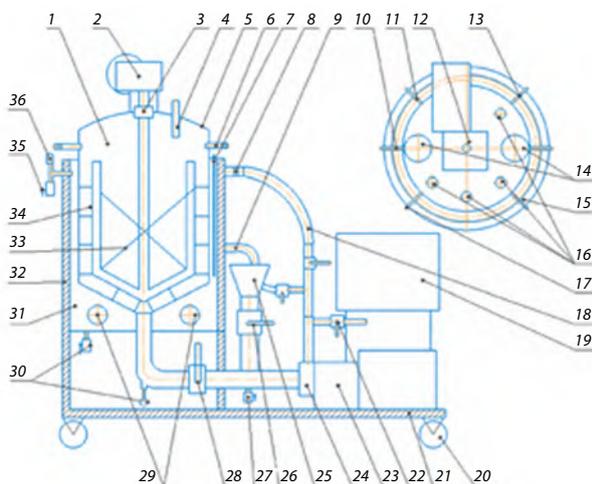
Сбор рубцовой жидкости у фистульных животных проводился через 3 часа после кормления. Транспортировка осуществлялась в термосе в течение 30 мин. с терморегуляцией на уровне +38,5–39,0 °C. Фильтрация рубцовой жидкости была выполнена через 4 слоя марли

<sup>1</sup> ГОСТ 10974-95 Жмых льняной. Технические условия.

<sup>2</sup> Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглова В.В., Клейменова Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие. 3-е изд., доп. и перераб. Москва. 2003; 456.

**Рис. 1.** Схема-конструкция биореактора (ферментера): 1 — цилиндрическая рабочая емкость; 2 — привод мешалки; 3 — герметичная муфта вала мешалки; 4 — моющая головка; 5 — съемная крышка; 6 — ниппель для подачи газа; 7 — датчик температуры воды в рубашке; 8 — верхний тангенциальный гомогенизирующий ввод в емкость; 9 — нижний тангенциальный ввод в емкость; 10 — ниппель с манометром; 11 — запасной ниппель; 12 — верхняя часть привода мешалки; 13 — ниппель для подачи пара; 14 — диоптры; 15 — запасной ниппель; 16 — ниппели для установки датчиков pH; 17 — ниппель для подачи пара; 18 — гибкий трубопровод; 19 — щит управления; 20 — ролики для перемещения; 21 — рама; 22 — разгрузочный штуцер с краном; 23 — насос-гомогенизатор; 24 — соединительный штуцер; 25 — тройник с загрузочной воронкой; 26 — кран для слива продуктов; 27 — кран для слива остатков продукта и промывных растворов; 28 — кран для регулировки потока продукта; 29 — ТЭНы; 30 — ниппели с кранами; 31 — водяная рубашка; 32 — теплоизоляция; 33 — наклонные серповидные лопасти; 34 — плавающие скребки из фторопласта; 35 — тройник с краном для контроля уровня заполнения рубашки; 36 — дыхательный клапан

**Fig. 1.** Scheme-design of a bioreactor (fermenter): 1 — cylindrical working tank; 2 — agitator drive; 3 — sealed coupling of the agitator shaft; 4 — washing head; 5 — removable lid; 6 — nipple for gas supply; 7 — water temperature sensor in the jacket; 8 — upper tangential homogenizing inlet into the tank; 9 — lower tangential inlet into capacity; 10 — nipple with pressure gauge; 11 — spare nipple; 12 — upper part of the agitator drive; 13 — nipple for steam supply; 14 — diopters; 15 — spare nipple; 16 — nipples for installing pH sensors; 17 — nipple for steam supply; 18 — flexible pipeline; 19 — control panel; 20 — rollers for moving; 21 — frame; 22 — discharge fitting with a crane; 23 — homogenizer pump; 24 — connecting fitting; 25 — tee with a loading funnel; 26 — faucet for draining products; 27 — faucet for draining product residues and washing solutions; 28 — faucet for adjusting product flow; 29 — heating elements; 30 — nipples with taps; 31 — water jacket; 32 — thermal insulation; 33 — inclined crescent-shaped blades; 34 — floating scrapers made of fluoroplast; 35 — tee with a tap to control the filling level of the shirt; 36 — exhaust valve



с последующим смешиванием с буферным раствором солей (имитирующим слюну) в соотношении 1:4.

Буферный раствор выполняет функции слюны и поддерживает pH ферментера, близкую к физиологической. Буферный раствор состоит из:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , мочевины. Раствор перед смешиванием был подогрет до  $+39^\circ\text{C}$  и насыщен  $\text{CO}_2$ .

Содержание животных и процедуры при выполнении экспериментов соответствовали требованиям инструкций и рекомендаций по выполнению биологических исследований<sup>3, 4</sup>. При проведении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму

страдания животных и уменьшить количество исследуемых опытных образцов.

На 4-е, 7-е и 14-е сутки инкубации проводился отбор рубцового содержимого ферментера с последующим отцеживанием данной жидкости через 4 слоя марли и немедленной отправкой в лабораторию для определения уровня летучих жирных кислот (ЛЖК) и форм азота.

Уровень ЛЖК в рубцовом содержимом ферментера определялся методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием на хроматографе газовом «Кристаллюкс-4000М» (СКБ «Хроматек», Россия). Определение форм азота производилось по ГОСТ 26889<sup>5</sup>.

Массовую долю сухого вещества образцов до и после ферментирования определяли по ГОСТ 31640<sup>6</sup>, сырого протеина — по ГОСТ 13496.4<sup>7</sup>, массовую долю сырого жира — по ГОСТ 13496.15<sup>8</sup>, массовую долю сырой клетчатки — по ГОСТ 31675<sup>9</sup>, массовую долю сырой золы — по ГОСТ 26226<sup>10</sup>.

Микробильную массу определяли методом дифференцированного центрифугирования (мини-центрифуга, 100–15 000 об/мин) (MIULAB, Китай) с последующим высушиванием<sup>11</sup> (сушильный шкаф) (Binder, Германия), основанным на различиях в скорости седиментации частиц, отличающихся размерами и плотностью.

Для осаждения бактерий использовали центрифуги с фактором разделения около 7000 (9–10 тыс. об/мин). Чистую осадочную фракцию взвешивали, определяли бактериальную массу.

Численные данные были обработаны с помощью программы SPSS Statistics 20 (IBM, США), рассчитывали средние (M), среднеквадратичные ( $\pm\sigma$ ) отклонения, ошибки стандартного отклонения ( $\pm\text{SE}$ ). Для сравнения вариантов использовали непараметрический метод анализа. Различия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ .

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Перед загрузкой в биореактор был проведен химический анализ испытуемого образца льняного жмыха (табл. 1). Сравнение результатов анализа химического состава льняного жмыха до и после ферментации позволило установить понижение массовой доли сухого вещества на 47,3%, сырого белка — на 14%, сырой золы — на 47%, жира — на 77,4% в испытуемом ферментируемом образце.

Таблица 1. Химический состав льняного жмыха до и после ферментации, %

Table 1. Chemical composition of linseed cake before and after fermentation, %

Наименование показателей	Жмых льняной до ферментации	Жмых льняной после ферментации
Массовая доля сухого вещества	93,00 ± 3,40	49,00 ± 2,10
Массовая доля жира	12,80 ± 0,54	5,50 ± 0,08
Массовая доля сырой клетчатки	10,80 ± 0,42	24,10 ± 0,51
Массовая доля сырого белка	38,40 ± 1,05	62,40 ± 2,14
Массовая доля сырой золы	3,40 ± 0,04	3,40 ± 0,05

<sup>3</sup> Сарымсакова Б.Е., Розенсон Р.И., Баттакова Ж.Е. Руководство по этике научных исследований: методические рекомендации. Астана. 2007; 98.

<sup>4</sup> Веселова Т.А., Мальцева А.А., Швец И.М. Биоэтические проблемы в биологических и экологических исследованиях: учебно-методическое пособие в электронном виде. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2018; 187.

<sup>5</sup> ГОСТ 26889-86 Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кельдаль.

<sup>6</sup> ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт корма. Методы определения содержания сухого вещества.

<sup>7</sup> ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

<sup>8</sup> ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

<sup>9</sup> ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

<sup>10</sup> ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

<sup>11</sup> Нуржанов Б.С. Научно-практическое обоснование использования комплексных кормовых добавок в рационах крупного рогатого скота: дисс. ... д-ра с.-х. наук. Оренбург. 2021; 260.

K.J. Soder *et al.* (2013 г.) наблюдали снижение усвояемости сухого вещества и клетчатки в рубце при использовании в рационе на основе фуража 10% льняного жмыха в системе непрерывного культивирования [13]. Как правило, содержание липидов в рационе около 5% не должно вызывать какого-либо вредного дисбаланса в среде рубца и вряд ли негативно скажется на усвояемости [14]. В настоящем *in vitro* исследовании при непрерывной ферментации льняного жмыха с содержанием жира до 12,8% зафиксировано снижение разложения сырой клетчатки.

Для определения эффективности синтеза микробного белка при разложении льняного жмыха была оценена концентрация метаболитов азота в инокуляте ферментера. Концентрация общего азота, обнаруженная в исследовании, аналогична концентрации в ранее опубликованных исследованиях [15]. На 7-е сутки ферментации наблюдалось увеличение уровня общего азота в рубцовом содержимом относительно 4-х суток на 75,8%, при этом на 14-е сутки наблюдалось снижение данного показателя на 22,2% относительно 7-х суток (рис. 2).

Аналогичная тенденция выявлена в отношении концентраций белкового и небелкового азота в инокуляте рубцовой жидкости. Так, было отмечено возрастание данных метаболитов на 7-е сутки инкубации относительно 4-х суток на 76,5% и 2,2 раза, соответственно, с дальнейшим понижением концентрации на 14-е сутки относительно 7-х суток на 20,4% и 16%.

Более ранние исследования [16, 17] показали, что концентрация общего азота в рубце ниже 8,5 мг/г может потенциально угнетать синтез микробного белка. Наблюдаемая авторами концентрация азота в содержимом ферментера в данном исследовании указывает на то, что доступность азота не ухудшала рост микроорганизмов.

В исследованиях с включением льняного жмыха в объеме 4,1% в рацион жвачных не было отмечено изменений в синтезе ЛЖК и их соотношении [18]. Однако при увеличении части льняного жмыха в рационе до 10% и более, было зафиксировано изменение соотношения пропорций отдельных ЛЖК, в частности ацетата и пропионата [13, 15].

В данном исследовании было отмечено повышение концентрации пропионовой и масляной кислоты на 7-е сутки инкубации рубцового содержимого в реакторе в 2,1 и 3 раза относительно 4-х суток (рис. 3). В свою очередь, на 14-е сутки наблюдалось понижение масляной и пропионовой кислоты по сравнению с 7-ми сутками на 25,5% и 27,4% соответственно.

Показатель концентрации уксусной кислоты на 7-е сутки инкубации вырос относительно результатов 4-х суток на 36,5%, затем к 14-м суткам данная концентрация снизилась на 25,4 % по сравнению с 7-ми сутками. Концентрация валерьяновой и капроновой кислоты на протяжении всего времени ферментации оставалась на незначительном уровне.

Пик увеличения биомассы бактерий в содержимом ферментера наблюдался на 7-е сутки инкубации, концентрация бактерий в 2,8 раза превышала значения 4-х суток ферментации (рис. 4). На 14-е сутки инкубации инокулята рубцового содержимого отмечено

**Рис. 2.** Концентрация метаболитов азота в рубцовом содержимом при ферментации льняного жмыха, ммоль/л

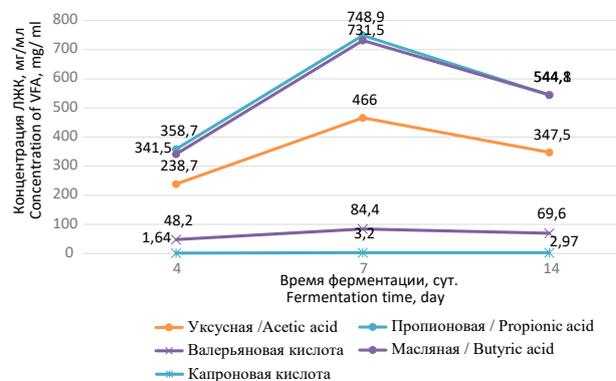
**Fig. 2.** Concentration of nitrogen metabolites in the ruminal contents of fermentation of flaxseed cake, mmol/l



Примечание: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,05$  при сравнении со значениями, полученными на 4-е сутки ферментации.

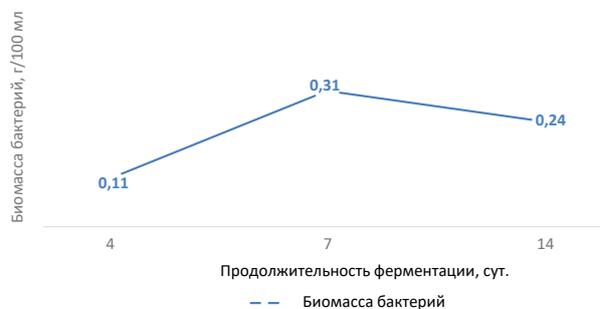
**Рис. 3.** Концентрация ЛЖК в рубцовом содержимом при ферментации льняного жмыха, мг/мл

**Fig. 3.** The concentration of VFA in the scar content during fermentation of hemp cake, mg/ml



**Рис. 4.** Биомасса бактерий в содержимом ферментера, г / 100 мл

**Fig. 4.** Biomass of bacteria in the contents of the fermenter, g / 100 ml



незначительное снижение числа микроорганизмов (на 22,6%) относительно 7-х суток.

### Выводы/Conclusion

Непрерывная ферментация льняного жмыха в биореакторе в течение 14 суток показала способность данного субстрата поддерживать активность рубцовой микробиоты для переваримости питательных компонентов.

В результате расщепления льняного жмыха отмечено сохранение достаточно высокого уровня летучих жирных кислот и метаболитов азота в инокуляте рубца, а также увеличение переваримости сухого вещества, сырого жира, сырого протеина в данном кормовом средстве.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данное исследование было выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-16-00088-П).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nguyen L.N. *et al.* Application of rumen and anaerobic sludge microbes for bio harvesting from lignocellulosic biomass. *Chemosphere*. 2019; 228: 702–708. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.159>
2. Chandel A.K., Singh O.V. Weedy lignocellulosic feedstock and microbial metabolic engineering: advancing the generation of 'Biofuel'. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2011; 89(5): 1289–1303. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-3057-6>
3. Bajpai P. Lignocellulosic Biomass in Biotechnology. *Elsevier*. 2021; 248. ISBN 978-0-12-821889-1
4. Weimer P.J. Degradation of Cellulose and Hemicellulose by Ruminant Microorganisms. *Microorganisms*. 2022; 10(12): 2345. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122345>
5. Liang J. *et al.* Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 134: 110335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335>
6. Martinez M.E., Ranilla M.J., Tejido M.L., Ramos S., Carro M.D. Comparison of fermentation of diets of variable composition and microbial populations in the rumen of sheep and Rusitec fermenters. I. Digestibility, fermentation parameters, and microbial growth. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(8): 3684–3698. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2933>
7. Sujani S., White R.R., Firkins J.L., Wenner B.A. Network analysis to evaluate complexities in relationships among fermentation variables measured within continuous culture experiments. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: skad085. <https://doi.org/10.1093/jas/skad085>
8. Muetzel S., Lawrence P., Hoffmann E.M., Becker K. Evaluation of a stratified continuous rumen incubation system. *Animal Feed Science and Technology*. 2009; 151(1–2): 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsys.2008.11.001>
9. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology*. 2019; 300: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004>
10. Bhujbal S.K., Ghosh P., Vijay V.K., Singh L. Biomimicry of ruminant digestion strategies for accelerating lignocellulose bioconversion in anaerobic digestion. *Trends in Biotechnology*. 2022; 40(12): 1401–1404. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.08.002>
11. Шейда Е.В., Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Мирошников И.С., Проскурин Д.А., Овечкин М.В. Проектирование и эксплуатация биореактора для переработки отходов растениеводства. *Животноводство и кормопроизводство*. 2023; 106(3): 179–189. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-179>
12. Soder K.J., Brito A.F., Rubano M.D. Effect of supplementing orchardgrass herbage with a total mixed ration or flaxseed on fermentation profile and bacterial protein synthesis in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96(5): 3228–3237. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6307>
13. Moran J. How the rumen works. Moran J. *Tropical Dairy Farming: Feeding Management for Smallholder Dairy Farmers in the Humid Tropics*. Collingwood, Victoria, Australia: Landlinks Press. 2005; 41–49.
14. Neveu C., Baurhoo B., Mustafa A. Effect of feeding extruded flaxseed with different grains on the performance of dairy cows and milk fatty acid profile. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(3): 1543–1551. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6728>
15. Kang-Meznarich J.H., Broderick G.A. Effects of Incremental Urea Supplementation on Ruminant Ammonia Concentration and Bacterial Protein Formation. *Journal of Animal Science*. 1980; 51(2): 422–431. <https://doi.org/10.2527/jas1980.512422x>
16. Brito A.F., Broderick G.A., Reynal S.M. Effect of Varying Dietary Ratios of Alfalfa Silage to Corn Silage on Omasal Flow and Microbial Protein Synthesis in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(10): 3939–3953. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72436-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72436-5)
17. Côrtes C. *et al.* Milk composition, milk fatty acid profile, digestion, and ruminal fermentation in dairy cows fed whole flaxseed and calcium salts of flaxseed oil. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(7): 3146–3157. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2905>
18. Silva L.G. *et al.* Effects of flaxseed and chia seed on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and long-chain fatty acid flow in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(4): 1600–1609. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9750>

## ОБ АВТОРАХ

**Елена Владимировна Шейда<sup>1, 2</sup>**

научный сотрудник, кандидат биологических наук<sup>1</sup>;  
старший научный сотрудник, кандидат биологических наук<sup>2</sup>  
elena-shaejjda@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

**Галимжан Калиханович Дускаев<sup>1</sup>**

ведущий научный сотрудник, доктор биологических наук  
gduskaev@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

## FUNDING

This study was carried out with financial support Russian Science Foundation (Project № 20-16-00088-P).

## REFERENCES

1. Nguyen L.N. *et al.* Application of rumen and anaerobic sludge microbes for bio harvesting from lignocellulosic biomass. *Chemosphere*. 2019; 228: 702–708. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.159>
2. Chandel A.K., Singh O.V. Weedy lignocellulosic feedstock and microbial metabolic engineering: advancing the generation of 'Biofuel'. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2011; 89(5): 1289–1303. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-3057-6>
3. Bajpai P. Lignocellulosic Biomass in Biotechnology. *Elsevier*. 2021; 248. ISBN 978-0-12-821889-1
4. Weimer P.J. Degradation of Cellulose and Hemicellulose by Ruminant Microorganisms. *Microorganisms*. 2022; 10(12): 2345. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122345>
5. Liang J. *et al.* Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 134: 110335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335>
6. Martinez M.E., Ranilla M.J., Tejido M.L., Ramos S., Carro M.D. Comparison of fermentation of diets of variable composition and microbial populations in the rumen of sheep and Rusitec fermenters. I. Digestibility, fermentation parameters, and microbial growth. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(8): 3684–3698. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2933>
7. Sujani S., White R.R., Firkins J.L., Wenner B.A. Network analysis to evaluate complexities in relationships among fermentation variables measured within continuous culture experiments. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: skad085. <https://doi.org/10.1093/jas/skad085>
8. Muetzel S., Lawrence P., Hoffmann E.M., Becker K. Evaluation of a stratified continuous rumen incubation system. *Animal Feed Science and Technology*. 2009; 151(1–2): 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsys.2008.11.001>
9. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology*. 2019; 300: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004>
10. Bhujbal S.K., Ghosh P., Vijay V.K., Singh L. Biomimicry of ruminant digestion strategies for accelerating lignocellulose bioconversion in anaerobic digestion. *Trends in Biotechnology*. 2022; 40(12): 1401–1404. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.08.002>
11. Sheida E.V., Duskaev G.K., Miroshnikov S.A., Miroshnikov I.S., Proskurin D.A., Ovechkin M.V. Design and operation of a bioreactor for processing plant waste. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023; 106(3): 179–189 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-179>
12. Soder K.J., Brito A.F., Rubano M.D. Effect of supplementing orchardgrass herbage with a total mixed ration or flaxseed on fermentation profile and bacterial protein synthesis in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96(5): 3228–3237. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6307>
13. Moran J. How the rumen works. Moran J. *Tropical Dairy Farming: Feeding Management for Smallholder Dairy Farmers in the Humid Tropics*. Collingwood, Victoria, Australia: Landlinks Press. 2005; 41–49.
14. Neveu C., Baurhoo B., Mustafa A. Effect of feeding extruded flaxseed with different grains on the performance of dairy cows and milk fatty acid profile. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(3): 1543–1551. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6728>
15. Kang-Meznarich J.H., Broderick G.A. Effects of Incremental Urea Supplementation on Ruminant Ammonia Concentration and Bacterial Protein Formation. *Journal of Animal Science*. 1980; 51(2): 422–431. <https://doi.org/10.2527/jas1980.512422x>
16. Brito A.F., Broderick G.A., Reynal S.M. Effect of Varying Dietary Ratios of Alfalfa Silage to Corn Silage on Omasal Flow and Microbial Protein Synthesis in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(10): 3939–3953. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72436-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72436-5)
17. Côrtes C. *et al.* Milk composition, milk fatty acid profile, digestion, and ruminal fermentation in dairy cows fed whole flaxseed and calcium salts of flaxseed oil. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93(7): 3146–3157. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2905>
18. Silva L.G. *et al.* Effects of flaxseed and chia seed on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and long-chain fatty acid flow in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(4): 1600–1609. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9750>

## ABOUT THE AUTHORS

**Elena Vladimirovna Sheida<sup>1, 2</sup>**

Researcher, Candidate of Biological Sciences<sup>1</sup>;  
Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences<sup>2</sup>  
elena-shejjda@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

**Galimzhan Kalihanovich Duskaev<sup>1</sup>**

Leading Researcher, Doctor of Biological Sciences  
gduskaev@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

**Сергей Александрович Мирошников<sup>1</sup>**

член-корреспондент РАН,  
доктор биологических наук  
fncbst@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1173-1952>

**Мария Сергеевна Аринжанова<sup>1</sup>**

младший научный сотрудник, аспирант  
marymiroshnikova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1898-9307>

**Дмитрий Александрович Проскурин<sup>1</sup>**

научный сотрудник, кандидат технических наук  
dimitrpro@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7030-0912>

<sup>1</sup> Федеральный научный центр биологических систем  
и агротехнологий Российской академии наук,  
ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

<sup>2</sup> Оренбургский государственный университет,  
пр-т Победы, 13, Оренбург, 460000, Россия

**Sergey Aleksandrovich Miroshnikov<sup>1</sup>**

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,  
Doctor of Biological Sciences  
fncbst@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1173-1952>

**Maria Sergeevna Arinzhanova<sup>1</sup>**

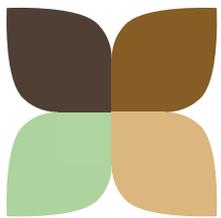
Junior Researcher, Graduate Student  
marymiroshnikova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1898-9307>

**Dmitry Aleksandrovich Proskurin<sup>1</sup>**

Researcher, Candidate of Technical Sciences  
dimitrpro@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7030-0912>

<sup>1</sup> Federal Scientific Center for Biological Systems  
and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences  
29 January 9<sup>th</sup> Str., Orenburg, 46000, Russia

<sup>2</sup> Orenburg State University,  
13 Pobedy Ave., Orenburg, 460000, Russia



# ПроПротеин

## Форум и экспо

+7 (495) 585-5167 | [info@proprotein.org](mailto:info@proprotein.org) | [www.proprotein.org](http://www.proprotein.org)

## Форум и выставка по производству и использованию новых пищевых протеинов: растительные заменители мяса, культивируемое мясо, насекомые как еда

Форум является уникальным специализированным  
событием отрасли в России и СНГ и пройдет  
26 сентября 2024 г. в отеле «Лесная Сафмар» в Москве

### Возможности для рекламы:

Выбор одного из спонсорских пакетов форума  
позволит вам заявить о своей компании, продукции  
и услугах и стать лидером быстрорастущего рынка.

