

Н. В. Попова ✉
И. В. Калинина
А. К. Васильев
К. С. Каменева

Южно-Уральский государственный
университет, Челябинск, Россия

✉ nvpopova@susu.ru

Поступила в редакцию:
01.10.2023

Одобрена после рецензирования:
15.01.2024

Принята к публикации:
30.01.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-127-132

Natalia V. Popova ✉
Irina V. Kalinina
Andrey K. Vasiliev
Ksenia S. Kameneva

South Ural State University, Chelyabinsk,
Russia

✉ nvpopova@susu.ru

Received by the editorial office:
01.10.2023

Accepted in revised:
15.01.2024

Accepted for publication:
30.01.2024

Оценка эффективности и оптимизация процесса ферментации овсяного напитка молочнокислыми микроорганизмами

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Разработка пробиотических продуктов на безлактозной основе в последнее время привлекает внимание многих ученых. Такие продукты особенно интересны для людей с индивидуальными особенностями организма, в частности непереносимостью химических компонентов молока, либо собственными пищевыми предпочтениями. В качестве пищевой системы для получения пробиотического продукта всё чаще используют напитки на растительной основе: овсяный, рисовый, соевый миндальный и другие. Растительные напитки являются источником целого ряда нутриентов, а процессы ферментации с использованием молочнокислых микроорганизмов могут позволить обогатить их такими функциональными ингредиентами, как пробиотики.

Цели исследования — оценка возможности ферментации овсяного напитка штаммами пробиотических молочнокислых микроорганизмов и поиск оптимальных режимов этого процесса.

Методы. Ферментацию напитка безалкогольного сырья «Молоко овсяное» проводили, используя закваску Danisco Choozit MA 11 25 DCU, включающую в себя *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. Cremoris*. Эффективность процесса оценивали по накоплению биомассы, титруемой и активной кислотности, накоплению молочной кислоты, наиболее вероятному числу пробиотических микроорганизмов. Дополнительно оценили влияние функционального компонента — рутина — на активность изменения указанных показателей.

Результаты. Была установлена возможность адаптации молочнокислых бактерий в растительной среде овсяного напитка, внесение рутина способствовало активизации процесса ферментации. Прирост биомассы молочнокислых бактерий без внесения рутина составил 150%, а при внесении — 230%. Варьирование температурного фактора при ферментации напитка в течение 12–20 часов позволило установить оптимумы по накоплению молочной кислоты — 16 часов при температуре 34,7 °С. Количество пробиотических микроорганизмов в готовом напитке составило $3,8–5,2 \times 10^7$, что позволяет отнести напитки к функциональным продуктам с пробиотиками. Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность использования растительного напитка на овсяной основе для ферментации молочнокислыми бактериями *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 23-26-10063.

Ключевые слова: пробиотический напиток, растительный напиток, молочнокислые бактерии, ферментация

Для цитирования: Попова Н.В., Калинина И.В., Васильев А.К., Каменева К.С. Оценка эффективности и оптимизация процесса ферментации овсяного напитка молочнокислыми микроорганизмами. *Аграрная наука*. 2024; 379(2): 127–132.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-127-132>

© Попова Н.В., Калинина И.В., Васильев А.К., Каменева К.С.

Evaluation of effectiveness and optimisation of the process of fermentation of oat drink with lactic acid microorganisms

ABSTRACT

Relevance. The development of lactose-free probiotic products has recently attracted the attention of many scientists. Such products are especially interesting for people with individual characteristics of the body, in particular intolerance to the chemical components of milk, or their own food preferences. As a food system for obtaining a probiotic product, plant-based drinks are increasingly being used: oatmeal, rice, soy almond and others. Plant-based drinks provide a range of nutrients, and fermentation processes using lactic acid microorganisms can enrich them with functional ingredients such as probiotics.

The purpose of the study is to evaluate the possibility of fermentation of oatmeal drink by strains of probiotic lactic acid microorganisms and to search for optimal modes of this process.

Methods. Fermentation of a non-alcoholic beverage from vegetable raw materials “Oat milk” was carried out using a starter culture Danisco Choozit MA 11 25 DCU, including *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. Cremoris*. The efficiency of the process was assessed by the accumulation of biomass, titratable and active acidity, lactic acid accumulation, and the most likely number of probiotic microorganisms. Additionally, the influence of the functional component — rutin — on the activity of changes in these indicators was assessed.

Results. The possibility of adaptation of lactic acid bacteria in the plant environment of an oat drink was established, the addition of rutin contributed to the activation of the fermentation process. The increase in the biomass of lactic acid bacteria without the introduction of rutin was 150%, and when applied — 230%. The variation of the temperature factor during fermentation of the drink for 12–20 hours allowed us to establish the optimum for the accumulation of lactic acid — 16 hours at a temperature of 34.7 °C. The number of probiotic microorganisms in the finished drink was $3.8–5.2 \times 10^7$, which makes it possible to classify drinks as functional products with probiotics. Thus, the research results confirm the possibility of using an oat-based vegetable drink for fermentation by lactic acid bacteria *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*. The research was carried out with the financial support of a grant from the Russian Science Foundation (RGNF) within the framework of the project 23-26-10063.

Key words: probiotic drink, plant drink, lactic acid bacteria, fermentation

For citation: Popova N.V., Kalinina I.V., Vasiliev A.K., Kameneva K.S. Evaluation of effectiveness and optimisation of the process of fermentation of oat drink with lactic acid microorganisms. *Agrarian science*. 2024; 379(2): 127–132 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-127-132>

© Popova N.V., Kalinina I.V., Vasiliev A.K., Kameneva K.S.

Введение/Introduction

В развитие исследований в области технологий производства пробиотических напитков на растительной основе¹, которые привлекательны для людей с индивидуальными особенностями организма либо с собственными пищевыми предпочтениями, актуальны тенденции производства напитков на овсяной основе [1–4].

Овес, как сырьевой ингредиент для растительных напитков, характеризуется рядом преимуществ, в том числе достаточно дешев, имеет богатый химический состав, менее аллергенен по сравнению с напитками на основе сои или орехов, произрастает в регионах, где выращивание сои или орехов не может быть применимо из-за погодных и сельскохозяйственных условий. Овес богат крахмалом, белком, клетчаткой (бета-глюканами), антиоксидантами, витаминами и полезными жирами [5, 6].

Некоторые исследования показывают гипохолестеринемический эффект овсяных продуктов, приводящий к снижению уровня холестерина на 20–30% и ожидаемому общему эффекту снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний именно благодаря содержанию в овсе бета-глюкана [7, 8]. Белки овса имеют более высокое содержание лизина, который является основной лимитирующей аминокислотой в злаках. Овес содержит большое количество ненасыщенных незаменимых жирных кислот, таких как олеиновая кислота (18:1) и линолевая кислота (18:2), которые оказывают значительное влияние на качество питания [9–11].

Одним из способов уменьшить дефицит сырья, улучшить срок хранения, питательность и вкус продукта является ферментация [2, 12, 13].

Процесс ферментации вызывает некоторые биохимические изменения в пищевом матриксе, что повышает биодоступность питательных веществ, усвояемость белков, продлевает срок хранения продукта [10, 11, 14]. Благодаря ферментационным процессам можно разрабатывать функциональные пробиотические продукты питания, полезность которых для организма человека сегодня уже не вызывает сомнения [15, 16].

Пробиотики представляют собой селективные жизнеспособные микробиологические пищевые добавки, вводимые в достаточном количестве, чтобы принести пользу для здоровья человека. Эти микроорганизмы можно использовать по отдельности или в сочетании для улучшения метаболизма лактозы, профилактики инфекций кишечного тракта, повышения иммунитета, снижения содержания холестерина в сыворотке крови, синтеза витаминов, экзополисахаридов и т. д. [17, 18].

Основными источниками пробиотиков для человека долгое время являлись молоко и кисломолочные продукты^{2, 3} [19, 20]. Однако непереносимость лактозы, высокое содержание холестерина, аллергия на молочные белки и всё увеличивающееся количество вегетарианцев стали ограничивающими факторами для развития рынка молочных пробиотических продуктов.

Такая ситуация требует поиска альтернативных подходов к разработке пищевых продуктов — источников пробиотиков, в том числе на основе фруктов, овощей, круп, бобовых и т. д. [21, 22].

Цели исследования — оценка возможности ферментации овсяного напитка штаммами пробиотических молочнокислых микроорганизмов и поиск оптимальных режимов этого процесса.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

В качестве растительной основы взят напиток безалкогольный из растительного сырья «Молоко овсяное» марки «Здоровое меню» (ООО «Объединение “Союзпищепром”», Россия). В составе данного продукта вода, овсяная мука, рапсовое масло, карбонат кальция, фосфат кальция, регулятор кислотности — фосфат калия, витамин В₂, соль йодированная.

В качестве пробиотической культуры использовали закваску Danisco Choozit MA 11 25 DCU (Danisco France SAS, Франция), включающую в себя *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*. *Lactococcus lactis subsp. lactis* — основной компонент любой мезофильной закваски, гомоферментативная бактерия, продуктом брожения которой является молочная кислота. Оптимальной температурой роста для него считается 28–32 °С, а максимальной — 40–42 °С. *Lactococcus lactis subsp. cremoris* обеспечивает нежный сливочный вкус готовому продукту, отвечает за образование густка сметанообразной консистенции, способного удерживать влагу [9, 23–27].

Оценку процесса ферментации осуществляли по накоплению биомассы, результатам оценки титруемой и активной кислотности, накоплению молочной кислоты в образцах пробиотических напитков, наиболее вероятно числу пробиотических микроорганизмов.

Дополнительно оценили влияние функционального компонента на активность изменения указанных показателей. В качестве функционального ингредиента использовали растительный антиоксидант — флавоноид рутин, изготовитель — Now Foods (США), источник — цветы сафоры японской, чистота — 97–99%.

Сквашивание осуществлялось согласно рекомендации изготовителя закваски (3 г/л), температурный интервал — 37–45 °С.

Количество вносимой добавки рутина рассчитывалось исходя из рекомендуемых норм его потребления на порцию продукта (100 мл) с учетом требований ГОСТ 55577⁴.

Прирост биомассы микроорганизмов оценивали с использованием пробирочного биореактора BioSan (BioSan Ltd., Латвия). Программное обеспечение биореактора BioSan выстраивает графически ферментативную кинетику процесса, основанную на определении интенсивности светорассеяния. В каждой контролируемой точке прибор фиксирует значение прироста биомассы микроорганизмов.

Титруемую кислотность определяли методом нейтрализации кислых солей, белков, свободных кислот и других кислых соединений раствором щелочи в

¹ Яковченко Н.В. Применение биопотенциала адаптогенных БАВ из растительного сырья для создания новых функциональных продуктов питания с пробиотическим эффектом для активного долголетия и здоровья. Отчет о НИР № 22-26-00288. Российский научный фонд. 2022.

² Бегунова А.В. Разработка технологии пробиотического кисломолочного продукта с *Lactobacillus reuteri* LR1. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН». 2021. EDN: TQNTTY

³ Боровик Т.Э., Скворцова В.А., Бушуева Т.В., Гусева И.М., Козлова Е.В., Тимофеева А.Г., Фисенко А.П. Специализированный продукт с пробиотиком на основе полного гидролизата сывороточных белков для питания детей с рождения. Патент на изобретение RU 2761534 С1, 09.12.2021. Заявка № 2020142972 от 25.12.2020.

⁴ ГОСТ 55577-2013 Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности.

присутствии индикатора фенолфталеина, активную кислотность — методом измерения разности потенциалов между измерительным электродом и электродом сравнения, погруженными в пробу ферментированного растительного напитка.

Содержание молочной кислоты определяли спектрофотометрически (с применением спектрофотометра СФ56, Россия) по методике патента 2639245С1⁵, которая заключается в добавлении исследуемого раствора к 0,2%-ному раствору хлорида железа трехвалентного, с последующим измерением оптической плотности полученного раствора при длине волны 390 нм. Количеством концентрации молочной кислоты устанавливается по калибровочному графику.

Для установления оптимальных технологических режимов производства ферментированных (пробиотических) напитков была внедрена методика композиционного планирования, основанная на двухфакторном анализе. Температура и время ферментации были выбраны в качестве переменных, а содержание молочной кислоты — в качестве контролируемого показателя, который косвенно может свидетельствовать о полноте протекания процесса адаптации пробиотических микроорганизмов в системе растительного напитка. Были использованы три температурных режима ферментации (28 °С, 32 °С и 36 °С) в течение 12, 16 и 20 часов.

Определение и подсчет пробиотических микроорганизмов проводили по методике ГОСТ Р 56139⁶. Метод основан на высеве ряда разведений функциональных пищевых продуктов и ингредиентов, которые могли бы содержать пробиотические микроорганизмы, в определенных концентрациях в питательные среды и их культивировании при оптимальных для роста условиях, а также с последующим определением их культурально-морфологических свойств и подсчете количественного содержания в продукте. Количество пробиотических микроорганизмов выражали через единицы НВЧ (наиболее вероятное число микроорганизмов).

Морфологию микроорганизмов изучали путем светлой микроскопии фиксированного мазка, окрашенного метиленовым голубым (увеличение $\times 1500$). Дополнительно проводили оценку соответствия органолептических показателей полученного пробиотического напитка на растительной основе требованиям ГОСТ Р 70650⁷.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При благоприятном протекании процесса адаптации в растительной среде должно происходить накопление биомассы микроорганизмов. Результаты оценки данного показателя свидетельствовали о положительном протекании биотехнологического процесса возможности развития молочнокислой закваски в растительной среде (рис. 1).

Отмечается положительное влияние вносимого функционального компонента — флавона рутина — на активизацию процесса накопления биомассы, что связано с лучшей адаптацией закваски в растительной среде (рис. 2).

Рис. 1. Динамика темпа прироста биомассы закваски Danisco Choozit MA 11 25 DCU в напитке из растительного сырья «Молоко овсяное»

Fig. 1. Biomass growth rate of the starter "Danisco Choozit MA 11 25 DCU" in the drink made from plant materials "Oat milk"

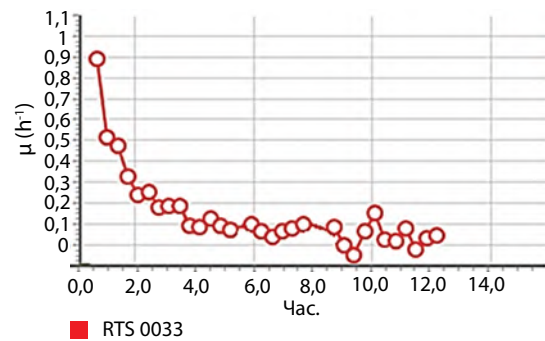
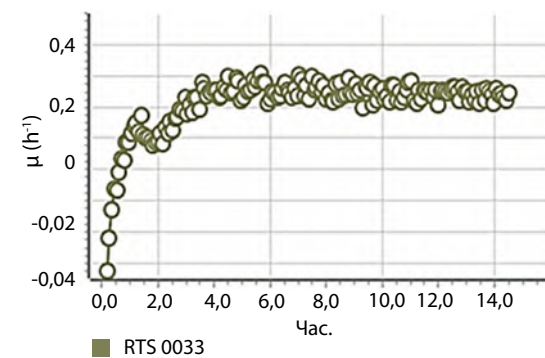


Рис. 2. Динамика темпов прироста биомассы закваски Danisco Choozit MA 11 25 DCU при добавлении рутина

Fig. 2. Biomass growth rate of the starter "Danisco Choozit MA 11 25 DCU" with the addition of rutin



Рисунки 1 и 2 демонстрируют темпы прироста биомассы микроорганизмов и указывают на то, что без добавления рутина темп прироста биомассы лактобактерий в течение первых четырех часов снижается и последующее время колеблется в диапазоне 0,05–0,2 (h⁻¹). При внесении рутина характер течения этого процесса меняется. В течение первого часа процесса ферментации происходит адаптация молочнокислых микроорганизмов к питательной среде. В последующем темп прироста биомассы колеблется в диапазоне 0,2–0,3 (h⁻¹).

В целом прирост биомассы молочнокислых бактерий без внесения рутина составил 150%, а при внесении — 230% за 12 часов ферментации. Это свидетельствует о способности закваски молочнокислых бактерий адаптироваться в растительной среде, причем внесение функционального ингредиента в расчетном количестве активизирует процесс адаптации и развития молочнокислых бактерий. Это наглядно демонстрируют результаты микроскопии образцов (рис. 3).

Анализ микроскопии с учетом атласа микроорганизмов (МУ 2.3.2.2327⁸) показывает присутствие как *Lactococcus lactis subsp. lactis*, так и *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, причем более активное развитие культуры молочнокислых микроорганизмов наблюдалось в образце с рутином. Это послужило основанием в дальнейших исследованиях использовать именно этот образец напитка.

⁵ Патент 2639245С1 РФ МПК (51) G01N 33/00 (2006.01). Дата начала отсчета срока действия патента — 02.12.2016. Способ спектрофотометрического определения молочной кислоты. Авторы: Л.Н. Борщевская, Т.Л. Гордеева, А.Н. Калинина, С.П. Синецкий. Патентообладатель — Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

⁶ ГОСТ Р 56139-2014 Продукты пищевые функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов.

⁷ ГОСТ Р 70650-2023 Напитки на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса). Общие технические условия.

⁸ МУ 2.3.2.2327-08 Пищевые продукты и пищевые добавки. Методические рекомендации по организации производственного микробиологического контроля на предприятиях молочной промышленности (с атласом значимых микроорганизмов).

Рис. 3. Результаты микроскопии образцов пробиотических растительных напитков (фиксированный препарат, окраска метиленовым голубым, ×1500): а — образец без рутина, б — образец с рутином

Fig. 3. Results of microscopy of samples of probiotic herbal drinks (fixed preparation, methylene blue staining, ×1500): a — sample without rutin, b — sample with rutin

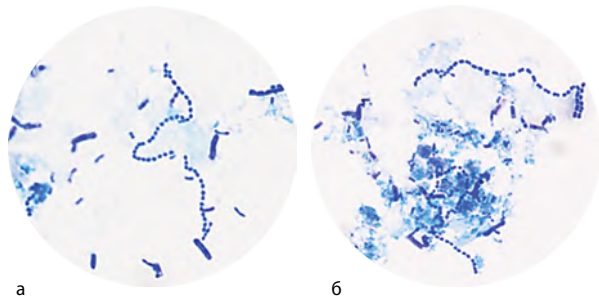
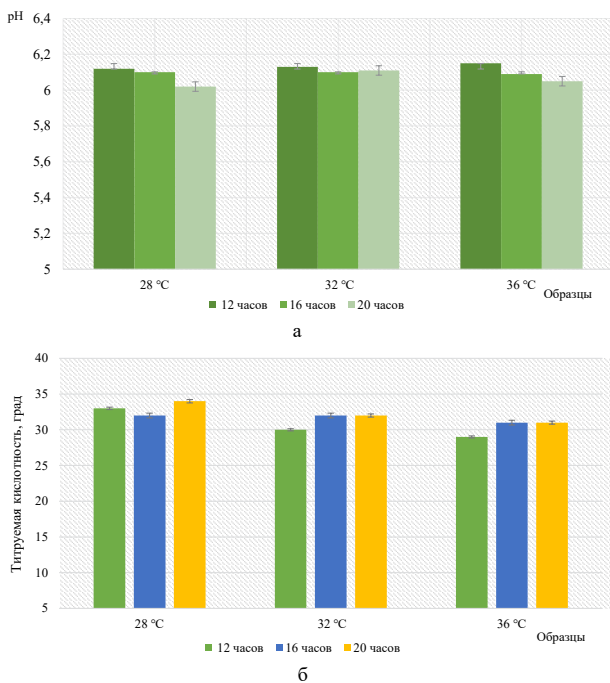


Рис. 4. Результаты определения pH и титруемой кислотности в образцах пробиотических растительных напитков, ферментированных при разных режимах: а — pH, б — титруемая кислотность

Fig. 4. Results of determining pH and titratable acidity in samples of probiotic plant drinks fermented under different conditions: а — pH, б — titratable acidity



Развитие молочнокислой микрофлоры в пищевой системе сопряжено с рядом изменений, таких как рост титруемой кислотности в результате молочнокислого брожения, снижением значений pH, в результате частичного распада белка. Интенсивность этих процессов в значительной степени зависит от режимов процесса ферментации. Авторами была предпринята попытка оценить влияние температуры и продолжительности процесса ферментации на изменение ключевых показателей — титруемой кислотности и pH (рис. 4).

Полученные значения показали, что развитие микроорганизмов используемой заквасочной культуры в системе растительного напитка происходит в целом стабильно. Выбранные режимы ферментации не вызвали резких скачков в значениях оцениваемых показателей. Вместе с тем наблюдались незначительное снижение титруемой кислотности и рост значений pH при увеличении температуры процесса до 36 °C, что может косвенно свидетельствовать о снижении уровня активности микроорганизмов.

9 ГОСТ Р 56139-2014 Продукты пищевые функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов.

Таблица 1. Результаты определения содержания молочной кислоты в образцах пробиотических напитков, ферментированных при разных режимах

Table 1. Results of the determination of lactic acid content in samples of probiotic drinks fermented under different conditions

Температурный режим, °C	Длительность процесса ферментации, час		
	12	16	20
28	$\lambda = 6,12$	$\lambda = 6,92$	$\lambda = 6,74$
32	$\lambda = 7,63$	$\lambda = 7,92$	$\lambda = 7,76$
36	$\lambda = 7,74$	$\lambda = 8,12$	$\lambda = 8,03$

Для оптимизации процесса ферментации овсяного молока молочнокислыми микроорганизмами был применен двухфакторный регрессионный анализ. Температура и время ферментации были выбраны в качестве переменных, а в качестве контролируемого показателя было выбрано содержание молочной кислоты, наиболее полно иллюстрирующего процесс адаптации пробиотических микроорганизмов в системе растительного напитка. Результаты оценки содержания молочной кислоты в напитках, ферментируемых при различных режимах, приведены в таблице 1.

В результате планирования и решения задачи оптимизации с использованием программного обеспечения MATHCAD 15.1 были получены поверхность отклика и описывающее ее уравнение, что позволило сократить количество экспериментов, необходимых для определения оптимального сочетания факторов (рис. 5).

Данные (рис. 5) свидетельствуют, что с учетом физического смысла величин рациональными условиями для создания пробиотических напитков на овсяной основе будет 16,7 часа при температуре 34,7 °C.

Для напитка, полученного с учетом установленно рационального режима, была проведена оценка количества пробиотических культур микроорганизмов по методике ГОСТ Р 56139⁹ путем определения показателя НВЧ.

Полученные результаты показали, что их количество в вырабатываемом образце напитка на растительной основе составило $3,8-5,2 \times 10^7$. Это позволяет отнести такой напиток к функциональным продуктам с пробиотиками и свидетельствует о способности микроорганизмов используемой закваски *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris* адаптироваться и развиваться в растительной среде овсяного напитка.

Рис. 5. Моделирование оптимальных условий ферментации овсяного напитка молочнокислыми бактериями для максимального накопления молочной кислоты

Fig. 5. Modelling optimal conditions for the fermentation of oat drink with lactic acid bacteria for maximum accumulation of lactic acid

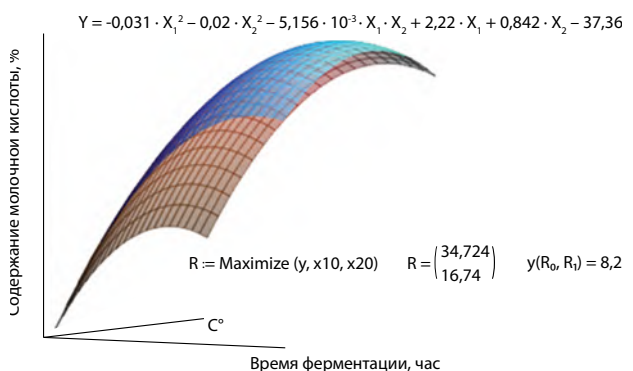


Таблица 2. Результаты органолептической оценки пробиотического напитка на овсяной основе

Table 2. Results of an organoleptic evaluation of an oat-based probiotic drink

Показатель качества	Характеристики показателей качества	
	исследуемый образец	норма по стандарту
Вкус и запах	Вкус приятно кисловатый, запах ароматный, характерный для овсяного молока	Свойственный вкусу и запаху используемого зернового сырья. Посторонние привкусы и запахи не допускаются. Допускается легкое ощущение мучности во вкусе
Цвет	Белый, с желтоватым оттенком, равномерный по всей массе	От белого до кремового с желтоватым либо зеленоватым оттенком или светло-серый в зависимости от вида зернового сырья
Консистенция и внешний вид	Непрозрачная, мутная, однородная жидкость. Без посторонних включений. Немного вязкая консистенция	Непрозрачная, мутная, однородная жидкость. Без посторонних включений. Допускается вязкая консистенция. Допускается наличие осадка, взвесей, хлопьев природного происхождения

Была проведена оценка органолептических показателей готового пробиотического растительного напитка как наиболее важных для конечного потребителя (табл. 2).

По органолептическим показателям отмечается полное соответствие стандарту. Напиток характеризуется

по внешнему виду однородностью и гомогенной структурой, без расслоений и образования осадка, цвет — приятный, со слабым желтоватым оттенком, вкус и запах — характерные для овсяного напитка, со слегка кисловатым привкусом, что свидетельствует о протекании процесса сквашивания растительного напитка молочнокислыми бактериями.

Выводы/Conclusion

Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность использования растительного напитка на овсяной основе для ферментации молочнокислыми бактериями *Lactococcus lactis subsp. Lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*.

В результате протекающих биотехнологических процессов происходит изменение титруемой и активной кислотности, увеличивается доля молочной кислоты, накапливается биомасса молочнокислых бактерий. Стимулирующее действие на эти процессы оказывает внесение рутин.

Количество пробиотических микроорганизмов в вырабатываемом образце напитка на растительной основе составляет $5,2 \times 10^7$, что позволяет отнести его к функциональным продуктам с пробиотиками.

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

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ 23-26-10063.

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant 23-26-10063.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *J. Food Sci. Technol.* 2016; 53(9): 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
- Yonghui Yu et al. Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chem X.* 2023; 19: 100859. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100859>
- Serikova A. et al. Development of technology of fermented milk drink with immune stimulating properties. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 2018; 9(4): 495–500. EDN: XRWRFRR
- Temerbayeva M. et al. Development of yoghurt from combination of goat and cow milk. *Annual Research & Review in Biology.* 2018; 23(6): 1–7. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2018/38800>
- Kobelev K.V., Kharlamova L.N., Lazareva I.V., Sinelnikova M.Yu., Matveeva D.Yu. Овес — перспективный материал для производства растительного молока. *Пищевая промышленность.* 2022; (7): 89–92. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.7.7.016>
- Sinelnikova M.Yu., Matveeva D.Yu., Kharlamova L.N., Kobelev K.V. Влияние технологических режимов изготовления овсяного напитка на качество готового продукта. *Пищевая промышленность.* 2022; (12): 79–81. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.016>
- Lehtinen P., Laakso S. Role of lipid reactions in quality of oat products. *Agric. Food Sci.* 2004; 13(1–2): 88–99. <https://doi.org/10.2137/1239099041838085>
- Lyly M. et al. Influence of oat beta-glucan preparations on the preception of mouthfeel and on rheological properties in beverage prototypes. *Cereal Chemistry.* 2003; 80(5): 536–541. <https://doi.org/10.1094/cchem.2003.80.5.536>
- Lehtinen P., Kiiliäinen K., Lehtomäki I., Laakso S. Effect of heat treatment on lipid stability in processed oats. *Journal of Cereal Science.* 2003; 37(2): 215–221. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0496>
- Angelov A., Yaneva-Marinova T., Gotcheva V. Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *J. Food Sci. Technol.* 2018; 55(7): 2351–2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
- Masia C., Jensen P.E., Buldo P. Effect of lactobacillus rhamnosus on physicochemical properties of fermented plant-based raw materials. *Foods.* 2021; 10(573): 1–31. <https://doi.org/10.3390/foods10030573>
- Ahsan S. et al. Functional exploration of bioactive moieties of fermented and non-fermented soy milk with reference to nutritional attributes. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences.* 2020; 10(1): 145–149. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.1.145-149>

REFERENCES

- Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *J. Food Sci. Technol.* 2016; 53(9): 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
- Yonghui Yu et al. Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chem X.* 2023; 19: 100859. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100859>
- Serikova A. et al. Development of technology of fermented milk drink with immune stimulating properties. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 2018; 9(4): 495–500. EDN: XRWRFRR
- Temerbayeva M. et al. Development of yoghurt from combination of goat and cow milk. *Annual Research & Review in Biology.* 2018; 23(6): 1–7. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2018/38800>
- Kobelev K.V., Kharlamova L.N., Lazareva I.V., Sinelnikova M.Yu., Matveeva D.Yu. Oats are a promising material for the production of vegetable milk. 2022; (7): 89–92 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.7.7.016>
- Sinelnikova M.Yu., Matveeva D.Yu., Kharlamova L.N., Kobelev K.V. Influence of technological regimes for the manufacture of oatmeal drink on the quality of the finished product. *Food industry.* 2018; 9(1): 291–295 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.016>
- Lehtinen P., Laakso S. Role of lipid reactions in quality of oat products. *Agric. Food Sci.* 2004; 13(1–2): 88–99. <https://doi.org/10.2137/1239099041838085>
- Lyly M. et al. Influence of oat beta-glucan preparations on the preception of mouthfeel and on rheological properties in beverage prototypes. *Cereal Chemistry.* 2003; 80(5): 536–541. <https://doi.org/10.1094/cchem.2003.80.5.536>
- Lehtinen P., Kiiliäinen K., Lehtomäki I., Laakso S. Effect of heat treatment on lipid stability in processed oats. *Journal of Cereal Science.* 2003; 37(2): 215–221. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0496>
- Angelov A., Yaneva-Marinova T., Gotcheva V. Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *J. Food Sci. Technol.* 2018; 55(7): 2351–2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
- Masia C., Jensen P.E., Buldo P. Effect of lactobacillus rhamnosus on physicochemical properties of fermented plant-based raw materials. *Foods.* 2021; 10(573): 1–31. <https://doi.org/10.3390/foods10030573>
- Ahsan S. et al. Functional exploration of bioactive moieties of fermented and non-fermented soy milk with reference to nutritional attributes. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences.* 2020; 10(1): 145–149. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.1.145-149>

13. Temerbayeva M. *et al.* Technology of sour milk product for elderly nutrition. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(1): 291–295. EDN: XNJGKT
14. Loponen J., Laine P., Sontag-Strohm T., Salovaara H. Behaviour of oat globulins in lactic acid fermentation of oat bran. *Eur. Food Res. Technol.* 2007; 225(1): 105–110. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0387-9>
15. Gavrilova N. *et al.* Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019; 8(6): 642–648. EDN: PYDNOH
16. Зербай Ұ.Р., Аuezова Н.С., Калемшарив Б. Әсімдік сығындысымен дайындалатын сүтқышқылды өнім алу мүмкіншілігі. *М. Қозыбаев атындағы СҚУ Хабаршысы*. 2021; 1(50): 91–96. EDN: YXKLZY
17. Bocchi S. *et al.* The combined effect of fermentation of lactic acid bacteria and in vitro digestion on metabolomic and oligosaccharide profile of oat beverage. *Food Research International*. 2021; (142): 110216. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110216>
18. Kütt M.-L. *et al.* Starter culture growth dynamics and sensory properties of fermented oat drink. *Heliyon*. 2023; 9(5): e15627. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023>
19. Sidra-Tul-Muntaha *et al.* Safety assessment of milk and indigenous milk products from different areas of Faisalabad. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020; 9(6): 1197–1203. <https://doi.org/10.15414/JMBFS.2020.9.6.1197-1203>
20. Smolnikova F. *et al.* Developing milk-fruit drinks for school nutrition. *Journal of Natural Remedies*. 2021; 21(9–1): 72–77. EDN: FWCSHS
21. Кенийз Н.В., Варивода А.А., Ребезов М.Б. Разработка научно обоснованных подходов к проектированию специализированных пищевых продуктов для геродиетического питания. *Аграрная наука*. 2023; 377(12): 143–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-143-150>
22. Варивода А.А., Кенийз Н.В., Ребезов М.Б. Разработка научно обоснованных подходов к проектированию пищевых продуктов направленного действия для геродиетического питания. *Аграрная наука*. 2023; 369(4): 145–151. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
23. Gobetti M., De Angelis M., Corsetti A., Di Cagno R. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria. *Trends in Food Science & Technology*. 2005; 16(1–3): 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.013>
24. Peyer L.C., Zannini E., Arendt E.K. Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages. *Trends Food Sci. Technol.* 2016; (54): 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.009>
25. Messaoudi S. *et al.* Lactobacillus salivarius: Bacteriocin and probiotic activity. *Food Microbiology*. 2013; 36(2): 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.05.010>
26. Luana N. *et al.* Manufacture and characterization of a yogurt-like beverage made with oat flakes fermented by selected lactic acid bacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 2014; 185(18): 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.05.004>
27. Russo P. *et al.* Lactobacillus plantarum strains for multifunctional oat-based foods. *LWT-Food Science and Technology*. 2016; (68): 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.040>
13. Temerbayeva M. *et al.* Technology of sour milk product for elderly nutrition. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(1): 291–295. EDN: XNJGKT
14. Loponen J., Laine P., Sontag-Strohm T., Salovaara H. Behaviour of oat globulins in lactic acid fermentation of oat bran. *Eur. Food Res. Technol.* 2007; 225(1): 105–110. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0387-9>
15. Gavrilova N. *et al.* Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019; 8(6): 642–648. EDN: PYDNOH
16. Zerbay U.P., Auezova N.S., Kalemshariv B. Possibility of obtaining a fermented milk product prepared with a plant extract. *Vestnik of the North Kazakhstan University named after M. Kozybayev*. 2021; 1(50): 91–96 (in Kazakh). EDN: YXKLZY
17. Bocchi S. *et al.* The combined effect of fermentation of lactic acid bacteria and in vitro digestion on metabolomic and oligosaccharide profile of oat beverage. *Food Research International*. 2021; (142): 110216. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110216>
18. Kütt M.-L. *et al.* Starter culture growth dynamics and sensory properties of fermented oat drink. *Heliyon*. 2023; 9(5): e15627. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023>
19. Sidra-Tul-Muntaha *et al.* Safety assessment of milk and indigenous milk products from different areas of Faisalabad. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020; 9(6): 1197–1203. <https://doi.org/10.15414/JMBFS.2020.9.6.1197-1203>
20. Smolnikova F. *et al.* Developing milk-fruit drinks for school nutrition. *Journal of Natural Remedies*. 2021; 21(9–1): 72–77. EDN: FWCSHS
21. Keniyz N.V., Varivoda A.A., Rebezov M.B. Development of scientifically based approaches to the design of specialized food products for gerodietetic nutrition. *Agrarian science*. 2023; 377(12): 143–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-143-150>
22. Varivoda A.A., Keniyz N.V., Rebezov M.B. Development of evidence-based approaches to the design of targeted food products for gerodietary nutrition. *Agrarian science*. 2023; (4): 145–151 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
23. Gobetti M., De Angelis M., Corsetti A., Di Cagno R. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria. *Trends in Food Science & Technology*. 2005; 16(1–3): 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.013>
24. Peyer L.C., Zannini E., Arendt E.K. Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages. *Trends Food Sci. Technol.* 2016; (54): 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.009>
25. Messaoudi S. *et al.* Lactobacillus salivarius: Bacteriocin and probiotic activity. *Food Microbiology*. 2013; 36(2): 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.05.010>
26. Luana N. *et al.* Manufacture and characterization of a yogurt-like beverage made with oat flakes fermented by selected lactic acid bacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 2014; 185(18): 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.05.004>
27. Russo P. *et al.* Lactobacillus plantarum strains for multifunctional oat-based foods. *LWT-Food Science and Technology*. 2016; (68): 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.040>

ОБ АВТОРАХ

Наталья Викторовна Попова

кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий
nvpopova@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4309-891X>

Ирина Валерьевна Калинина

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пищевых и биотехнологий
kalininaiv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

Андрей Константинович Васильев

сотрудник управления научной и инновационной деятельности
mbz2018vak72@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8481-7656>

Ксения Сергеевна Каменева

сотрудник управления научной и инновационной деятельности
ksyushenka.kameneva@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8705-3222>

Южно-Уральский государственный университет,
пр. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Natalia Viktorovna Popova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Food and Biotechnology
nvpopova@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4309-891X>

Irina Valerievna Kalinina

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor
of the Department of Food and Biotechnology
kalininaiv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

Andrey Konstantinovich Vasiliev

Employee of the Department of Scientific
and Innovative Activity
mbz2018vak72@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8481-7656>

Ksenia Sergeevna Kameneva

Employee of the Department of Scientific
and Innovative Activity
ksyushenka.kameneva@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8705-3222>

South Ural State University,
76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia