

Н.В. Попова ✉

К.С. Каменева

А.К. Васильев

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

✉ nvpopova@susu.ru

Поступила в редакцию:
15.02.2024

Одобрена после рецензирования:
14.05.2024

Принята к публикации:
29.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-132-138

Natalia V. Popova ✉

Ksenia S. Kameneva

Andrey K. Vasiliev

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

✉ nvpopova@susu.ru

Received by the editorial office:
15.02.2024

Accepted in revised:
14.05.2024

Accepted for publication:
29.05.2024

Интенсификация процесса ферментации напитка на растительной основе комплексной закваской «Бифидо плюс»

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Постоянное развитие концепции оптимального здорового питания способствует увеличению спроса на разработку и производство обогащенных и функциональных пищевых продуктов. В качестве пищевой системы для получения пробиотического продукта предлагается использовать напитки на растительной основе, которые являются источником целого ряда нутриентов. Так как растительная среда является нетипичной для развития молочнокислых бактерий, то изучение различных приемов для активизации молочнокислого брожения в такой среде является актуальным. *Цель данных исследований* — оценка способов интенсификации процесса ферментации растительного напитка комплексной закваской «Бифидо плюс».

Методы. Методы исследования включают в себя оценку прироста биомассы микроорганизмов, накопления молочной кислоты и экзополисахаридов, изменения кислотности и вязкости пробиотического напитка.

Результаты. Была установлена возможность адаптации комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде, причем ультразвуковое воздействие и внесение инулина способствуют активизации процесса ферментации. В частности, внесение инулина сокращает лаг-фазу на $0,85 \pm 0,05$ часа, воздействие УЗ-обработки увеличивает ее на $2,1 \pm 0,2$ часа. При этом увеличение в последующем объемов накопления биомассы в образце пробиотического напитка, подвергнутого УЗ-воздействию, составило 60–313%, воздействию инулина — 28–44%. Введение инулина и воздействие ультразвука активизируют изменение титруемой кислотности в среднем на 3–15%, накопление молочной кислоты — на 38,7–68%, накопление экзополисахаридов — на 27,3–58,8% относительно контрольного образца. Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность использования ультразвука и инулина в качестве способов активизации процесса ферментации растительной среды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 23-26-10063.

Ключевые слова: растительные напитки, *Bifidobacterium*, пробиотический напиток, ферментация, овсяный напиток, прирост биомассы, накопление молочной кислоты, ультразвуковая обработка, пребиотик инулин

Для цитирования: Попова Н.В., Каменева К.С., Васильев А.К. Интенсификация процесса ферментации напитка на растительной основе комплексной закваской «Бифидо плюс». *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 132–138.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-132-138>

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

Intensification of the fermentation process of a plant-based drink with complex starter “Bifido Plus”

ABSTRACT

Relevance. Developing the concept of optimal healthy nutrition increases the demand for the development and production of fortified and functional food products. We propose to use plant-based drinks as a food system for obtaining a probiotic product, which is a source of a number of nutrients. Because the environment in plants isn't usually good for growing lactic acid bacteria, it's important to look into different ways to start lactic acid fermentation in these kinds of places.

The purpose of these studies is to evaluate ways to intensify the fermentation process of a vegetable drink with a complex starter culture “Bifido plus”.

Methods. Research methods include assessment of the increase in microbial biomass, accumulation of lactic acid and exopolysaccharides, and changes in acidity and viscosity of the probiotic drink.

Results. The possibility of adaptation of the starter “Bifido Plus” in a plant environment was established, and ultrasonic exposure and the addition of inulin promoted the activation of the fermentation process. In particular, the addition of inulin shortens the lag phase by 0.85 ± 0.05 hours, and exposure to ultrasound treatment increases it by 2.1 ± 0.2 hours. At the same time, the subsequent increase in the volume of biomass accumulation in the sample of the probiotic drink subjected to ultrasound exposure was 60–313% and 28–44% under the influence of inulin. The introduction of inulin and exposure to ultrasound also activate a change in titratable acidity, on average, by 3–15%, the accumulation of lactic acid by 38.7–68%, and the accumulation of exopolysaccharides by 27.3–58.8% relative to the control sample. So, the research results show that ultrasound and inulin can be used to start the fermentation process in plant media.

The research was supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 23-26-10063.

Key words: plant drinks, *Bifidobacterium*, probiotic drink, fermentation, oat drink, biomass growth, lactic acid accumulation, ultrasonic treatment, prebiotic inulin

For citation: Popova N.V., Kameneva K.S., Vasiliev A.K. Intensification of the fermentation process of a plant-based drink with complex starter “Bifido Plus”. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 132–138 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-132-138>

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

Введение/Introduction

Постоянное увеличение техногенной и антропогенной нагрузки на окружающую среду активно способствует снижению устойчивости человека к различным заболеваниям. Наряду с этим постоянные изменения в образе жизни и характере трудовой деятельности, структуре питания населения приводят к дисбалансу незаменимых нутриентов, дефициту витаминов, ряда макро- и микроэлементов, минорных биологически активных веществ пищи.

В связи с этим стала активно развиваться концепция оптимального здорового питания, направленного на максимальное удовлетворение индивидуальных потребностей организма в биологически активных соединениях и компонентах пищи, необходимых для нормального протекания физиологических процессов и поддержания здоровья [1, 2]. Соответственно, резко возрос спрос на разработку и производство функциональных и обогащенных незаменимыми факторами продуктов питания.

Продукты на безлактозной основе актуальны для людей с индивидуальными особенностями организма, в частности непереносимостью компонентов молока, либо в связи с личными пищевыми предпочтениями. Постоянно увеличивающийся спрос на такие напитки ведет к расширению рынка аналогов или заменителей молочных продуктов, и процент увеличения предложения, по прогнозам аналитиков, составит 12,5% в период с 2021 по 2028 год. Напитки на основе злаков обладают огромным потенциалом в качестве носителей функциональных соединений, таких как антиоксиданты, пищевые волокна, минералы, пребиотики и витамины [3].

Полезность овса, определяемая его химическим составом, с давних пор сделала его постоянным продуктом во многих рационах питания. В очищенном овсяном зерне содержится 40–50% крахмала, до 14% белка, 4–6% жира. Мировое производство зерна овса, по данным Продовольственной сельскохозяйственной организации ООН, составило в 2021 г. около 22,5 млн т с площади 9,7 млн га. Основные производители овса в мире (млн т): Россия — 3,8, Канада — 2,8, Австралия — 1,9, Польша — 1,6, Испания — 1,2. Урожайность в России — 17,2 ц/га (в среднем) с площади 2,19 млн га².

Овсяный напиток — это водный экстракт овса, который обладает мягким молочным вкусом, содержит большое количество жирных кислот, белков, минералов, витаминов, пищевых волокон и различных микроэлементов, а также обеспечивает ряд преимуществ для здоровья, поскольку снижает уровень сахара в крови. Таким образом, овес является достойной альтернативой традиционному молоку [4, 5].

Однако у растительного напитка есть определенные недостатки, в частности фитиновая кислота, присутствующая в заменителях молока из овса, связывается с необходимыми минералами и микроэлементами, создавая нерастворимые комплексы, препятствующие их усвоению. Сапонины препятствуют усвоению белка путем образования нерастворимых комплексов «сапонин — белок», устойчивых к перевариванию. Ингибиторы протеаз в растительном напитке также мешают перевариванию белка и крахмала, инактивируя пищеварительные ферменты. Эти антипитательные вещества препятствуют усвоению не только минеральных веществ, но и витаминов. Устранению указанных недостатков может

способствовать ферментация, увеличивающая содержание белка растущими пищевыми микроорганизмами. Она улучшает растворимость растительного белка, аминокислотный состав и доступность.

Кроме того, злаки содержат микроорганизмы, способствующие самопроизвольному брожению. Если растительный напиток производится из этого сырья, повышается вероятность его загрязнения с препятствием развитию полезной микрофлоры. Таким образом, производство напитков из растительного сырья связано с высокой микробной контаминацией. В этом контексте пробиотическая ферментация, способствуя увеличению количества живых пробиотиков, обеспечивает тем самым микробиологическую безопасность напитка [6, 7].

Необходимостью при выработке ферментированных продуктов остается выбор закваски, которая в немалой степени определяет активность ферментации и показатели качества готового продукта. Отобранные закваски посредством своих сложных ферментных систем генерируют летучие и нелетучие метаболиты, которые придают особые вкусовые качества ферментированным продуктам на основе злаков.

Так как растительная среда является нетипичной для развития молочнокислых бактерий, то изучение различных приемов для активизации молочнокислого брожения в такой среде, улучшения адаптации закваски является актуальным.

В качестве способов интенсификации процессов ферментации в растительной среде предлагаются введение пребиотика инулин и совместная УЗ-обработка среды и комплексной закваски «Бифидо плюс» на этапе заквашивания.

Инулин — это полисахарид растительного происхождения, хорошо растворяется в воде, не переваривается пищеварительными ферментами, является наиболее широко распространенным природным запасным веществом после крахмала. Данный полисахарид не влияет на уровень глюкозы в крови, поэтому может без опасения использоваться в рационе людей, больных диабетом, его употребление может способствовать снижению уровня липопротеинов низкой плотности.

В качестве пребиотика инулин и его производные обладают свойствами увеличения содержания полезных бифидобактерий и подавления влияния вредных патогенных бактерий, применяются в пищевой промышленности для улучшения питательных и функциональных свойств продуктов [8, 9].

Существуют исследования, что некоторые физические факторы, в частности ультразвук, способны оказывать неспецифическое стимулирующее воздействие на живые организмы. К неспецифическим стимуляторам относятся незнакомые организму воздействия, на которые у организма нет стандартной программы реагирования и которые воспринимаются как сигнал возможного неблагоприятного развития событий. В качестве ответной реакции биологическая система, активизируя защитные механизмы, стремится повысить свою продуктивность. Ультразвук низкой интенсивности за счет возникновения кавитации может интенсифицировать трансмембранный перенос, вызывая изменения в структуре клеточных мембран и увеличивая их проницаемость, а также снижая диффузионные ограничения за счет акустических микропотоков вблизи клеточных поверхностей [10].

¹ Г.А. Баталова. Овес // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. — URL: <https://bigenc.ru/c/ovios-25c0ad/?v=7883022> (дата публикации: 09.03.2023, дата обновления: 27.07.2023).

В связи с этим возможно, что возникающее при этом нарушение состава внутриклеточной среды и микроокружения клетки отразится на скорости биохимических реакций с участием закваски молочнокислых бактерий, весьма чувствительных к содержанию в среде тех или иных ионов, продуктов ферментативных реакций и некоторых других веществ.

Исследованиями Thi My Phuc Nguyen, Ljubić Anamarija, Jurić Anita также доказано влияние ультразвука на углеводный обмен при ферментации молока *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium animalis subsp. Bifidobacterium lactis* и *Bifidobacterium longum*. Обработка ультразвуком ускоряла гидролиз лактозы и реакцию трансгалактозилирования в ферментированном молоке. Ультразвук стимулировал выработку основных органических кислот на более поздней стадии ферментации молока и в то же время снижал соотношение уксусной кислоты к молочной [11, 12].

Эти факты позволяют предложить использование ультразвука в качестве интенсифицирующего фактора при ферментации растительного напитка комплексной закваской бифидобактерий.

Проблема многих растительных напитков заключается и в нестабильности их структуры, предрасположенности их к расслоению. Аналитический обзор показал, что молочнокислые микроорганизмы являются источником получения экзополисахаридов, которые используются в качестве натуральных и безопасных загустителей, эмульгаторов или стабилизаторов для улучшения текстуры пищевых продуктов.

Авторами [13] доказан положительный эффект ферментации молочнокислой закваски с образованием органических кислот и экзополисахаридов, а также установлено, что экзополисахариды влияют на вязкоупругие свойства теста и благотворно влияют на его текстуру и срок хранения. Соответственно, в среде овсяного напитка образующиеся экзополисахариды могут положительно влиять на его структурные характеристики.

Цель исследований — оценка ультразвукового воздействия и введения пребиотика инулин на интенсивность процесса метаболизма комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде овсяного напитка.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Исследования проводились на базе научной лаборатории ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)».

В качестве растительной основы был взят напиток овсяный «Овсяша» (ООО «Южная соковая компания», г. Белореченск, Россия). Состав образца: вода питьевая, овсяная мука, рапсовое масло, витаминно-минеральный премикс (витамин D_2 , витамин B_2 (рибофлавин), кальций (трикальций фосфат), кальция карбонат), соль йодированная.

В качестве пробиотический культуры использовали закваску бактериальную «Бифидо плюс» (ТУ 10.89.19-019-27980966-2022, ООО «БакЗдрав», г. Москва), включающую в себя *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus*, *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bidum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium longum ssp. longum*, *Bifidobacterium longum subsp. infantis*, *Bifidobacterium animalis ssp. lactis*.

Комбинация штаммов *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus* отвечает за образование экзополисахаридов, которые играют роль натуральных природных загустителей и стабилизаторов консистенции в технологии

производства кисломолочных продуктов, а также выполняют функции саморегуляторов процессов роста и размножения микроорганизмов. В составе закваски содержатся 6 штаммов бифидобактерий, которые находятся в симбиотическом взаимодействии и многократно усиливают эффективность готового продукта: *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bidum* обладают высокой антагонистичностью к ряду патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, включая стафилококки, кишечную палочку, шигеллы, дрожжеподобным грибам; *Bifidobacterium breve* поддерживает функции пищеварительной системы, при производстве пищевого продукта ферментирует олигосахариды и синтезирует уксусную и молочную кислоты, которые способны расщеплять трудноперевариваемые растительные волокна; *Bifidobacterium longum* способствует укреплению иммунитета, проявляет антагонистичность к болезнетворным бактериям; *Bifidobacterium animalis* синтезирует витамины B_1 , B_2 , B_6 , B_{12} , фолиевую кислоту, витамин К, является «поставщиком» незаменимых аминокислот, в том числе триптофана, способствующего биосинтезу серотонина.

Адаптация и интенсивное развитие указанных штаммов молочнокислых бактерий в овсяном напитке будут способствовать его ферментации и выработке полноценного в пищевом отношении продукта, что и определяет актуальность и значимость проводимых исследований.

Ультразвуковая обработка применялась на этапе введения закваски в растительную среду. Для обработки использовали ультразвуковой низкочастотный генератор «Волна-Л» (модель УЗТА-0,63/22-ОЛ) с рабочим элементом погружного типа. Воздействие осуществлялось низкочастотным ультразвуком: частота — $22 \pm 1,65$ кГц, интенсивность — не менее 10 Вт/см². Режим обработки — мощность 325 Вт в течение 3 мин. Для ограничения нагревания среды при УЗ-воздействии емкость с растительным напитком помещалась в водяную баню, при этом температурный интервал воздействия не превышал 35 ± 2 °С, что находится в оптимальном для бифидобактерий.

Инулин (ООО «ФармМикс», г. Нижний Новгород) вносили в количестве 5 г / 150 мл растительного молока. Сбраживание осуществлялось согласно рекомендации изготовителя закваски — 3 г / 1 л, температурный интервал — 35–37 °С.

Оценку процесса ферментации осуществляли по накоплению биомассы, количеству пробиотических микроорганизмов, результатам оценки титруемой кислотности, накоплению молочной кислоты, доле экзополисахаридов (ЭПС), вязкости продукта. В качестве способов активизации процесса ферментации использовали УЗ-воздействие и введение пребиотика в сквашиваемую среду.

Накопление молочнокислых бактерий в растительной среде на первом этапе устанавливали с помощью экспресс-теста «Петритест» (НПО «Альтернатива», Россия). Прирост биомассы микроорганизмов оценивали с использованием пробирочного биореактора RTS-1С (изготовитель BioSan, Латвия). Программное обеспечение биореактора BioSan выстраивало графически ферментативную кинетику процесса, основанную на определении интенсивности светорассеяния. В каждой контролируемой точке прибор фиксировал значение прироста биомассы микроорганизмов.

Титруемую кислотность определяли методом нейтрализации кислых солей, белков, свободных кислот и

других кислых соединений раствором щелочи в присутствии индикатора фенолфталеин, активную кислотность — методом измерения разности потенциалов между измерительным электродом и электродом сравнения, погруженными в пробу ферментированного растительного напитка.

Содержание молочной кислоты определяли спектрофотометрически по методике, указанной в патенте 2639245C1², которая заключается в добавлении исследуемого раствора к раствору хлорида железа трехвалентного, взятого в концентрации 0,2%, и последующим измерением оптической плотности полученного раствора при длине волны 390 нм. Количественно концентрация молочной кислоты устанавливалась по калибровочному графику.

Массовую долю ЭПС оценивали модифицированным сернокислотным методом. В основе метода — цветная реакция моносахаридов с фенолом в присутствии концентрированной серной кислоты [14]. Вязкость пробиотических напитков на растительной основе определялась с помощью вибрационного анализатора вязкости SV AND (изготовитель A&D Company, Япония) за счет погружаемого зонда в исследуемую среду.

Определение и подсчет пробиотических микроорганизмов состоят в высеве 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 в последующем определении их культурально-морфологических свойств и подсчете количественного содержания в продукте (по методике ГОСТ Р 56139³). Общая достоверная вероятность результатов исследования — 0,95.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе оценки провели экспресс-тест на наличие молочнокислых бактерий в среде растительного напитка.

При внесении в пробирку с жидкостью теста (рис. 1а) исследуемого раствора бактериальный рост способствовал изменению его окраски, в связи с чем результат (рис. 1б) интерпретировался как положительный. Лактобактерии в жидкости присутствовали.

При благоприятном протекании процесса адаптации в растительной среде должно происходить активное накопление биомассы микроорганизмов. Результаты оценки данного показателя (рис. 2, 3) свидетельствуют о влиянии условий развития микроорганизмов на кривую роста бактериальной культуры.

На первой стадии (в лаг-фазе) культура адаптируется к новой среде обитания. Активируются ферментные системы, возрастает количество нуклеиновых кислот, клетка готовится к интенсивному синтезу белков и других соединений. Клетки не размножаются,

Рис. 1. Результаты экспресс-теста образцов пробиотического напитка на наличие в составе молочнокислых бактерий

Fig. 1. Results of a rapid test of probiotic drink samples for the presence of lactic acid bacteria

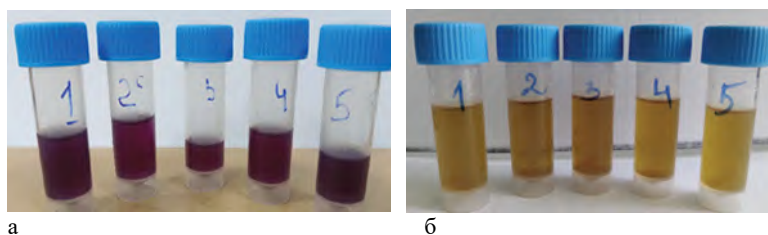
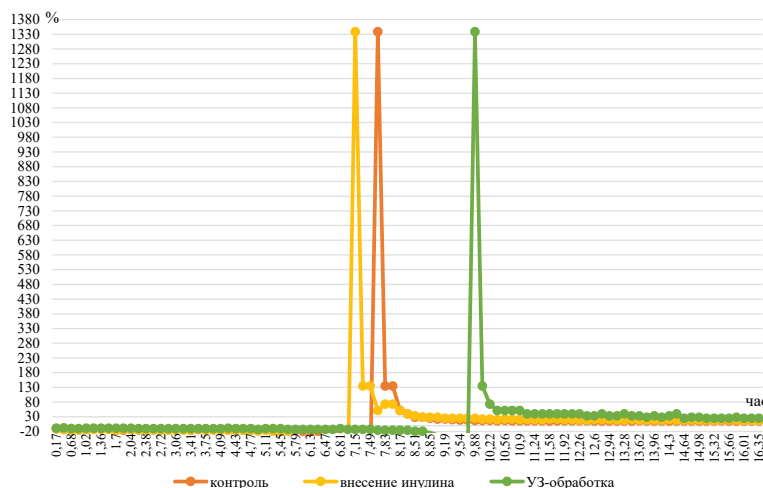


Рис. 2. Временные пределы начала экспоненциальной фазы развития бифидобактерий в растительной среде

Fig. 2. Time limits for the beginning of the exponential phase of development of bifidobacteria in the plant environment



концентрация живых клеток постоянна и равна количеству внесенных клеток.

В длительности лаг-фазы устанавливается разница в зависимости от условий ферментации, внесение инулина способствует ее сокращению на $0,85 \pm 0,05$ ч., воздействие УЗ-обработки увеличивает лаг-фазу на $2,1 \pm 0,2$ ч. Затем во всех образцах наступает непродолжительная фаза ускорения роста. Эта фаза характеризуется началом деления клеток, увеличением общей массы и постоянным увеличением скорости роста культуры.

При выравнивании процессов жизнедеятельности микроорганизмов в стационарной фазе увеличение объемов накопления биомассы в образце пробиотического напитка, подвергнутого УЗ-воздействию, относительно контрольного образца составляет 60–313% на разных временных этапах. Воздействие инулина дает положительную динамику, доля увеличения объемов накопления биомассы в таком образце пробиотического напитка составляет 28–44% относительно контрольного образца (рис. 3).

Данные результаты согласовываются с исследованиями Д.А. Дурникина, М.М. Силантьевой [15], доказывающими возможность интенсификации процесса накопления биомассы бактерий (продуцентов молочной кислоты) обработкой ультразвуком.

Последующая оценка титруемой кислотности пробиотических напитков и содержания в них молочной кислоты позволяет отметить возможность активизации сквашивания растительной среды введением инулина и

² Патент № 2639245C1 РФ МПК (51) G01N 33/00 (2006.01). Способ спектрофотометрического определения молочной кислоты.

³ ГОСТ Р 56139-2014 Продукты пищевые функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов.

Рис. 3. Объемы накопления биомассы в растительной среде при разных условиях

Fig. 3. Volumes of biomass accumulation in the plant environment under different conditions

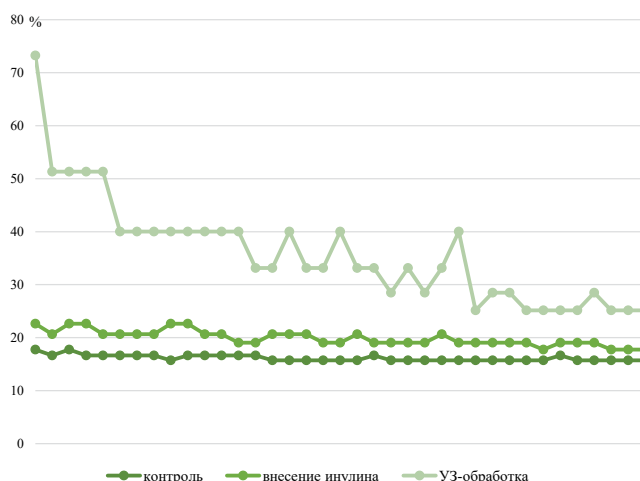
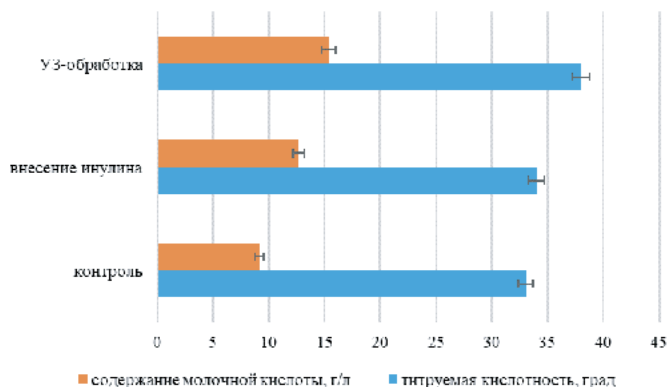


Рис. 4. Результаты оценки титруемой кислотности и содержания молочной кислоты в пробиотических напитках

Fig. 4. Results of assessing titratable acidity and lactic acid content in probiotic drinks



воздействием ультразвука, интенсификация биохимических процессов по титруемой кислотности составляет от 3 до 15%, по накоплению молочной кислоты — от 38,7 до 68%.

Приведенные результаты характеризуют активное развитие комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде овсяного напитка.

При определении и подсчете пробиотических микроорганизмов было установлено, что все исследуемые образцы можно отнести к функциональным продуктам с пробиотиками. В связи с тем, что содержание пробиотических микроорганизмов в них находилось в пределах $5,2 \times 10^7$.

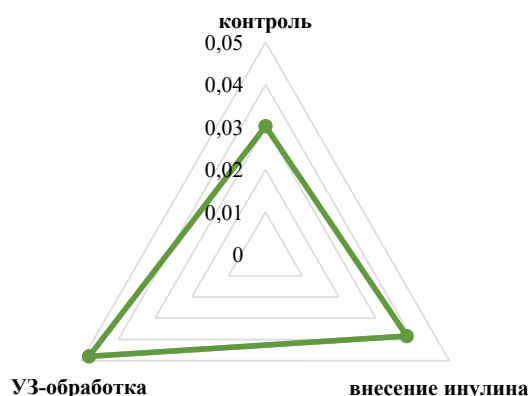
Оценка содержания ЭПС в исследуемых образцах пробиотических напитков также показала зависимость их накопления от дополнительных способов воздействия на штаммы *Streptococcus thermophilus* и *Bifidobacterium* при заквашивании (рис. 5).

Внесение инулина активизирует выработку экзополисахаридов на 27,3%, УЗ-обработка — на 58,8% относительно контрольного образца.

Микроорганизмы синтезируют широкий спектр углеводов, таких как накопительные полимеры (гликогены), расположенные в цитоплазме, или структурные полимеры (гликаны), которые образуют часть микробной оболочки. Микробные полисахариды можно разделить на три категории, состоящие из структурных,

Рис. 5. Результаты оценки доли ЭПС в среде растительного напитка при разных условиях

Fig. 5. Results of assessing the proportion of EPS in the environment of a plant drink under different conditions



внутриклеточных и внеклеточных полисахаридов (также известных как экзополисахариды — ЭПС).

ЭПС представляют собой высокомолекулярные биополимеры, синтезируемые внеклеточно или внутри клеток после секреции во внеклеточную среду без взаимодействия с клеточными мембранами [16]. Исследованиями доказано, что бактериальные ЭПС обладают потенциалом защиты бактериальных клеток от неблагоприятных условий окружающей среды, включая высыхание, осмотический стресс и экстремальный уровень pH. ЭПС могут способствовать колонизации клеток в различных средах посредством адгезии поверхностей, образования биопленки и агрегации клеток. Некоторые штаммы бифидобактерий способны синтезировать и высвобождать ЭПС в окружающую среду. Такие штаммы можно легко обнаружить после прямого микроскопического наблюдения за колониями, растущими на поверхности культуральной среды.

Помимо присущим ЭПС функциональным характеристикам, таким как антиоксидантная, противоопухолевая, иммуномодулирующая, антибактериальная, гипогликемическая, гипотензивная, снижающая уровень холестерина активность и способность способствовать колонизации пробиотиков в кишечнике хозяина [17, 18], полимеры помогают улучшить текстуру, вкус во рту и вязкость ферментированного молока, а также являются эффективными заменителями жира, предотвращая синерезис или отделение сыворотки.

Факт положительного влияния увеличивающегося количества ЭПС в продукте на консистенцию готового продукта подтверждается результатами оценки вязкости образцов. Относительно контрольного образца с вязкостью 3,1 мПа·с обработка ультразвуком сквашиваемой среды увеличивала вязкость на 45,2%, внесение пребиотика инулин — на 25,8%.

В связи с этим активизация выработки ЭПС является положительным фактором развития комплексной закваски «Бифидо плюс» в растительной среде овсяного напитка и может способствовать дальнейшим исследованиям по моделированию процесса их накопления в связи с возможностью таким образом повысить стабильность пробиотических напитков на растительной основе, что в настоящее время очень актуально.

Выводы/Conclusion

Таким образом, результаты исследований подтверждают возможность использования растительного напитка на овсяной основе для ферментации комплексной закваской «Бифидо плюс», включающей в себя штаммы бактерий *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus*, *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bidum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium longum ssp. longum*, *Bifidobacterium longum subsp. infantis*, *Bifidobacterium animalis ssp. lactis*.

В результате протекающих биотехнологических процессов происходит изменение титруемой кислотности, увеличивается доля молочной кислоты, накапливается биомасса молочнокислых бактерий и ЭПС, что характеризует активную адаптацию молочнокислых бактерий в растительной среде. Стимулирующее действие на

биотехнологические процессы оказывают УЗ-обработка и внесение пребиотика инулин. В частности, внесение инулина сокращает лаг-фазу на $0,85 \pm 0,05$ ч., воздействие УЗ-обработки увеличивает ее на $2,1 \pm 0,2$ ч. При этом увеличение в последующем объемов накопления биомассы в образце пробиотического напитка, подвергнутого УЗ-воздействию, составило 60–313%, воздействию инулина — 28–44%. Введение инулина и воздействие ультразвука активизируют изменение титруемой кислотности на 3–15% (в среднем), накопление молочной кислоты — на 38,7–68%, накопление ЭПС — на 27,3–58,8% относительно контрольного образца.

В связи с этим введение в растительную систему пребиотика инулин и УЗ-обработки в качестве технологического этапа являются способами, перспективными для дальнейших исследований.

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

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 23-26-10063.

FUNDING

The article was financially supported by the grant of the Russian Science Foundation (RNF) 23-26-10063.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tutelyan V.A., Sukhanov B.P., Kochetkova A.A., Sheveleva S.A., Smirnova E.A. Russian regulations on nutraceuticals, functional foods, and foods for special dietary uses. Bagchi D. (ed.). Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World. 3rd Ed. Academic Press. 2019; 399–416. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816467-9.00026-5>
2. Jan T. et al. Diversity, distribution and role of probiotics for human health: Current research and future challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023; 53: 102889. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102889>
3. Patra M. et al. A comprehensive review on functional beverages from cereal grains-characterization of nutraceutical potential, processing technologies and product types. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16804. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16804>
4. Yu Y. et al. Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chemistry: X*. 2023; 19: 100859. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100859>
5. Angelov A., Yaneva-Marinova T., Gotcheva V. Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *Journal of Food Science and Technology*. 2018; 55(7): 2351–2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
6. Srikaeo K. Biotechnological Tools in the Production of Functional Cereal-Based Beverages. Grumezescu A.M., Holban A.M. (eds.). Biotechnological Progress and Beverage Consumption. Volume 19: The Science of Beverages. Academic Press. 2020; 149–193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816678-9.00005-9>
7. 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.e15627>
8. Sudesh, Maurya D.K., Jamdar S.N. Gamma-irradiation of inulin improves its biological functionality and feasibility as a functional ingredient in synbiotic food. *Food Chemistry*. 2023; 408: 135217. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135217>
9. Kheto A., Bist Y., Awana A., Kaur S., Kumar Y., Sehrawat R. Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*. 2023; 3: 100443. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>
10. Songchao Zhou, Wenjuan Chen, Kai Fan. Recent advances in combined ultrasound and microwave treatment for improving food processing efficiency and quality: A review. *Food Bioscience*. 2024; 58: 103683. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103683>
11. Ljubić A., Jurić A., Lisak Jakopović K. Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na fermentaciju mlijeka bifidobakterijama. *Mljekarstvo*. 2015; 65(2): 71–80. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2015.0201>
12. Nguyen Thi My Phuc. High intensity ultrasound aided Milk Fermentation by Bifidobacteria. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Department of Chemistry, National University of Singapore. 2011; 191.
13. Ferrari M. et al. Efficient isolation of membrane-associated exopolysaccharides of four commercial bifidobacterial strains. *Carbohydrate Polymers*. 2022; 278: 118913. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118913>
14. Евстигнеев Э.И. Определение полисахаридов в растительном сырье и препаратах лигнина. *Химия растительного сырья*. 2016; (2): 5–11. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021179>

REFERENCES

1. Tutelyan V.A., Sukhanov B.P., Kochetkova A.A., Sheveleva S.A., Smirnova E.A. Russian regulations on nutraceuticals, functional foods, and foods for special dietary uses. Bagchi D. (ed.). Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World. 3rd Ed. Academic Press. 2019; 399–416. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816467-9.00026-5>
2. Jan T. et al. Diversity, distribution and role of probiotics for human health: Current research and future challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023; 53: 102889. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102889>
3. Patra M. et al. A comprehensive review on functional beverages from cereal grains-characterization of nutraceutical potential, processing technologies and product types. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16804. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16804>
4. Yu Y. et al. Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chemistry: X*. 2023; 19: 100859. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100859>
5. Angelov A., Yaneva-Marinova T., Gotcheva V. Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *Journal of Food Science and Technology*. 2018; 55(7): 2351–2360. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
6. Srikaeo K. Biotechnological Tools in the Production of Functional Cereal-Based Beverages. Grumezescu A.M., Holban A.M. (eds.). Biotechnological Progress and Beverage Consumption. Volume 19: The Science of Beverages. Academic Press. 2020; 149–193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816678-9.00005-9>
7. 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.e15627>
8. Sudesh, Maurya D.K., Jamdar S.N. Gamma-irradiation of inulin improves its biological functionality and feasibility as a functional ingredient in synbiotic food. *Food Chemistry*. 2023; 408: 135217. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135217>
9. Kheto A., Bist Y., Awana A., Kaur S., Kumar Y., Sehrawat R. Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*. 2023; 3: 100443. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>
10. Songchao Zhou, Wenjuan Chen, Kai Fan. Recent advances in combined ultrasound and microwave treatment for improving food processing efficiency and quality: A review. *Food Bioscience*. 2024; 58: 103683. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103683>
11. Ljubić A., Jurić A., Lisak Jakopović K. Effect of high intensity ultrasound on the milk fermentation by bifidobacteria. *Mljekarstvo*. 2015; 65(2): 71–80 (in Croatian). <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2015.0201>
12. Nguyen Thi My Phuc. High intensity ultrasound aided Milk Fermentation by Bifidobacteria. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Department of Chemistry, National University of Singapore. 2011; 191.
13. Ferrari M. et al. Efficient isolation of membrane-associated exopolysaccharides of four commercial bifidobacterial strains. *Carbohydrate Polymers*. 2022; 278: 118913. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118913>
14. Evstigneev E.I. Quantification of polysaccharides in vegetable raw materials and lignin preparations. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2016; (2): 5–11 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021179>

15. Дурникин Д.А., Силантьева М.М., Ерещенко О.В. Стимуляция ультразвуком накопления биомассы молочнокислых и пропионовокислых бактерий при глубинном культивировании. *Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького*. 2016; 6(2): 287–293. <https://doi.org/10.15421/201659>

16. Chen Z., Ni D., Zhang W., Stressler T., Mu W. Lactic acid bacteria-derived α -glucans: From enzymatic synthesis to miscellaneous applications. *Biotechnology Advances*. 2021; 47: 107708. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107708>

17. Zhang J., Xiao Y., Wang H., Zhang H., Chen W., Lu W. Lactic acid bacteria-derived exopolysaccharide: Formation, immunomodulatory ability, health effects, and structure-function relationship. *Microbiological Research*. 2023; 274: 127432. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127432>

18. Amiri S., Mokarram R.R., Khiabani M.S., Bari M.R., Khaledabad M.A. Exopolysaccharides production by *Lactobacillus acidophilus* LA5 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12: Optimization of fermentation variables and characterization of structure and bioactivities. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019; 123: 752–765. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.084>

ОБ АВТОРАХ

Наталья Викторовна Попова

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

Ксения Сергеевна Каменева

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

Андрей Константинович Васильев

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

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

15. Durnikin D.A., Silantyeva M.M., Ereshchenko O.V. Ultrasound-enhanced cell production of lactic and propionic acid bacteria under submerged cultivation for industrial purposes. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelniitskiy Melitopol State Pedagogical University*. 2016; 6(2): 287–293 (in Russian). <https://doi.org/10.15421/201659>

16. Chen Z., Ni D., Zhang W., Stressler T., Mu W. Lactic acid bacteria-derived α -glucans: From enzymatic synthesis to miscellaneous applications. *Biotechnology Advances*. 2021; 47: 107708. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107708>

17. Zhang J., Xiao Y., Wang H., Zhang H., Chen W., Lu W. Lactic acid bacteria-derived exopolysaccharide: Formation, immunomodulatory ability, health effects, and structure-function relationship. *Microbiological Research*. 2023; 274: 127432. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127432>

18. Amiri S., Mokarram R.R., Khiabani M.S., Bari M.R., Khaledabad M.A. Exopolysaccharides production by *Lactobacillus acidophilus* LA5 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12: Optimization of fermentation variables and characterization of structure and bioactivities. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019; 123: 752–765. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.084>

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>

Ksenia Sergeevna Kameneva

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

Andrey Konstantinovich Vasiliev

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

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



Подпишитесь на Telegram канал ИД «Аграрная наука»



Ежедневно вы будете получать свежие новости АПК и сельского хозяйства, анонсы отраслевых событий, знакомиться с результатами научных исследований, репортажами и интервью.



Оформите подписку на информационные e-mail рассылки



Дважды в неделю на ваш e-mail ящик будут приходить уведомления о топовых событиях АПК, аналитика, прогнозы, приглашения на выставки и конференции.

При желании через наши рассылки вы можете познакомиться со своими товарами и услугами потенциальных клиентов.

Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777 67 67
(доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru