

УДК 635.655+637.181

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-149-156

Н.В. Яковченко ✉
М.А. АнцыпероваУниверситет ИТМО, Санкт-Петербург,
Россия

✉ nviakovchenko@itmo.ru

Поступила в редакцию:
20.11.2023Одобрена после рецензирования:
09.02.2024Принята к публикации:
26.02.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-149-156

Natalia V. Iakovchenko ✉
Maria A. Antsyperova

ITMO University, Saint- Petersburg, Russia

✉ nviakovchenko@itmo.ru

Received by the editorial office:
20.11.2023Accepted in revised:
26.02.2024Accepted for publication:
26.02.2024

Перспективы применения пробиотических микроорганизмов при производстве ферментированных продуктов на соевой основе

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Осведомленность потребителей об экологической нагрузке, которую несет производство молока, продолжает расти. Потребители ищут альтернативы, которые были бы более эколого-ориентированными и обладали бы высокой питательной ценностью. Спрос на растительные продукты повышается по разным причинам, а именно у 65% мирового населения снижена способность переваривать лактозу и 6% населения страдают аллергией на молочный белок. Согласно статистическим данным, 49% женщин и 36,6% мужчин имеют симптомы желудочно-кишечных расстройств. Соевые бобы являются одними из наиболее широко выращиваемых и потребляемых бобовых культур во всем мире. Таким образом, разработка новых ферментированных продуктов на растительной основе является особенно актуальным вопросом.

Методы. В качестве объекта исследования были выбраны соевая дисперсия и микроорганизмы *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Propionibacterium*. Определены показатели качества полученной соевой дисперсии. Исследован процесс кислотонакопления в процессе ферментации пробиотическими микроорганизмами. Получены данные о накоплении биомассы бактерий в процессе ферментации и изучено влияние использования выбранных заквасочных микроорганизмов на изменение антиоксидантных свойств образцов ферментированных дисперсий в процессе хранения.

Результаты. Соевая дисперсия является хорошим субстратом для производства ферментированных напитков с использованием *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Propionibacterium*. Наиболее активно процесс кислотонакопления происходит при использовании *L. bulgaricus* и *P. schermanii* KM-186 в течение 6 ч. Все выбранные штаммы хорошо адаптируются в растительной среде, но наибольший прирост биомассы происходит при ферментации *L. bulgaricus*, *B. longum* B379M и *B. bifidum*. Молочнокислые и пропионовокислые бактерии обеспечивают достаточно высокие и стабильные показатели антиоксидантной активности как на 1-й, так и на 6-й и 12-й день хранения.

Ключевые слова: соевое молоко, химический состав, антиоксидантная активность, ферментация, пробиотические бактерии

Для цитирования: Яковченко Н.В., Анцыперова М.А. Перспективы применения пробиотических микроорганизмов при производстве ферментированных продуктов на соевой основе. *Аграрная наука*. 2024; 380(3): 149–156.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-149-156>

© Яковченко Н.В., Анцыперова М.А.

Perspective of probiotic bacteria in the production of soy-based fermented products

ABSTRACT

Relevance. It is worth noting that consumers' awareness of the environmental burden that milk production carries continues to grow. Consumers are looking for alternatives that are more environmentally friendly and have high nutritional value. The demand for plant-based products is increasing for various reasons, namely, 65% of the world's population has a reduced ability to digest lactose and 6% of the population is allergic to milk protein. According to statistics, 49% of women and 36.6% of men experience symptoms of functional gastrointestinal disorders. Soybeans are one of the most widely grown and consumed legumes worldwide. Thus, the development of new plant-based fermented products is a particularly actual issue.

Methods. The objects of study were soybean dispersion and microorganisms *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* and *Propionibacterium*. The quality indicators of the resulting soy dispersion were determined. The process of acid accumulation during fermentation with probiotic microorganisms were studied. Data on the accumulation of bacterial biomass during the fermentation process were obtained and the effect of the use of selected starter microorganisms on the change in the antioxidant status of fermented dispersions during storage were investigated.

Results. Research results showed that soybean dispersion is a good substrate to produce fermented beverages using *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* and *Propionibacterium* microorganisms. The most rapid process occurs when *L. bulgaricus* and *P. schermanii* KM-186 are used and the fermentation lasted for 6 hours. All selected strains adapt well to the plant-based media, but the greatest increase in biomass occurs during fermentation with *L. bulgaricus*, *B. longum* B379M and *B. bifidum*. Lactic acid and propionic acid bacteria provide high and stable levels of antioxidant activity on both the 1st and 6th and 12th days of storage.

Key words: soy milk, chemical composition, antioxidant activity, fermentation, probiotic bacteria

For citation: Iakovchenko N.V., Antsyperova M.A. Perspective of probiotic bacteria in the production of soy-based fermented products. *Agrarian science*. 2024; 380(3): 149–156 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-149-156>

© Iakovchenko N.V., Antsyperova M.A.

Введение/Introduction

Продукты питания могут быть не только источником основных питательных веществ и энергии, но и позиционироваться как способ поддержания и улучшения здоровья и, кроме того, как способ профилактики и коррекции определенных негативных явлений в организме [1–3].

В условиях роста населения, перехода на новые рационы питания и изменения климата содействие полноценному питанию и развитию здоровых и устойчивых продовольственных систем является главной задачей нашего времени [4–6].

Взаимосвязь между едой и здоровьем изучается на протяжении многих лет, поэтому разработка продуктов, способствующих укреплению здоровья и благополучия, является ключевым приоритетом исследований пищевой промышленности^{1, 2} [7–12].

В последние годы возросло значение продуктов, оказывающих направленное положительное влияние на здоровье и состояние организма. Такие продукты объединены в отдельный класс — функциональные продукты [13–17].

Несмотря на то что спрос на продукты для функционального питания неуклонно растет, поскольку люди становятся всё более осведомленными о значении диеты и питания, угроза стремительного роста и «омоложения» хронических заболеваний все еще остается актуальной, что связано с ухудшающейся экологической обстановкой и возрастом стрессов [18–21].

В связи с этим пищевая промышленность за последние несколько десятилетий быстро реагирует на изменение потребностей потребителей.

На сегодняшний день существует также актуальная проблема нарушения в работе микробиоты человека, что обусловлено нерациональным питанием и экзогенными факторами, сопряженными в первую очередь с образом жизни и индивидуальными привычками. Экологические проблемы, стресс, чрезмерное потребление быстроусвояемых углеводов, прием антибиотиков ведут к нарушению баланса микрофлоры кишечника. Микроорганизмы, населяющие кишечник человека, связаны с целым рядом различных заболеваний, включая воспалительные заболевания кишечника, болезни сердца, ожирение, диабет 2 типа, рак толстой кишки, рассеянный склероз, депрессию, аутизм, «болезни века», такие как болезнь Альцгеймера и Паркинсона, и инфекции, вызванные бактериями *Clostridium difficile* [22–24].

Основной путь для решения указанной проблемы — это нормализация собственной микрофлоры с помощью пробиотических бактерий. Несмотря на то что молочные продукты, в том числе ферментированные пробиотическими микроорганизмами являются наиболее популярными на рынке, стремительно растет спрос на продукты на растительной основе, которые будут удовлетворять потребности людей, страдающих непереносимостью лактозы или гиперхолестеринемией, гиперчувствительностью к белкам животного происхождения, а также связанными с религиозными и моральными убеждениями [25, 26].

В настоящее время продуктам растительного происхождения уделяется большое внимание из-за их потенциальной пользы для здоровья и большого внимания потребителей. Они могут быть источником легкодоступной здоровой и сбалансированной пищи для населения [27–29].

Кроме того, ожидается, что к 2024 году мировой рынок растительных продуктов (как альтернатива животному молоку) превысит 38 млрд долларов³ и 43,8 млрд к 2028 году⁴. Эксперты отмечают существенный рост продаж продуктов на растительной основе в последние годы, который обусловлен не только модными трендами, а также ростом осведомленности потребителей в сфере этики и экологии. При создании продуктов на растительной основе существует ряд проблем, связанных с органолептическими характеристиками продукта [30, 31], а именно невыраженный вкус без использования ароматизаторов и специфические посторонние вкус и послевкусие, свойственные растительным компонентам. Например, согласно сенсорному тестированию в исследованиях [32–35] коровье молоко неоднократно предпочитали растительному как взрослые, так и дети. Было отмечено, что вкус растительного молока является важнейшим фактором при выборе.

Среди различных видов растительного молока соевое молоко является одним из самых популярных на мировом рынке и, по оценкам экспертов, составляет 7,3 млрд долларов и продолжает развиваться. Соевые бобы (*Glycine max*) являются одними из наиболее широко выращиваемых и потребляемых бобовых культур во всем мире благодаря своему особому составу питательных веществ. Соя не только содержит высококачественный белок, включающий почти все незаменимые аминокислоты с высокой усвояемостью (92–100%), но также является богатым источником минералов, таких как кальций, калий, магний, железо, цинк и медь [36–38].

Ферментированное соевое молоко эффективно снижает симптомы сахарного диабета, кровяное давление, снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний, рака простаты, остеопороза и осложнений, связанных с онкологическими заболеваниями [39, 40]. Растительное сырье и продукты на его основе могут быть использованы как в качестве систем доставки пробиотических микроорганизмов в организм человека [41].

Кроме того, ферментация растительных дисперсий может позволить улучшить органолептические и функциональные показатели [42]. Ферментация пробиотическими микроорганизмами может улучшить растворимость растительного белка, а также аминокислотный состав и их доступность для организма [43].

Процесс ферментации позволяет увеличить содержание биологически активных веществ, в том числе антиоксидантов, защищая организм от окислительного стресса и связанных с ним заболеваний. Антиоксидантная активность растительного молока обусловлена фенольными соединениями, флавоноидами и витаминами A, E и C [44].

¹ Fischler F. et al. The role of research in global food and nutrition security-Discussion paper. EU-Scientific Steering Committee; 2015. <https://doi.org/10.2788/521449> file:///C:/Users/User/Downloads/the%20role%20of%20research%20in%20global%20food%20and%20nutrition-LBNA27123ENN.pdf

² <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3c128844-ae1c-4461-8090-c23f7b59c6c9/language-en>

³ Smith, S. (2019). The global non-dairy milk market is projected to reach revenues of more than \$38 billion by 2024, growing at CAGR of over 14% during 2018-2024. London: Reportbuyer. March 26, 2019 — URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-global-non-dairy-milk-market-is-projected-to-reach-revenues-of-more-than-38-billion-by-2024-300818978.html>.

⁴ Dairy alternatives market by source (soy, almond, coconut, oats, hemp), application (milk, yogurt, ice creams, cheese, creamers), distribution channel (retail, online stores, foodservice), formulation and region — Global forecast to 2028 — URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/dairy-alternatives-market-677.html>

Более того, переваривание полезных белков соевых бобов улучшается более чем на 40% за счет увеличения содержания незаменимых аминокислот во время ферментации [45]. Кроме того, ферментация молочнокислыми бактериями позволяет снизить содержание фитатов и ингибиторов трипсина [46].

Цель исследований — изучение возможности и оценка перспективности ферментации соевой дисперсии штаммами бактерий *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* и *Streptococcus* при использовании их в качестве монокультурных заквасок.

Материалы и методы исследования/

Materials and methods

При проведении исследований использовали соевые бобы сорта «Припять», ООО «АПК КОЛОС» (массовая доля белка 42–43%, массовая доля жира 20%, влажность 9%), заквасочные пробиотические культуры: *Lactobacillus acidophilus* 57S (Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Россия); *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (Yo100, Micromilk s.r.l., Италия); *Bifidobacterium bifidum* (LYOBAC-D, ALCE, Италия); *Bifidobacterium longum* B379M (ООО «Пропионикс», Россия); *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* KM-186 (ООО «Пропионикс», Россия); *Streptococcus thermophilus* (Danisco TA 40 LYO 50 DCU, Дания).

Для приготовления растительной дисперсии из сои, растительное сырье замачивали в соотношении 1:3 (сырье:вода) на 12 ч, затем воду сливали. Данная операция позволяет удалить ингибиторы ферментов [47], а также размягчить клеточные стенки растительного сырья для облегчения дальнейшей обработки.

Далее добавляли фильтрованную воду в соотношении 1:10 (сырье:вода) и измельчали с помощью электрического блендера (Philco®, модель PH900). Данное соотношение позволяет получить желаемую по вязкости, однородности и слабо выраженному привкусу и запаху сои жидкую консистенцию растительной дисперсии (вязкость растительной дисперсии при температуре 20 °C — 1,71 сП). Вязкость растительной дисперсии и молока коровьего определяли с помощью вискозиметра Гепплера (RHEOTEST Messgerate Medingen GmbH, Германия) с падающим шариком № 1. После измельчения, полученную смесь фильтровали через лавсановую ткань (плотность 140 г/м²).

Полученную растительную дисперсию подвергали термообработке в Термомиксе® (поставщик ООО «Грин

лайн», Россия) при скорости 2 при температуре 85 °C в течение 5 мин, чтобы обеспечить стабильность гомогенности системы и микробиологическую безопасность в соответствии с ТР ТС 021/2011⁵ (КМАФАНМ⁶, 1х10⁴ КОЕ/г; Дрожжи и плесени⁷, КОЕ/г, не обнаружены; БГКП⁸, не обнаружены в 1,0 г, в 0,1 г; *S. aureus*⁹, не обнаружены в 1,0 г; *B. cereus*¹⁰, не обнаружены в 0,1 г).

Показатели качества растительной дисперсии представлены в Таблице 1.

Для получения биомассы микроорганизмов, культивирование проводили на жидких стерильных питательных средах: MRS (HiMedia, Индия) для *L. acidophilus*, *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*, *B. bifidum*, *B. longum* и M17 (HiMedia, Индия) для *S. thermophilus* путем инокуляции чистой культуры в питательную среду и последующей инкубации в термостатах при 37°C в течение 48 часов [48]. *P. freudenreichii subsp. shermanii* культивировали на жидкой питательной среде с лактатом натрия и инкубировали при 30°C в течение 96 часов [49]. Для получения биомассы микроорганизмов, культивирование проводили на питательных средах в течение 48–96 ч. Полученную биомассу микроорганизмов концентрировали центрифугированием при 5000 об/мин. в течение 10 мин. Далее проводили отделение биомассы и добавление криопротектора.

После тепловой обработки соевую дисперсию охлаждали до температуры закаливания и вносили полученный концентрат пробиотических бактерий в количестве 0,1 % от объема растительной дисперсии. Ферментацию проводили до достижения pH 4.6–4.8.

Измерение активной кислотности проводили с помощью pH-метра HANNA HI98127, Hanna Instruments. Титруемую кислотность¹¹ измеряли методом титрования с индикатором фенолфталеином [50].

Содержание пропионовой кислоты было определено с использованием ВЭЖХ системы Shimadzu LC-20 Prominence в соответствии с методами [51, 52] с некоторыми модификациями. Ферментированные образцы в количестве 25 мл были смешаны с 0,001 М H₂SO₄ и отцентрифугированы при 10 000 об / мин в течение 15 мин. Полученные супернатанты фильтровали через нейлоновый фильтр. Объем образца для определения составил 10 мкл. Сухие вещества определяли гравиметрическим методом¹². Содержание клетчатки определяли согласно методу AACC¹³. Содержание углеводов определяли расчетным методом [53]. Содержание золы определяли согласно ГОСТ 13979.6-69¹⁴

Таблица 1. Показатели качества растительной дисперсии из сои

Table 1. Quality indicators of soy dispersion

Образец	pH	Сухие вещества, %	Зола, %	Белок, %	Жир, %	Клетчатка, %	Полифенолы, мг (GAE)/100 г	Углеводы, г/100 г
Растительная дисперсия из соевых бобов	6,87 ± 0,01	6,16 ± 0,12	0,29 ± 0,01	2,83 ± 0,02	1,63 ± 0,12	Меньше 0,10	61,16 ± 1,65	1,41 ± 0,11

⁵ ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (с изменениями на 14 июля 2021 года) Технический регламент Таможенного союза от 09.12.2011 N021/2011.

⁶ ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. М.: Стандартинформ. 2010; 3.

⁷ ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. М.: Стандартинформ. 2014; 9.

⁸ ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). М.: Стандартинформ. 2013; 15.

⁹ ГОСТ 31746-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*. М.: Стандартинформ. 2013; 22.

¹⁰ ГОСТ 10444.8-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Горизонтальный метод подсчета presumptively бактерий *Bacillus cereus*. Метод подсчета колоний при температуре 30 (C). М.: Стандартинформ. 2014; 15.

¹¹ Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL / ed. Latimer G.W. Oxford University Press New York, 2023. AOAC.

¹² Baird R, Rice E, Eaton A. Standard methods for the examination of water and wastewaters. Water Environment Federation, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association. 2017.

¹³ American Association of Cereal Chemists. Approved Methods Committee. Approved methods of the American association of cereal chemists. AACC.

¹⁴ ГОСТ 13979.6-69 Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения золы.

Определение белка проводили методом Кельдаля согласно ГОСТ 26889-86¹⁵. Массовую долю жира определяли по ГОСТ 8756.21-89¹⁶.

Содержание полифенолов определяли с использованием спектрофотометра UV-1800 (Shimadzu, Япония) [54].

Определение антиоксидантной активности образцов до и после ферментации проводили спектрофотометрическим методом¹⁷ [50] с некоторыми модификациями. Коротко, для приготовления экстракта растительной дисперсии 2,5 г исследуемого образца смешивали с 10 мл этанола (95%), тщательно перемешивали и центрифугировали 10 минут при 6000 об/мин. Реактив DPPH (0,1 мМ) растворяли в 95% этаноле. Вносили 250 μ л водного экстракта соевой дисперсии или

водного экстракта ферментированной дисперсии смешивали с 3 мл этанольного раствора DPPH. Смесь инкубировали в темноте в течение 30 мин. Значения оптической плотности измеряли при 517 нм (UV-1800, Shimadzu). В качестве контрольного образца был использован этанол вместо экстракта.

Выживаемость пробиотических бактерий определяли путем посева 1 мл серийных разведений (с 10^{-1} по 10^{-10}) в стерильном 0,9% растворе хлорида натрия на питательную среду глубинным посевом в чашках Петри.

MRS агар (HiMedia, Индия) использовали для подсчета *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*, M17 агар (HiMedia, Индия) — для *Streptococcus thermophilus*. Инкубирование проводили при 37 °C в течение 48 ч. *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* культивировали на лактатном агаре (HiMedia, Индия) при температуре 30 °C в течение 96 ч. Полученные результаты выражены \log_{10} КОЕ/мл. Исследования проводили в соответствии с методиками, представленными в ГОСТ 33924—2016¹⁸, ГОСТ 33951-2016¹⁹.

Все эксперименты проводились в трех повторностях. Данные выражали как среднее значение \pm стандартное отклонение. Сравнение различных выборок проводили с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel. Результаты считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение/ Results and discussions

На первом этапе исследований оценивали изменение активной кислотности при ферментации соевых дисперсий. На рисунках 1–3 представлены данные об изменении активной кислотности и титруемой кислотности в процессе ферментации растительной дисперсии из сои при использовании различных заквасочных микроорганизмов.

Рис. 1. Динамика изменения титруемой кислотности в процессе ферментации соевой дисперсии, % молочной кислоты

Fig.1. Dynamics of changes in titratable acidity during the fermentation of soybean dispersion, % lactic acid

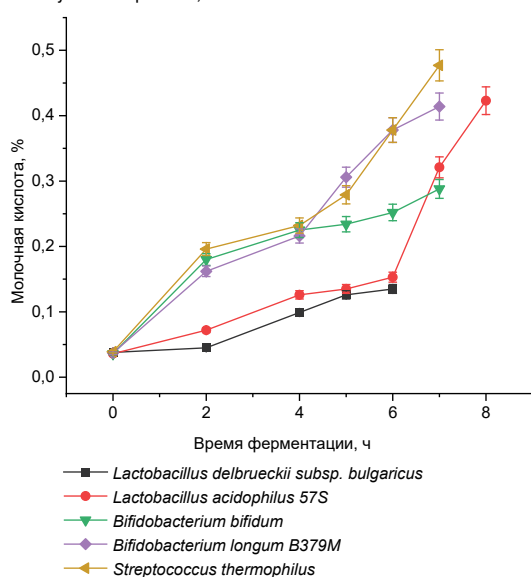


Рис. 2. Динамика изменения титруемой кислотности в процессе ферментации соевой дисперсии *P. shermanii* KM-186, % пропионовой кислоты

Fig.2. Dynamics of changes in titratable acidity during the fermentation of soybean dispersion *P. shermanii* KM-186, % propionic acid

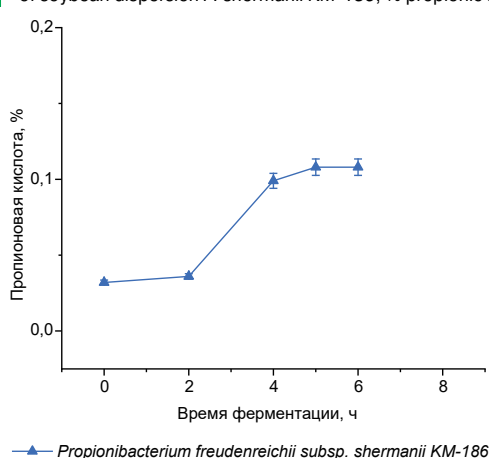
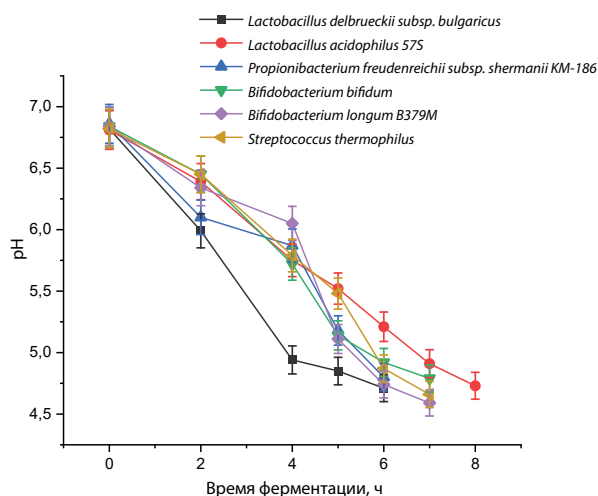


Рис. 3. Изменение активной кислотности в процессе ферментации растительной дисперсии из сои

Fig.3. Change in active acidity during fermentation of soybean dispersion



¹⁵ ГОСТ 26889-86 Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кельдаля. М.: Стандартинформ. 2010; 11.

¹⁶ ГОСТ 8756.21-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения жира. – М.: Стандартинформ. 2010; 14.

¹⁷ Association of Official Analytical Chemists. Official method of Analysis. AOAC. Antioxidant Activity in Foods and Beverages. Reaction with 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). No: 2012.04

¹⁸ ГОСТ 33924-2016 Молоко и молочная продукция. Методы определения бифидобактерий. – введ 01.09.2017. М.: Стандартинформ. 2019; 10.

¹⁹ ГОСТ 33951-2016 Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов. – введ 01.09.2017. – М.: Стандартинформ. 2016; 10.

Кислотонакопление является очень значимым процессом, происходящим при ферментации для формирования вкусо-ароматических веществ в разрабатываемом продукте. Изменение титруемой кислотности, а также pH в процессе ферментации также позволяет косвенно судить об адаптации микроорганизмов к растительной матрице.

Наиболее активно процесс ферментации проходит при использовании *L. bulgaricus* и *P. schermanii* KM-186 в течение 6 ч, при этом, диапазон изменений pH для данных образцов составил от 6,81–6,86 до 4,71–4,8. Прирост титруемой кислотности — 0,097% молочной кислоты и 0,076% пропионовой кислоты, соответственно. Наиболее длительный процесс ферментации происходил при использовании *L. acidophilus* 57S. Снижение значений pH до 4,73 для данных образцов происходило за 8 ч, при этом, прирост молочной кислоты составил 0,387%.

Несмотря на то, что продолжительность ферментации для других культур составила 7 ч, ферментированные образцы показали значительное различие в титруемой кислотности. Наибольший прирост содержания молочной кислоты имели образцы, ферментированные *B. longum* B379M и *S. thermophilus* (0,377% и 0,438%, соответственно), наименьшее значение *B. bifidum* (0,252% молочной кислоты). Результаты исследований [55] показали, что *S. thermophilus* и *L. acidophilus* утилизировать сахарозу и продуцировать значительное количество молочной кислоты.

Данные по приросту биомассы микроорганизмов (рис. 4) показывают, что при ферментации соевой дисперсии заквасочными культурами *S. thermophilus* не наблюдались статистические различия при подсчетах микроорганизмов до и после ферментации. Наибольший прирост биомассы продемонстрировали *L. bulgaricus*, *B. longum* B379M и *B. bifidum* и составил, 0,91, 0,80 и 0,81 КОЕ/мл, соответственно. В других исследованиях показано, что *S. thermophilus* демонстрирует более высокий прирост биомассы, чем *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* в процессе ферментации [56]. Таким образом, рост пробиотических микроорганизмов зависит не только от способности пробиотических микроорганизмов к протеолизу, но и от штамма микроорганизмов [57].

Можно предположить, что благодаря наличию полифенолов и составу соевого белка, соевое молоко является подходящим субстратом для роста этих микроорганизмов [58].

Штамм *P. schermanii* KM-186 также показал незначительный прирост биомассы микроорганизмов в процессе ферментации, что, возможно, связано с его недостаточной способностью утилизировать источники углерода или азота в соевой дисперсии. Возможно, для *P. schermanii* KM-186 необходимые питательные вещества находятся в трудноусвояемой форме или в недостаточном количестве. Таким образом рост штамма ограничен доступностью питательных веществ. Предположение основано на том, что микроорганизмы *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* обычно используются совместно с молочнокислыми бактериями, так как последние могут обеспечить *P. schermanii* необходимым небелковым азотом за счет своей протеолитической активности, а также молочной кислотой и другими углеводами, необходимыми для значительного прироста биомассы.

Как отмечает [59] *P. freudenreichii* CIRM-BIA 129 также не проявляет способность к росту в соевом молоке, но рост происходил при внесении дополнительной

Рис. 4. Прирост биомассы пробиотических микроорганизмов в процессе ферментации соевой дисперсии, lg(KOE/мл)

Fig. 4. Increase in biomass of probiotic microorganisms during fermentation of soybean dispersion, lg(CFU/ml)

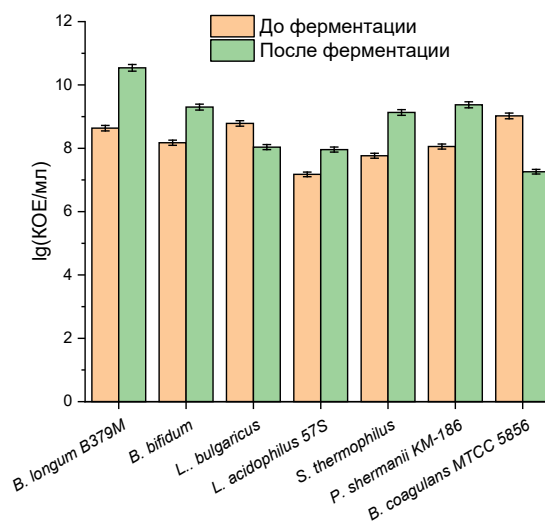
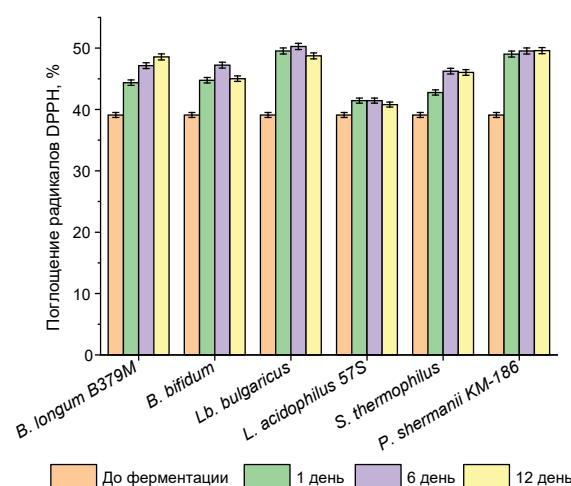


Рис. 5. Изменение антиоксидантной активности ферментированной соевой дисперсии в процессе хранения, %

Fig. 5. Change in antioxidant activity of fermented soy dispersion during storage, %



культуры *L. plantarum*, которая способна высвобождать необходимые аминокислоты из соевого белка.

Результаты исследований изменения антиоксидантной активности соевых дисперсий до и после ферментации, а также в процессе хранения (рис. 4) показали, что наибольшее увеличение данного показателя в 1 день продемонстрировали образцы, ферментированные *Lb. bulgaricus* (49,53%) и *P. schermanii* KM-186 (49,02%), по сравнению с неферментированной соевой дисперсией (39,01%), сохранившие стабильные значения на протяжении двухнедельного хранения, по сравнению с другими образцами. Наименьшую антиоксидантную активность после ферментации проявили *L. acidophilus* 57S и *S. thermophilus* (41,44% и 42,77, соответственно).

Штамм *L. acidophilus* 57S показал стабильные значения в процессе хранения до 12 дня, в то же время *S. thermophilus* показал незначительное увеличение антиоксидантной активности на 8% на протяжении срока хранения. Повышение антиоксидантной активности в ферментированных продуктах на основе соевых бобов может происходить за счет увеличения концентрации биоконвертированных изофлавоновых агликонов в процессе ферментации [60].

Выводы/Conclusions

В настоящем исследовании были изучены перспективы использования соевых дисперсий в качестве основного субстрата для ферментации штаммами бактерий *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Propionibacterium*.

Было показано, что продолжительность ферментации зависит от рода и штамма бактерий и составляет от 6 до 8 часов.

В целом, все выбранные микроорганизмы адаптировались к растительному сырью в процессе ферментации, но наибольший прирост биомассы был выявлен при использовании *L. bulgaricus*, *B. longum* B379M

и *B. bifidum*. Результаты измерений антиоксидантной активности показали, что применение всех видов микроорганизмов позволяет сохранить стабильные значения в процессе хранения.

Таким образом, показана перспективность использования пробиотических микроорганизмов для производства ферментированных напитков на основе соевой дисперсии.

При этом необходимы дальнейшие исследования некоторых физико-химических характеристик, таких как реологических свойств и органолептической оценки полученных образцов, что является основой будущих 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 № 22-26-00288

FUNDING:

The article was financially supported by the grant of the Russian Science Foundation (RSF) № 22-26-00288

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Samanta S. *et al.* Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches. *Current Research in Food Science*. 2022; (5): 1916–1943. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>
- Рустомова А.Ж., Ребезов М.Б. Зернобобовая смесь как перспективный сырьевой источник в технологии хлебопечения. *Аграрная наука*. 2023; 371(6): 121–125. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125>
- 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
- Munir N. *et al.* Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: A review. *Sustainability*. 2022; 14(1): 161. <https://doi.org/10.3390/su14010161>
- Aziz E. *et al.* Rosemary species: a review of phytochemicals, bioactivities and industrial applications. *South African Journal of Botany*. 2022; (151): 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.09.026>
- Gavrilova N. *et al.* Development of specialized food products for nutrition of sportsmen. *Journal of Critical Reviews*. 2020; 7(4): 233–236. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.43>
- Ohlhorst S.D. *et al.* Nutrition research to affect food and a healthy life span. *The Journal of nutrition*. 2013; 143(8): 1349–54. <https://doi.org/10.3945/an.113.004176>
- Klaenhammer T.R., Kullen M.J. Selection and design of probiotics. *International journal of food microbiology*. 1999; 50(1–2): 45–57. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00076-8)
- Kulushtayeva B. *et al.* Gluten-free diet: positive and negative effect on human health. *Indian Journal of Public Health Research & Development*. 2019, 10(7): 906–909. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.01690.5>
- Vaskovsky A., Chvanova M., Rebezov M. Creation of digital twins of neural network technology of personalization of food products for diabetics. *4th Scientific School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR)*. 2020; 251–253. <https://doi.org/10.1109/DCNAIR50402.2020.9216776>
- Рождественская Л.Н., Романенко С.П., Чугунова О.В. Перспективы нутриентного профилирования для профилактики заболеваний и укрепления здоровья. *Индустрия питания*. 2023; 8(2): 63–72. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-7>
- Rebezov M. B. The creation of a new type of meat paste with radioprotective properties. *Торайгыров университетінің хабаршысы. Химия-биологиялық сериясы*. 2022; (1): 109–119. <https://doi.org/10.48081/DAFG3241>
- Siro I., Kápolna E., Kápolna B., Lugasi A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance — A review. *Appetite*. 2008; 51(3): 456–67. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- Темербаева М.В., Урюмтсева Т.И., Кайниденов Н.Н., Ребезов М.Б. Ешкі сүті негізінде функционалдық тамақтануға арналған биойогурт технологиясын әзірлеу. *Семей Қаласының Шәжірім Атындағы Мемлекеттік Университетінің Хабаршысы*. 2020; 3(91): 53–58.
- Кожабек Л. Влияние факторов питания на здоровье. *Фармация Казахстана*. 2022; (3): 170–175. <https://doi.org/10.53511/pharmkaz.2022.14.71.026>
- Идырышев Б.А., Нургазезова А.Н., Касымов С.К., Ребезов М.Б. Функционалды өнімдерді өндіруге арналған балқарағай дәнегі құнжарасының химиялық құрамын зерттеу. *Семей Қаласының Шәжірім Атындағы Мемлекеттік Университетінің Хабаршысы*. 2020; 1(89): 80–82.
- Rebezov M.B., Nikitin Ye.B., Temerbayeva M.V., Uryumtseva T.I. Current state and prospects of fortified food production in Russia and Kazakhstan. *Иновационный Евразия университетінің хабаршысы*. 2020; (4): 143–151. <https://doi.org/10.37788/2020-4/143-151>

REFERENCES

- Samanta S. *et al.* Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches. *Current Research in Food Science*. 2022; (5): 1916–1943. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>
- Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. Leguminous mixture as a promising raw material source in bakery technology. *Agrarian science*. 2023;(6): 121–125 (in Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125>
- 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
- Munir N. *et al.* Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: A review. *Sustainability*. 2022; 14(1): 161. <https://doi.org/10.3390/su14010161>
- Aziz E. *et al.* Rosemary species: a review of phytochemicals, bioactivities and industrial applications. *South African Journal of Botany*. 2022; (151): 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.09.026>
- Gavrilova N. *et al.* Development of specialized food products for nutrition of sportsmen. *Journal of Critical Reviews*. 2020; 7(4): 233–236. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.43>
- Ohlhorst S.D. *et al.* Nutrition research to affect food and a healthy life span. *The Journal of nutrition*. 2013; 143(8): 1349–54. <https://doi.org/10.3945/an.113.004176>
- Klaenhammer T.R., Kullen M.J. Selection and design of probiotics. *International journal of food microbiology*. 1999; 50(1–2): 45–57. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00076-8)
- Kulushtayeva B. *et al.* Gluten-free diet: positive and negative effect on human health. *Indian Journal of Public Health Research & Development*. 2019, 10(7): 906–909. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.01690.5>
- Vaskovsky A., Chvanova M., Rebezov M. Creation of digital twins of neural network technology of personalization of food products for diabetics. *4th Scientific School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics (DCNAIR)*. 2020; 251–253. <https://doi.org/10.1109/DCNAIR50402.2020.9216776>
- Rozhdestvenskaya L.N., Romanenko S.P., Chugunova O... Nutrient Profiling Prospects for Disease Prevention and Health Promotion. *Food Industry*. 2023; 8(2): 63–72 (in Russian). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-7>
- Rebezov M. B. The creation of a new type of meat paste with radioprotective properties. *Scientific journal of Toraihyrov University. Chemical-biological series*. 2022; (1): 109–119. <https://doi.org/10.48081/DAFG3241>
- Siro I., Kápolna E., Kápolna B., Lugasi A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance — A review. *Appetite*. 2008; 51(3): 456–67. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- Temerbayeva M.V., Uryumtseva T.I., Kainidenov N.N., Rebezov M.B. Development of bioyogurt technology for functional nutrition based on goat's milk. *Bulletin of Shakarim University*. 2020; 3(91): 53–58 (in Kazakh).
- Kozhabek L. The influence of nutrition factors on health. *Pharmacy of Kazakhstan*. 2022; (3): 170–175 (in Russian). <https://doi.org/10.53511/pharmkaz.2022.14.71.026>
- Idyryshev B.A., Nurgazezova A.N., Kasymov S.K., Rebezov M.B. Study of the chemical composition of cedar wood pulp for the production of functional products. *Bulletin of Shakarim University*. 2020; 1(89): 80–82 (in Kazakh).
- Rebezov M.B., Nikitin Ye.B., Temerbayeva M.V., Uryumtseva T.I. Current state and prospects of fortified food production in Russia and Kazakhstan. *Vestnik of the Innovative Eurasian University*. 2020; 4: 143–151. <https://doi.org/10.37788/2020-4/143-151>

18. Okuskhanova, E. *et al.* Development of Minced Meatball Composition for the Population from Unfavorable Ecological Regions. *Annual Research & Review in Biology*. 2017; 13(3): 1–9. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/33337>
19. Зинина О., Павлова Я., Ребезов М., Чанов И., Николина А., Нурымхан Г. Разработка и исследование крекера, обогащенного пищевыми волокнами. *Аграрная наука*. 2022; (9): 173–179. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>
20. Rebezov M., Temerbayeva M., Uryumtseva T. Results of mathematical analysis of experimental data fermentation of skimmed milk to produce a fermented milk product. *Инновационный Евразия университетінің хабаршысы*. 2022; 87(3): 65–71. <https://doi.org/10.37788/2022-3/65-71>
21. Varivoda A., Kenijz N., Rebezov M., Okuskhanova E. Development of dietary food with the use of soy protein. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(4): 1005–1013.
22. Everard A., Cani P.D. Diabetes, obesity and gut microbiota. *Best practice & research Clinical gastroenterology*. 2013; 27(1): 73–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bpg.2013.03.007>
23. Bien J., Palagani V., Bozko P. The intestinal microbiota dysbiosis and Clostridium difficile infection: is there a relationship with inflammatory bowel disease? *Therapeutic advances in gastroenterology*. 2013; 6(1): 53–68. <https://doi.org/10.1177/1756283X12454590>
24. Zhu S. *et al.* The progress of gut microbiome research related to brain disorders. *Journal of neuroinflammation*. 2020; (17): 1–20. <https://doi.org/10.1186/s12974-020-1705-z>
25. Vanga S.K., Raghavan V. How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of food science and technology*. 2018; 55(1): 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>
26. Verni M., Demarinis C., Rizzello C.G., Baruzzi F. Design and characterization of a novel fermented beverage from lentil grains. *Foods*. 2020; 9(7): 893. <https://doi.org/10.3390/foods9070893>
27. Proserpio C. *et al.* Winemaking byproducts as source of antioxidant components: Consumers' acceptance and expectations of phenol-enriched plant-based food. *Antioxidants*. 2020; 9(8): 661. <https://doi.org/10.3390/antiox9080661>
28. Rebezov M. *et al.* Nutritional and Technical Aspect of Tiger Nut and Its Micro-constituents: An Overview. *Food Reviews International*. 2023, 39(6): 3262–3282. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2011910>
29. Третьяк Л., Ребезов М., Гебель В., Мифтахутдинов А. Анализ потребительских предпочтений и оценка свойств органической пищевой продукции. *АПК России*. 2022; 29(2): 262–270. <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2022-29-2-262-270>
30. Кенйиз 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>
31. Варивода А.А., Кенйиз 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>
32. Bhat Z.F., Fayaz H. Prospectus of cultured meat—advancing meat alternatives. *Journal of food science and technology*. 2011; 48: 125–40. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0198-7>
33. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of food science and technology*. 2016; 53: 3408–23. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
34. Palacios O.M., Badran J., Spence L., Drake M.A., Reisner M., Moskowitz H.R. Measuring acceptance of milk and milk substitutes among younger and older children. *Journal of food science*. 2010; 75(9): S522–6. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01839.x>
35. Schyver T., Smith C. Reported attitudes and beliefs toward soy food consumption of soy consumers versus nonconsumers in natural foods or mainstream grocery stores. *Journal of Nutrition Education and Behavior*. 2005; 37(6): 292–9. [https://doi.org/10.1016/S1499-4046\(06\)60159-0](https://doi.org/10.1016/S1499-4046(06)60159-0)
36. Kundu P., Dhankhar J., Sharma A. Development of Non Dairy Milk Alternative Using Soymilk and Almond Milk. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. 2018;6(1): 203–210. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.1.23>
37. Nile S. *et al.* Soybean Processing Wastes: Novel Insights on Their Production, Extraction of Isoflavones, and Their Therapeutic Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(23): 6849–6863. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c04927>
38. Ahsan S. *et al.* Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2022; 69(1): 172–182. <https://doi.org/10.1002/bab.2094>
39. Jayachandran M., Xu B. An insight into the health benefits of fermented soy products. *Food Chem*. 2019; (271): 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>
40. Nogueira-de-Almeida C.A., Ferraz I.S., Ued F.D., Almeida A.C., Ciampo L.A. Impact of soy consumption on human health: integrative review. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2020; 23. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12919>
41. Rasika D. *et al.* Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers. *Current Opinion in Food Science*. 2021; (38): 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.025>
18. Okuskhanova, E. *et al.* Development of Minced Meatball Composition for the Population from Unfavorable Ecological Regions. *Annual Research & Review in Biology*. 2017; 13(3): 1–9. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/33337>
19. Zinina O.V., Pavlova Ya.S., Rebezov M.B., Chanov I.M., Nikolina A.D., Nurymkhan G.N. Development and examination of a cracker enriched with dietary fiber. *Agrarian science*. 2022; (9): 173–179 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>
20. Rebezov M., Temerbayeva M., Uryumtseva T. Results of mathematical analysis of experimental data fermentation of skimmed milk to produce a fermented milk product. *Bulletin of the innovative university of Eurasia*. 2022; 87(3): 65–71. <https://doi.org/10.37788/2022-3/65-71>
21. Varivoda A., Kenijz N., Rebezov M., Okuskhanova E. Development of dietary food with the use of soy protein. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(4): 1005–1013.
22. Everard A., Cani P.D. Diabetes, obesity and gut microbiota. *Best practice & research Clinical gastroenterology*. 2013; 27(1): 73–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bpg.2013.03.007>
23. Bien J., Palagani V., Bozko P. The intestinal microbiota dysbiosis and Clostridium difficile infection: is there a relationship with inflammatory bowel disease? *Therapeutic advances in gastroenterology*. 2013; 6(1): 53–68. <https://doi.org/10.1177/1756283X12454590>
24. Zhu S. *et al.* The progress of gut microbiome research related to brain disorders. *Journal of neuroinflammation*. 2020; (17): 1–20. <https://doi.org/10.1186/s12974-020-1705-z>
25. Vanga S.K., Raghavan V. How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of food science and technology*. 2018; 55(1): 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>
26. Verni M., Demarinis C., Rizzello C.G., Baruzzi F. Design and characterization of a novel fermented beverage from lentil grains. *Foods*. 2020; 9(7): 893. <https://doi.org/10.3390/foods9070893>
27. Proserpio C. *et al.* Winemaking byproducts as source of antioxidant components: Consumers' acceptance and expectations of phenol-enriched plant-based food. *Antioxidants*. 2020; 9(8): 661. <https://doi.org/10.3390/antiox9080661>
28. Rebezov M. *et al.* Nutritional and Technical Aspect of Tiger Nut and Its Micro-constituents: An Overview. *Food Reviews International*. 2023, 39(6): 3262–3282. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2011910>
29. Tretiyak L., Rebezov M., Gebel V., Miftakhutdinov A. Analysis of consumer preferences and assessment of the properties of organic food products. *Agroindustrial complex of Russia*. 2022; 29(2): 262–270 (in Russian). <https://doi.org/10.55934/2587-8824-2022-29-2-262-270>
30. 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>
31. 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>
32. Bhat Z.F., Fayaz H. Prospectus of cultured meat—advancing meat alternatives. *Journal of food science and technology*. 2011; 48: 125–40. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0198-7>
33. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of food science and technology*. 2016; 53: 3408–23. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
34. Palacios O.M., Badran J., Spence L., Drake M.A., Reisner M., Moskowitz H.R. Measuring acceptance of milk and milk substitutes among younger and older children. *Journal of food science*. 2010; 75(9): S522–6. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01839.x>
35. Schyver T., Smith C. Reported attitudes and beliefs toward soy food consumption of soy consumers versus nonconsumers in natural foods or mainstream grocery stores. *Journal of Nutrition Education and Behavior*. 2005; 37(6): 292–9. [https://doi.org/10.1016/S1499-4046\(06\)60159-0](https://doi.org/10.1016/S1499-4046(06)60159-0)
38. Kundu P., Dhankhar J., Sharma A. Development of Non Dairy Milk Alternative Using Soymilk and Almond Milk. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. 2018;6(1): 203–210. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.1.23>
39. Nile S. *et al.* Soybean Processing Wastes: Novel Insights on Their Production, Extraction of Isoflavones, and Their Therapeutic Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(23): 6849–6863. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c04927>
40. Ahsan S. *et al.* Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2022; 69(1): 172–182. <https://doi.org/10.1002/bab.2094>
41. Jayachandran M., Xu B. An insight into the health benefits of fermented soy products. *Food Chem*. 2019; (271): 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>
42. Nogueira-de-Almeida C.A., Ferraz I.S., Ued F.D., Almeida A.C., Ciampo L.A. Impact of soy consumption on human health: integrative review. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2020;23. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12919>
41. Rasika D. *et al.* Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers. *Current Opinion in Food Science*. 2021; (38): 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.025>

42. Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2019; (103): 9263–9275. doi: 10.1007/s00253-019-10175-9.
43. Nasrabadi M.N., Doost A.S., Mezzenga R. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids.* 2021; (118): 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
44. Yigit A.A. Animal and plant-based milk and their antioxidant properties. *Veterinary Journal of Mehmet Akif Ersoy University.* 2020; 4(2): 113–22. <https://doi.org/10.24880/maeu.2020.4.2.113-22>
45. Ketnawa S., Ogawa Y. Evaluation of protein digestibility of fermented soybeans and changes in biochemical characteristics of digested fractions. *Journal of Functional Foods.* 2019; (52): 640–7. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.046>
46. Sindhu S.C., Khetarpaul N. Probiotic fermentation of indigenous food mixture: Effect on antinutrients and digestibility of starch and protein. *J. Food Compost. Anal.* 2001; (14): 601–609. <https://doi.org/10.1006/jfca.2001.1022>
47. Shi L., Mu K., Arntfield S.D., Nickerson M.T. Changes in levels of enzyme inhibitors during soaking and cooking for pulses available in Canada. *Journal of food science and technology.* 2017; (54): 1014–22. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2519-6>
48. Lima, K. et al. Evaluation of culture media for enumeration of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium animalis* in the presence of *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. *Lwt — Food Science and Technology.* 2009; (42): 491–495. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.011>
49. Marcoux V. et al. Production of *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* in whey-based media. *Journal of Fermentation and Bioengineering.* 1992; (74): 95–99. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(92\)80008-7](https://doi.org/10.1016/0922-338X(92)80008-7)
50. Zahrani A.J., Shori A.B. Viability of probiotics and antioxidant activity of soy and almond milk fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus spp.* *LWT.* 2023; (176): 114531. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114531>
51. Fernandez-Garcia E., McGregor J.U. Determination of organic acids during the fermentation and cold storage of yogurt. *Journal of Dairy Science.* 1994;77(10): 2934–9. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77234-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77234-9)
52. Le Lay C. et al. Identification and quantification of antifungal compounds produced by lactic acid bacteria and propionibacteria. *International Journal of Food Microbiology.* 2016; (239): 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.020>
53. BeMiller J.N. Carbohydrate Analysis. In: Nielsen, S.S. (eds) *Food Analysis. Food Science Text Series. Springer, Cham.* 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_19
54. Rodríguez-Roque M.J., Rojas-Graü M.A., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. Soymilk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as affected by in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry.* 2013; 136(1): 206–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.115>
55. Mital B.K., Steinkraus K.H., Naylor H.B. Growth of lactic acid bacteria in soymilks. *J Food Sci.* 1974. (39): 1018–1022. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb07300.x>
56. Mital B.K., Steinkraus K.H. Fermentation of soy milk by lactic acid bacteria. *J Food Prot.* 1979; (5): 848–902 <https://doi.org/10.4315/0362-028X-42.11.895>
57. Shihata A., Shah N.P. Proteolytic profiles of yogurt and probiotic bacteria. *Int Dairy.* 2000; (10): 401–408 [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00072-8)
58. Kumari M. et al. Characterization of probiotic lactobacilli and development of fermented soymilk with improved technological properties. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie.* 2022; (154): 112827. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112827>
59. Tarnaud F. et al. Differential Adaptation of *Propionibacterium freudenreichii* CIRM-BIA129 to Cow's Milk Versus Soymilk Environments Modulates Its Stress Tolerance and Proteome. *Frontiers in Microbiology.* 2020; (11): 549027. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.549027>
60. Pyo Y.H., Lee T.C., Lee Y.C. Effect of lactic acid fermentation on enrichment of antioxidant properties and bioactive isoflavones in soybean. *J. Food Sci.* 2005; (70): S215–S220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07160.x>

ОБ АВТОРАХ:

Наталья Владимировна Яковченко

кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий, старший научный сотрудник
nviakovchenko@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>

Мария Александровна Анцыперова

кандидат технических наук, заведующий лабораторией, младший научный сотрудник, преподаватель факультета биотехнологий
antsyperova@itmo.ru
<https://orcid.org/0009-0004-0005-6597>

Университет ИТМО,
ул. Ломоносова, 9, Санкт-Петербург, 191002, Россия

42. Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2019; (103):9263–9275. doi: 10.1007/s00253-019-10175-9.

43. Nasrabadi M.N., Doost A.S., Mezzenga R. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids.* 2021; (118): 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>

44. Yigit A.A. Animal and plant-based milk and their antioxidant properties. *Veterinary Journal of Mehmet Akif Ersoy University.* 2020; 4(2): 113–22. <https://doi.org/10.24880/maeu.2020.4.2.113-22>

45. Ketnawa S., Ogawa Y. Evaluation of protein digestibility of fermented soybeans and changes in biochemical characteristics of digested fractions. *Journal of Functional Foods.* 2019; (52): 640–7. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.046>

46. Sindhu S.C., Khetarpaul N. Probiotic fermentation of indigenous food mixture: Effect on antinutrients and digestibility of starch and protein. *J. Food Compost. Anal.* 2001; (14): 601–609. <https://doi.org/10.1006/jfca.2001.1022>

46. Shi L., Mu K., Arntfield S.D., Nickerson M.T. Changes in levels of enzyme inhibitors during soaking and cooking for pulses available in Canada. *Journal of food science and technology.* 2017; (54): 1014–22. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2519-6>

48. Lima, Kátia et al. Evaluation of culture media for enumeration of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium animalis* in the presence of *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. *Lwt — Food Science and Technology.* 2009; (42): 491–495. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.011>

49. Marcoux V. et al. Production of *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* in whey-based media. *Journal of Fermentation and Bioengineering.* 1992; (74): 95–99. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(92\)80008-7](https://doi.org/10.1016/0922-338X(92)80008-7)

47. Zahrani A.J., Shori A.B. Viability of probiotics and antioxidant activity of soy and almond milk fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus spp.* *LWT.* 2023; (176): 114531. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114531>

48. Fernandez-Garcia E., McGregor J.U. Determination of organic acids during the fermentation and cold storage of yogurt. *Journal of Dairy Science.* 1994;77(10): 2934–9. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77234-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77234-9)

49. Le Lay C. et al. Identification and quantification of antifungal compounds produced by lactic acid bacteria and propionibacteria. *International Journal of Food Microbiology.* 2016; (239): 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.020>

50. BeMiller J.N. Carbohydrate Analysis. In: Nielsen, S.S. (eds) *Food Analysis. Food Science Text Series. Springer, Cham.* 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_19

51. Rodríguez-Roque MJ, Rojas-Graü MA, Elez-Martínez P, Martín-Belloso O. Soymilk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as affected by in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry.* 2013; 136(1): 206–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.115>

55. Mital B.K., Steinkraus K.H., Naylor H.B. Growth of lactic acid bacteria in soymilks. *J Food Sci.* 1974. (39): 1018–1022. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb07300.x>

56. Mital B.K., Steinkraus K.H. Fermentation of soy milk by lactic acid bacteria. *J Food Prot.* 1979; (5): 848–902 <https://doi.org/10.4315/0362-028X-42.11.895>

57. Shihata A., Shah N.P. Proteolytic profiles of yogurt and probiotic bacteria. *Int Dairy.* 2000; (10): 401–408 [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00072-8)

58. Kumari M. et al. Characterization of probiotic lactobacilli and development of fermented soymilk with improved technological properties. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie.* 2022; (154): 112827. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112827>

53. Tarnaud F. et al. Differential Adaptation of *Propionibacterium freudenreichii* CIRM-BIA129 to Cow's Milk Versus Soymilk Environments Modulates Its Stress Tolerance and Proteome. *Frontiers in Microbiology.* 2020; (11): 549027. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.549027>

60. Pyo Y.H., Lee T.C., Lee Y.C. Effect of lactic acid fermentation on enrichment of antioxidant properties and bioactive isoflavones in soybean. *J. Food Sci.* 2005; (70): S215–S220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07160.x>

ABOUT THE AUTHORS:

Natalia Vladimirovna Iakovchenko,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Biotechnologies (BioTech), Senior Researcher
nviakovchenko@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>

Mariia Aleksandrovna Antsyperova

Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory, junior researcher, lecturer of the Faculty of Biotechnologies (BioTech)
antsyperova@itmo.ru
<https://orcid.org/0009-0004-0005-6597>

ITMO University,
9 Lomonosov Str., Saint-Petersburg, 191002, Russia