Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 15–28.

БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Обзорная статья
УДК 663.8 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-01 EDN: AEWQFX

Получение безмолочных ферментированных пищевых продуктов из растительного сырья: современное состояние, технологии и перспективы

Наталья Александровна Киселева [1], Ксения Алексеевна Поваляева [2], Анна Евгеньевна Рязанова [3]
Самарский государственный технический университет, Самара, Россия,
[1] sumgtu2011@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-4804-9687
[2] povalyaeva.ka@mail.ru
[3] 1234567890anyy@mail.ru

Аннотация. Целью данной работы является систематизация и анализ современных данных о технологиях, сырье и микроорганизмах для производства безмолочных ферментированных продуктов. Проведен анализ литературных данных за последние 10–15 лет в области пищевых технологий и микробиологии. Выявлен значительный рост популярности и разнообразия безмолочных ферментированных продуктов. Установлено, что ключевыми направлениями развития являются поиск и оптимизация растительного сырья, селекция специализированных заквасочных культур, а также решение технологических проблем формирования текстуры и вкуса. Перспективы отрасли связаны с созданием синбиотических продуктов и использованием инновационных методов ферментации.

Ключевые слова: безмолочные продукты, ферментация, пробиотики, растительное сырье, заквасочные культуры, функциональное питание

Для цитирования: Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е. Получение безмолочных ферментированных пищевых продуктов из растительного сырья: современное состояние, технологии и перспективы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 15–28.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 15–28.

BIOTECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS AND BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS

Review article

Production of non-dairy fermented food products from plant-based raw materials: current state, technologies, and prospects

Natalia A. Kiseleva [1], Kseniya A. Povalyaeva [2], Anna E. Ryazanova [3]
Samara State Technical University, Samara, Russia
[1] sumgtu2011@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-4804-9687
[2] povalyaeva.ka@mail.ru
[3] 1234567890anyy@mail.ru

© Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е., 2026

Abstract. The aim of this work is to systematize and analyze current data on technologies, raw materials, and microorganisms for the production of non-dairy fermented products. An analysis of the literature from the last 10–15 years in the field of food technology and microbiology was carried out. A significant increase in the popularity and diversity of non-dairy fermented products has been revealed. It has been established that the key directions of development are the search for and optimization of plant-based raw materials, the selection of specialized starter cultures, and the solution of technological challenges related to texture and flavor formation. The prospects of the industry are associated with the development of synbiotic products and the use of innovative fermentation methods.

Keywords: non-dairy products, fermentation, probiotics, plant-based raw materials, starter cultures, functional foods

For citation: Kiseleva N. A., Povalyaeva K. A., Ryazanova A. E. Production of non-dairy fermented food products from plant-based raw materials: current state, technologies, and prospects. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):15–28. (In Russ.).

Введение

Актуальность темы. В последнее десятилетие наблюдается устойчивый рост рынка безмолочных ферментированных продуктов. Это обусловлено рядом факторов: увеличением численности населения с непереносимостью лактозы и аллергией на молочный белок; ростом популярности веганства, вегетарианства и идей этического потребления; общемировым трендом на здоровое и функциональное питание. Кроме того, существует стабильный спрос на продукты, содержащие пробиотики, но не имеющие животного происхождения.

Определение предмета. Безмолочные ферментированные продукты – это пищевые продукты, произведенные на основе немолочного сырья (растительного), полученные путем контролируемой микробной ферментации, в результате которой формируются их характерные органолептические, физико-химические и пробиотические свойства.

Цель. Комплексный анализ существующих технологий и перспектив развития рынка безмолочных ферментированных продуктов.

Задачи:

1. Классифицировать виды сырья для производства.
2. Охарактеризовать используемые микроорганизмы (заквасочные культуры).
3. Описать основные технологические процессы и их особенности.
4. Проанализировать формирование потребительских свойств (текстура, вкус, аромат).
5. Выявить основные проблемы и перспективы развития отрасли.

Основная часть

Сырьевая база для производства безмолочных ферментированных продуктов.

Широкий ассортимент безмолочных ферментированных продуктов обусловлен разнообразием используемого растительного сырья, каждое из которых обладает уникальным химическим составом, определяющим технологические особенности переработки и конечные свойства продукта. Анализ современных научных данных позволяет систематизировать основное сырье по нескольким категориям.

Зерновые культуры являются одной из наиболее распространенных основ благодаря своей доступности и высокому содержанию крахмала. Овес лидирует в производстве продуктов, подобных йогурту, что объясняется высоким содержанием бета-глюкана, который действует как пребиотик и природный загуститель, способствуя формированию кремообразной текстуры. Однако крахмал зерновых не является легкодоступным субстратом для молочнокислых бактерий. Это требует стадии ферментативного осахаривания, обычно с использованием амилаз, для расщепления крахмала на сбраживаемые сахара, такие как глюкоза и мальтоза. Псевдозерновые, такие как киноа и амарант, привлекают внимание благодаря высококачественному белку, содержащему все незаменимые аминокислоты, и

высокому содержанию пищевых волокон, которые улучшают питательные свойства ферментированных напитков.

Бобовые культуры, в частности соя, нут и чечевица, ценятся за высокое содержание белка (20–40 %). Ферментация бобовых, как в случае с темпе (с использованием гриба Rhizopus oligosporus) или растительными йогуртами, не только повышает усвояемость белка и витаминов, но и снижает уровень антинутриентов, таких как фитиновая кислота и ингибиторы трипсина. Однако основной технологической проблемой остается наличие летучих соединений (например, гексаналя, гексанола), обуславливающих «бобовый» и «травянистый» привкус. Исследования показывают, что использование определенных штаммов, таких как Lactobacillus plantarum и Streptococcus thermophilus, способно эффективно снижать содержание этих нежелательных летучих веществ в ходе ферментации, улучшая органолептические свойства продукта [1].

Орехи и семена, включая миндаль, кешью и кокос, служат основой для производства ферментированных напитков и мягких сыров. Высокое содержание липидов в этом сырье придает продукту насыщенный вкус и нежную, гладкую текстуру. Однако жировой состав может окисляться, приводя к прогорклости. Ферментация с помощью Lactobacillus plantarum и Streptococcus thermophilus обладает протективным эффектом за счет производства антиоксидантных соединений. Кокосовая вода, побочный продукт переработки кокоса, является оптимальной средой для ферментации благодаря богатому содержанию минералов и легко поддается ферментации сахаров (сахарозы, глюкозы, фруктозы), что делает ее идеальной основой для пробиотических напитков.

Овощи и фрукты представляют собой категорию для традиционных продуктов спонтанной ферментации, таких как кимчи (на основе пекинской капусты Brassica rapa) и комбуча (на основе чайного гриба и сахарозы). Ферментация овощей в основном осуществляется гетероферментативными микроорганизмами, такими как Leuconostoc mesenteroides и Lactobacillus brevis, которые продуцируют не только молочную кислоту, но также уксусную кислоту, CO_2 и ароматические соединения, создавая характерный острый, шипучий профиль. Комбуча представляет собой симбиотическую культуру бактерий и дрожжей, которая ферментирует чайный настой, производит широкий спектр органических кислот, этанол и биологически активные соединения [2].

Критерии выбора сырья для производства безмолочных ферментированных продуктов. Выбор оптимального растительного сырья является фундаментальным этапом в разработке высококачественных, питательных и коммерчески успешных безмолочных ферментированных продуктов. Этот выбор представляет собой многокритериальную оптимизационную задачу, где необходимо сбалансировать следующие группы критериев:

1. Пищевая и питательная ценность

Данный критерий является первичным, так как потребители часто обращаются к растительным альтернативам по соображениям здоровья.

Содержание и качество белка: Оценивается общее содержание белка и его аминокислотный состав, особенно по незаменимым аминокислотам (лизин, метионин, триптофан). Бобовые (соя, нут) и псевдозерновые (киноа, амарант) являются лидерами по этому показателю.

Ферментация может улучшать усвояемость белка и увеличивать содержание некоторых аминокислот.

Содержание пищевых волокон: волокна, такие как бета-глюкан в овсе или инулин в цикории, выполняют двойную функцию: выступают в качестве пребиотиков и являются натуральными загустителями текстуры [3].

Профиль жирных кислот: предпочтение отдается сырью с благоприятным соотношением полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и низким содержанием насыщенных жиров. Орехи (грецкий, миндаль) и семена (льна, чиа) богаты ПНЖК, однако их высокое содержание может требовать мер по предотвращению окислительной порчи.

Содержание витаминов и минералов: сырье может быть естественно обогащено микронутриентами (например, железо в чечевице, кальций в миндале) или служить матрицей для их биодоступности после ферментации.

Наличие антинутриентов: Фитиновая кислота (в злаках и бобовых), ингибиторы трипсина (в бобовых) и дубильные вещества могут снижать биодоступность питательных веществ. Критерием выбора является либо исходно низкое содержание антинутриентов, либо способность сырья к их эффективной деградации в процессе технологической подготовки (замачивание, проращивание, ферментация).

2. Технологическая пригодность и функциональность

Сырье должно не только быть питательным, но и обеспечивать предсказуемые технологические свойства на всех этапах переработки.

Формирование текстуры: способность формировать стабильный гель или кремообразную консистенцию после ферментации – ключевой вызов [4].

Критерии включают:

- Способность к гелеобразованию. Наличие крахмалов (овес, рис) или белков (соя), которые при термической обработке и последующей ферментации образуют гелевую структуру.

- Содержание и тип углеводов. Наличие легко ферментируемых сахаров (фруктоза, глюкоза, сахароза) для быстрого подкисления или полисахаридов (крахмал, инулин), требующих предварительной обработки. Способность заквасочных культур продуцировать экзополисахариды (ЭПС) именно на данном субстрате является высокоценным свойством.

- Водопоглотительная способность. Влияет на вязкость и стабильность конечного продукта.

- Органолептические характеристики. Сырье должно либо иметь нейтральный вкус и аромат, либо его специфические оттенки должны успешно маскироваться или трансформироваться в процессе ферментации.

- Нейтральность вкуса. Кешью и овес считаются сырьем с относительно нейтральным вкусом, что облегчает создание продуктов, аналогичных молочным.

- Потенциал для модификации вкуса. Некоторые штаммы молочнокислых бактерий способны эффективно снижать «бобовый» или «зерновой» привкус, что делает такое сырье (нут, соя) технологически пригодным при правильном подборе заквасок.

- Стабильность при хранении. Высокое содержание полиненасыщенных жиров в орехах и семенах может приводить к окислительной порче. Сырье должно демонстрировать достаточную окислительную стабильность или допускать использование натуральных антиоксидантов [5].

3. Экономическая целесообразность

Коммерческий успех продукта напрямую зависит от стоимости сырья. Цена должна быть конкурентоспособной по сравнению с молочным сырьем. Соя и овес часто являются более экономичными вариантами по сравнению с миндалем или кешью. Сырье должно быть доступно в необходимых объемах и иметь стабильные поставки в течение года. Высокий выход готового продукта из единицы сырья повышает рентабельность. Например, эффективность экстракции белка или сухих веществ из сырья является ключевым параметром. Современный тренд – использование жмыхов (орехового, соевого, подсолнечного), полученных после отжима масла, или плодовой мякоти. Это значительно снижает себестоимость, повышает экологичность и обогащает продукт клетчаткой [6].

4. Функциональные и потребительские свойства

«Чистая» этикетка. Сырье должно минимизировать необходимость использования искусственных стабилизаторов, эмульгаторов и улучшителей вкуса. Нативное сырье с естественными загущающими свойствами (овес, богатый бета-глюканом) соответствует этому тренду.

Критически важный критерий аллергенность. Необходимо учитывать распространенные аллергены (соя, орехи, глютен) и предлагать альтернативы (например, рис, киноа, семена подсолнечника) для разных сегментов рынка.

Функциональный потенциал – способность сырья служить основой для обогащения пробиотиками, пребиотиками, витаминами и другими биоактивными соединениями, превращая продукт в функциональный пищевой продукт [7].

5. Устойчивость и нормативное регулирование

Экологический след: оценка водопотребления, выбросов парниковых газов и использования земель. Например, миндаль имеет высокий уровень водопотребления, тогда как овес и бобовые обычно имеют более низкий экологический след.

Соответствие стандартам: сырье и конечный продукт должны соответствовать законодательным нормам в области пищевой безопасности, маркировки (например, «веганский», «без глютена») и заявлений о пользе для здоровья (например, «содержит пробиотики»).

Микроорганизмы и заквасочные культуры

Успех ферментации растительных субстратов критически зависит от правильного выбора и применения микроорганизмов, которые не только инициируют процесс брожения, но и формируют органолептические, текстурные и функциональные свойства конечного продукта. В отличие от молочной промышленности, где заквасочные культуры оптимизированы десятилетиями, микрофлора для растительных матриц находится в стадии активного изучения и селекции [8].

1. Основные группы микроорганизмов

а) Молочнокислые бактерии (LAB - Lactic Acid Bacteria)

Это наиболее важная и широко используемая группа в промышленности безмолочной ферментации.

Гомоферментативные LAB: Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus и Streptococcus thermophilus – классический симбиоз для йогурта, успешно адаптируемый для овсяных, соевых и ореховых субстратов. Они обеспечивают быстрое подкисление за счет продукции преимущественно молочной кислоты (L- и D-изомеров), что необходимо для гелеобразования и подавления патогенной микрофлоры.

Гетероферментативные LAB: Lactobacillus plantarum, Lactobacillus casei, Leuconostoc mesenteroides. Их роль особенно важна. Помимо молочной кислоты, они продуцируют уксусную кислоту, CO_2, диацетил и другие ароматические соединения, что обогащает и усложняет вкусоароматический профиль продукта. Lb. plantarum демонстрирует исключительную пластичность и способность метаболизировать разнообразные сахара, содержащиеся в растениях, а также подавлять образование нежелательных привкусов [9].

Ключевая функция LAB в растительных продуктах – биосинтез экзополисахаридов (ЭПС). В молочных продуктах текстура во многом формируется казеином. В растительных аналогах эту роль берут на себя ЭПС – внеклеточные биополимеры (глюканы, фруктаны), производимые такими штаммами, как Streptococcus thermophilus и Lactobacillus. ЭПС действуют как натуральные загустители и стабилизаторы, придавая продукту кремообразную и однородную текстуру без необходимости добавления синтетических гидроколлоидов. Активно ведется скрининг штаммов, продуцирующих ЭПС именно на растительных субстратах [10].

б) Пробиотические штаммы

Включение пробиотиков, таких как Lactobacillus acidophilus, Lacticaseibacillus rhamnosus (ранее Lactobacillus rhamnosus) и Bifidobacterium animalis subsp. lactis, превращает продукт в функциональный.

Главная проблема – выживаемость. Растительные субстраты часто имеют неоптимальную буферную емкость, более высокое осмотическое давление, наличие природных антимикробных соединений (фенолы, бактериоцины) и дефицит легкодоступных

питательных веществ по сравнению с молоком. Это приводит к снижению жизнеспособности пробиотиков в процессе ферментации и хранения.

Стратегии решения:

- Микроинкапсуляция: заключение клеток пробиотиков в защитные матрицы (альгинат, крахмал) перед внесением в продукт.

- Использование пребиотиков: обогащение субстрата инулином, фруктоолигосахаридами (ФОС) или растительными волокнами, которые являются селективным субстратом для пробиотиков, стимулируя их рост и активность (создание синбиотиков) [11].

- Адаптация штаммов: последовательное культивирование пробиотиков на растительных средах для выведения более устойчивых клонов.

в) Дрожжи и грибы

Эта группа вносит существенный вклад в разнообразие безмолочных ферментированных продуктов.

Дрожжи: Saccharomyces cerevisiae, Kluyveromyces marxianus. Они продуцируют этанол, CO_2 и широкий спектр летучих эфиров, спиртов и карбонильных соединений, отвечающих за фруктовые, цветочные и сложные ароматы. Их совместное культивирование с LAB (сокультура) является основой для производства кефира и других шипучих ферментированных напитков.

Плесневые грибы: Geotrichum candidum и Penicillium используются при производстве растительных аналогов сыра с белой плесневой корочкой или с голубыми прожилками. Они обеспечивают протеолиз и липолиз, формируя характерный острый, пикантный вкус и мягкую, кремообразную текстуру [12].

2. Источники и селекция заквасочных культур

Адаптация молочных культур: традиционный подход, заключающийся в постепенной пассивации штаммов, используемых в молочной промышленности, на растительных средах. Однако этот метод не всегда успешен, так как метаболизм микроорганизмов специализирован на утилизацию лактозы.

Выделение аутохтонных штаммов из ферментированных растительных продуктов – это наиболее перспективное направление. Штаммы, выделенные из успешно ферментированных растительных продуктов (темпе, кимчи, комбучи, спонтанно ферментированных овощей), уже природно адаптированы к растительным матрицам. Они проявляют высокую ферментативную активность, устойчивость к стрессу и способность улучшать органолептические свойства. Например, штаммы Lactobacillus, выделенные из кимчи, демонстрируют высокую активность в ферментации капустного сока [13].

Синтетические микробные консорциумы: вместо использования одного или двух штаммов, разрабатываются сложные, предсказуемые сообщества микроорганизмов, где каждый штамм выполняет специфическую функцию (например, один продуцирует ЭПС, другой – ароматизаторы, третий – подкисление). Это позволяет тонко управлять процессом ферментации и свойствами продукта.

Технологии получения и их особенности

Производство безмолочных ферментированных продуктов следует общей схеме, однако каждый этап имеет критически важные особенности, обусловленные спецификой растительного сырья. Современные технологические протоколы направлены на преодоление ключевых проблем: низкой питательности для микроорганизмов, отсутствия естественной гелеобразующей матрицы и наличия нежелательных органолептических оттенков [14].

1. Общая схема технологического процесса и ее особенности

Подготовка сырья: этот этап является фундаментальным для обеспечения последующей эффективной ферментации.

Очистка, сортировка, замачивание. Замачивание злаковых и бобовых не только уменьшает содержание антинутриентов (фитиновой кислоты), но и инициирует проращивание, что повышает активность эндогенных ферментов (амилаз, протеаз), расщепляющих макромолекулы на более доступные для LAB компоненты.

Ферментативно-термическая обработка: для сырья с высоким содержанием крахмала (овес, рис) или нерастворимой клетчатки обязательным является этап осахаривания. Применение коммерческих ферментных препаратов (амилаз, целлюлаз, пектиназ) при оптимальных температурах (45–65 °C) позволяет гидролизовать полисахариды до моно- и дисахаридов (мальтоза, глюкоза), которые являются предпочтительным субстратом для LAB. Это значительно ускоряет последующее подкисление и предотвращает отделение сыворотки.

Гомогенизация и измельчение: создание стабильной, гомогенной эмульсии критически важно для текстуры. Используются высокоскоростные блендеры и гомогенизаторы высокого давления, которые разрушают клеточные структуры и равномерно распределяют жировые и белковые частицы. Степень измельчения напрямую влияет на вязкость и «гладкость» конечного продукта [15].

Термическая обработка: помимо пастеризации для уничтожения аутохтонной микрофлоры, тепловая обработка (85–95 °C) выполняет несколько ключевых функций:

1. Инактивация антипитательных факторов и природных ферментов.

2. Денатурация растительных белков (например, соевых), что способствует их лучшей усвояемости и частично улучшает способность к гелеобразованию.

3. Клейстеризация крахмала, что делает его более доступным для действия ферментов заквасочных культур [16].

Инокуляция и ферментация:

Температура инокуляции строго зависит от используемых штаммов: мезофильные культуры (например, Lc. lactis, ~30 °C) или термофильные (Str. thermophilus, Lb. delbrueckii subsp. bulgaricus, ~42 °C).

Дозировка закваски обычно составляет 1–3 % (об./об.) и требует оптимизации, так как избыток может привести к излишней кислотности, а недостаток – к слабой текстуре и риску контаминации.

Время ферментации (4–16 ч) определяется целевыми значениями pH (обычно 4,4–4,6) и накоплением органолептически активных соединений. Мониторинг кинетики подкисления является стандартной практикой для обеспечения воспроизводимости.

Охлаждение и хранение: резкое охлаждение до 4 °C останавливает деятельность микроорганизмов, стабилизирует текстуру и предотвращает чрезмерное подкисление. Низкая температура хранения критически важна для поддержания жизнеспособности пробиотических культур на протяжении срока годности продукта [17].

2. Ключевые технологические проблемы и инновационные решения

Проблема 1: Несбалансированный состав питательных веществ.

Решение: обогащение субстрата. Поскольку растительные субстраты часто бедны простыми сахарами и некоторыми аминокислотами, применяется их целенаправленное обогащение:

Углеводы: добавление глюкозы, сахарозы или солодового экстракта для гарантии быстрого старта брожения.

Пребиотики: внесение инулина, фруктоолигосахаридов (ФОС) или галактоолигосахаридов (ГОС) не только стимулирует рост пробиотиков, создавая синбиотический продукт, но и способствует улучшению текстуры за счет увеличения вязкости [18].

Буферные соли: иногда добавляются фосфаты или цитраты для стабилизации pH и предотвращения быстрой гибели культур из-за резкого подкисления.

Проблема 2: Отсутствие естественной гелевой структуры.

Решение: Многоуровневый подход к формированию текстуры.

Использование загустителей и стабилизаторов: нативные крахмалы, пектин (особенно из яблок или цитрусовых), камеди (гуаровая, ксантановая) широко применяются для создания и стабилизации геля.

Стимуляция биосинтеза экзополисахаридов (ЭПС): наиболее перспективное направление. Использование штаммов-продуцентов ЭПС (например, Str. thermophilus или

Lactobacillus) позволяет создать «внутреннюю» стабилизирующую сетку, обеспечивающую кремообразную текстуру, аналогичную молочной. Состав питательной среды напрямую влияет на количество и тип продуцируемых ЭПС [19].

Проблема 3: Нежелательные вкусоароматические профили.

Решение: Биотрансформация и маскировка.

Биоконверсия летучих соединений: подбор специфических штаммов LAB и дрожжей, которые метаболизируют соединения, ответственные за «бобовый» (гексаналь), «травянистый» или «землистый» привкусы. Например, Lactobacillus plantarum способен восстанавливать гексаналь до гексанола, который имеет менее выраженный запах.

Генерация желательных ароматов: использование гетероферментативных LAB и дрожжей, продуцирующих диацетил (сливочный аромат), ацетальдегид (свежий, йогуртовый) и различные сложные эфиры (фруктовые ноты).

Сокультивирование: совместное использование LAB и дрожжей (например, для овсяных кефиров) позволяет достичь сложного и сбалансированного вкусоароматического букета, недостижимого с монокультурами.

Перспективные технологии: набирают оборот исследования в области твердофазной ферментации для производства аналогов сыра, использования ультразвука для улучшения экстракции питательных веществ и высокого гидростатического давления для холодной пастеризации, которая сохраняет термочувствительные нутриенты и пробиотики.

Классификация и характеристика готовых продуктов

Готовые безмолочные ферментированные продукты представляют собой гетерогенную группу, которую можно систематизировать по нескольким критериям, наиболее важным из которых является принцип создания продукта: являются ли они попыткой воспроизвести традиционные молочные аналоги или представляют собой самостоятельные традиционные продукты. Их характеристика включает комплексный анализ питательной ценности, органолептических свойств и функционального потенциала.

1. Аналоги молочных ферментированных продуктов

Данная категория разрабатывается с целью имитации органолептических и функциональных свойств своих молочных прототипов (йогурта, кефира, сметаны, сыра).

Растительные йогурты:

Сырьевая база – наибольшую долю рынка занимают продукты на основе овса, кокоса, сои и миндаля.

Технология и характеристики: основной «вызов» – достижение плотной, однородной и кремообразной текстуры без расслоения. Овсяные йогурты, обогащенные бета-глюканом, демонстрируют хорошие текстурные свойства и являются популярными благодаря нейтральному вкусу. Кокосовые йогурты обладают естественной жирностью и нежностью, но часто характеризуются низким содержанием белка. Соевые йогурты лидируют по содержанию белка, но требуют решения проблемы «бобового» привкуса за счет подбора заквасочных культур [20].

Питательность: как правило, уступают молочным йогуртам по содержанию белка (исключение – соевые) и кальция (если не обогащены), но могут превосходить их по содержанию пищевых волокон и иметь более благоприятный профиль жирных кислот.

Растительные кефиры и ферментированные напитки:

Особенности: для их производства используются симбиотические культуры кефирных грибков (LAB + дрожжи). Это придает продукту характерную шипучесть, кисловатый вкус и легкую спиртовую ноту.

Сырье: наиболее успешны напитки на основе кокосовой воды и соков сладких фруктов, которые естественно богаты ферментируемыми сахарами. Ферментация овсяного или орехового «молока» с кефирными культурами требует оптимизации рецептуры для обеспечения активности дрожжей.

Функциональность: считаются перспективными носителями пробиотиков и метаболитов дрожжей, обладающих потенциальной биологической активностью.

Растительные сыры:

Классификация: аналоги мягких сыров (на основе кешью, миндаля), полутвердых и твердых сыров (на основе сои, горохового белка), а также сыров с благородной плесенью.

Технология: наиболее сложная категория. Включает этапы ферментации, коагуляции белков (с использованием реннина или ферментов), созревания. Для формирования сырной текстуры и плавления критически важны жиры, модифицированные крахмалы и белки (например, из гороха или картофеля). Ферментация с участием плесневых культур (Penicillium camemberti, Penicillium roqueforti) позволяет создавать продукты с комплексным вкусоароматическим профилем.

Питательность: часто содержат меньше белка и кальция, но больше насыщенных жиров (за счет кокосового масла, используемого для текстуры) по сравнению с молочными сырами. Активно ведутся разработки по улучшению питательного профиля.

2. Традиционные ферментированные продукты растительного происхождения

Эта категория включает продукты, исторически сложившиеся в различных кулинарных традициях и не являющиеся прямыми аналогами молочных.

Ферментированные продукты на основе сои и бобовых:

1. Темпе: индонезийский продукт, полученный путем ферментации вареных соевых бобов грибком Rhizopus oligosporus. Мицелий гриба скрепляет бобы в плотный пирог. Ферментация значительно повышает усвояемость белка, снижает уровень олигосахаридов и антинутриентов, обогащает продукт витаминами группы В. Обладает ореховым, грибным вкусом и плотной, слегка жевательной текстурой.

2. Мисо и соевый соус: продукты ферментации соевых бобов и злаков (рис, ячмень) с помощью грибка Aspergillus oryzae в смеси с LAB и дрожжами. Это продукты с высоким содержанием соли и глутамата, обладающие интенсивным умами-вкусом.

Ферментированные овощи и фрукты:

1. Кимчи и Квашеная капуста: яркие примеры спонтанной ферментации овощей аутохтонной микрофлорой. Сложное сообщество LAB (Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus plantarum) производит молочную и уксусную кислоты, CO_2 и различные ароматические соединения, создавая острый, кислый, шипучий профиль. Эти продукты ценятся за содержание пробиотиков, витаминов (С, К) и биоактивных соединений (изотиоцианатов в кимчи) [21].

Ферментированные напитки:

1. Комбуча: симбиотическая культура бактерий и дрожжей ферментирует подслащенный чай. В результате образуется газированный, кисло-сладкий напиток, содержащий органические кислоты (уксусную, глюкуроновую), следы этанола и полифенолы. Ему приписываются антиоксидантные свойства, однако доказательная база требует дальнейших исследований.

Сравнительный анализ и потребительские свойства

Проведенный анализ позволяет выявить ключевые различия между безмолочными ферментированными продуктами и их молочными аналогами:

- Питательная ценность: растительные аналоги часто требуют обогащения кальцием, витамином В12 и витамином D для достижения питательной эквивалентности. Их белковая ценность варьируется в зависимости от сырья, а профиль жирных кислот, как правило, более полезен для сердца (за исключением продуктов с кокосовым маслом).

- Органолептические свойства: достижение идентичности с молочными продуктами остается главным вызовом. «Чистый» вкус без следов сырья (бобового, зернового) и идеальная текстура – основные цели исследований.

- Функциональный потенциал: обе категории могут служить источниками пробиотиков. Однако выживаемость пробиотиков в растительных матрицах часто ниже, что стимулирует разработку специализированных штаммов и защитных технологий (микроинкапсуляция). Традиционные продукты, такие как темпе и кимчи, обладают уникальным набором биоактивных метаболитов, образующихся в результате глубокой ферментации.

Проблемы и перспективы развития производства безмолочных ферментированных продуктов

Несмотря на растущий коммерческий и научный интерес, сектор безмолочных ферментированных продуктов сталкивается с рядом технологических, экономических и нормативных вызовов. Одновременно с этим, преодоление этих барьеров открывает значительные перспективы для создания новых, конкурентоспособных и функциональных пищевых продуктов.

Основные проблемы:

1. Текстура: сложность достижения кремообразной, плотной консистенции, аналогичной молочным продуктам

Одной из наиболее значимых технологических проблем является воспроизведение реологических свойств, характерных для традиционных йогуртов и сыров. Молочные белки (казеины и сывороточные белки) формируют уникальную белково-липидную матрицу в процессе ферментации и коагуляции, которая обеспечивает плотную, гелеобразную и кремообразную текстуру [22]. Растительные же системы, как правило, не обладают способностью к самопроизвольному гелеобразованию. Белки растительного происхождения (например, из сои, орехов или злаков) имеют отличные от молочных структурные и функциональные характеристики (гидрофильность, изоэлектрическая точка, молекулярная масса), что приводит к формированию менее прочной, часто песчаной, зернистой или расслаивающейся структуры [23]. Для коррекции консистенции производители вынуждены широко использовать загустители и стабилизаторы, такие как крахмалы, камеди (ксантановая, гуаровая) и пектины, что может негативно восприниматься частью потребителей.

2. «Чистая» этикетка: необходимость минимизировать использование стабилизаторов и улучшителей

Тренд на «чистую» этикетку (clean label) находится в прямом противоречии с необходимостью использования многочисленных добавок для улучшения текстуры и органолептических свойств растительных продуктов. Потребители все чаще отдают предпочтение продуктам с коротким и понятным списком ингредиентов, имеющим натуральное происхождение [24]. Задача современной пищевой технологии заключается в разработке таких методов обработки сырья (например, ферментативный гидролиз, гомогенизация высокого давления, ультразвуковая обработка), которые позволили бы модифицировать нативные растительные белки и полисахариды для придания им необходимых функциональных свойств без применения синтетических или сложноочищенных добавок.

3. Вкус: достижение сбалансированного и привычного для потребителя вкуса

Многие виды растительного сырья характеризуются наличием специфических привкусов, которые могут быть охарактеризованы как «бобовые», «травянистые», «землистые» или «вяжущие». Эти органолептические недостатки связаны с присутствием летучих соединений (альдегидов, кетонов), фенольных соединений и сапонинов [25]. В процессе ферментации микроорганизмы могут как улучшать, так и ухудшать вкусоароматический профиль. Например, некоторые штаммы продуцируют диацетил, придающий маслянистые ноты, в то время как другие могут усиливать горечь за счет протеолиза. Создание стабильного, сбалансированного и приятного вкуса, который мог бы стать альтернативой молочному, остается сложной многопараметрической задачей, требующей оптимизации как сырья, так и заквасочных культур.

4. Стоимость: высокая цена сырья и производства по сравнению с молочными продуктами

Себестоимость производства безмолочных ферментированных продуктов, как правило, выше, чем у их молочных аналогов. Это обусловлено несколькими факторами: высокой стоимостью специализированного растительного сырья (орехи, семена), энергоемкостью процессов его подготовки (замачивание, измельчение, гомогенизация, тепловая обработка), а также необходимостью включения в рецептуру дорогостоящих функциональных добавок.

Кроме того, масштабы производства и оптимизация технологических линий для молочной отрасли исторически больше, что обеспечивает экономию на масштабе [26].

5. Нормативное регулирование: отсутствие единых стандартов на такие продукты

В настоящее время во многих странах отсутствует четкая нормативная база, регулирующая наименование и состав безмолочных ферментированных продуктов. Это приводит к правовой неопределенности и конфликтам, особенно при использовании терминов, ассоциированных с молочной продукцией (например, «йогурт», «сыр»). Регуляторные органы, такие как Европейский парламент, уже ввели ограничения на использование молочной терминологии для продуктов растительного происхождения [27]. В связи с этим актуальной задачей является разработка отдельной системы стандартов и классификации, которая бы четко определяла требования к качеству, безопасности и маркировке данной категории товаров.

Перспективные направления исследований:

Селекция специализированных штаммов микроорганизмов, адаптированных к растительным субстратам

Ключевым направлением является разработка новых заквасочных культур, селективно адаптированных к метаболизму растительных субстратов. Традиционные молочные штаммы (Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus, Streptococcus thermophilus) могут демонстрировать низкую активность и выживаемость в растительных средах из-за дефицита определенных питательных веществ, наличия ингибиторов и иного профиля углеводов [28]. Перспективными представляются:

Скрининг аутохтонной микробиоты растительных продуктов.

Селекция штаммов с высокой протеолитической и β-глюкозидазной активностью для улучшения текстуры и аромата.

Разработка симбиотических заквасок, где разные штаммы синергично выполняют задачи кислотообразования, синтеза экзополисахаридов (для естественного загущения) и ароматообразования.

Использование побочных продуктов пищевой промышленности. Одним из путей снижения себестоимости и повышения устойчивости производства является применение вторичных ресурсов агропромышленного комплекса. Сырьевая база может быть расширена за счет:

Жмыхов и шротов (подсолнечный, рапсовый, льняной, кунжутный), остающихся после отжима растительных масел. Эти материалы богаты белком и клетчаткой, но требуют разработки эффективных методов их экстракции и модификации.

Выжимок фруктовых и овощных, богатых пищевыми волокнами и биоактивными соединениями.

Использование такого сырья не только решает экономические и экологические задачи, но и позволяет обогатить конечный продукт пищевыми волокнами и фитонутриентами.

Синбиотические продукты: комбинация пробиотиков и пребиотиков растительного происхождения. Растительные матрицы являются идеальной основой для создания синбиотиков – продуктов, сочетающих пробиотики (полезные микроорганизмы) и пребиотики (пищевые волокна, стимулирующие их рост). Многие растительные субстраты (злаки, корнеплоды, бобовые) естественным образом богаты пребиотиками, такими как инулин, фруктоолигосахариды (ФОС) и резистентный крахмал [29]. Направленные исследования в этой области включают:

Подбор комбинаций «штамм-субстрат», обеспечивающих максимальную выживаемость и метаболическую активность пробиотиков.

Изучение влияния таких синбиотиков на микробиоту кишечника человека in vivo.

Разработка продуктов с направленным модулирующим эффектом на здоровье.

Исследование альтернативных методов ферментации открывает новые возможности для управления свойствами продукта. Особый интерес представляет твердофазная (твердотельная)

ферментация, традиционно используемая в странах Азии для производства продуктов типа темпе и мисо [30]. Ее потенциальные преимущества для безмолочных продуктов включают:

Высокую концентрацию питательных веществ и метаболитов.

Формирование уникальных текстур и вкусовых профилей.

Возможность ферментирования сырья с высокой начальной влажностью (например, структурированных гелей или паст) для создания аналогов сыров.

Кроме того, перспективными являются технологии с использованием иммобилизованных клеток на носителях, непрерывной ферментации в биореакторах, а также применение импульсных электрических полей для предобработки субстрата.

Заключение

Проведенный анализ позволяет констатировать, что сегмент безмолочных ферментированных продуктов представляет собой динамично развивающуюся и высокоперспективную область пищевой промышленности. Рост рынка стимулируется устойчивыми глобальными трендами: увеличением распространенности непереносимости лактозы и аллергии на молочный белок, популяризацией веганства и вегетарианства, а также растущим потребительским спросом на функциональные продукты питания.

Краткое резюме основных положений обзора свидетельствует о значительном прогрессе в данной области:

Сырьевая база характеризуется значительным разнообразием, включая зерновые (овес, рис), бобовые (соя, нут), орехи (кешью, миндаль) и семена, каждое из которых обладает уникальным питательным профилем и технологическими особенностями, требующими специфических подходов к подготовке и ферментации.

Микробиологические аспекты являются ключевыми для успеха продукции. Активно ведется селекция и адаптация заквасочных культур, в частности молочнокислых бактерий и дрожжей, способных не только к активному подкислению, но и к биосинтезу экзополисахаридов для улучшения текстуры и ароматических соединений для формирования сбалансированного вкусоароматического профиля.

Технологии производства ориентированы на решение специфических проблем растительных субстратов, таких как несбалансированный состав питательных веществ и отсутствие естественной гелевой структуры. Это достигается за счет обогащения субстратов, применения ферментативной обработки, использования стабилизаторов и стимуляции синтеза бактериальных экзополисахаридов.

Готовая продукция демонстрирует растущее разнообразие, от аналогов молочных продуктов (йогуртов, кефиров, сыров) до традиционных ферментированных продуктов (темпе, кимчи, комбуча), каждый со своими характеристиками и потребительской ценностью.

Несмотря на значительные достижения, область продолжает сталкиваться с рядом вызовов, включая сложности в достижении идеальной текстуры и чистого вкуса, необходимость минимизации использования пищевых добавок («чистая этикетка»), высокую стоимость производства и несовершенство нормативной базы.

Таким образом, подтверждается большой потенциал безмолочных ферментированных продуктов для дальнейшего расширения ассортимента и улучшения потребительских свойств. Однако данная область находится в стадии активного развития и требует дальнейших углубленных междисциплинарных исследований на стыке пищевых технологий (разработка новых методов обработки и текстурирования), микробиологии (селекция специализированных штаммов, изучение микробных консорциумов) и нутрициологии (оценка биодоступности питательных веществ, доказательство функциональной эффективности и здоровья человека). Только комплексный подход позволит в полной мере реализовать потенциал этого быстрорастущего сегмента и предложить потребителю высококачественные, вкусные и полезные продукты.

Список источников

1. Marco M. L. et al. ISAPP consensus statement on fermented foods // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2021. Vol. 18(3). P. 196–208.

2. Vilcacundo R. et al. Digestibility of quinoa protein concentrate // Journal of Food Science and Technology. 2018. Vol. 55(6). P. 2093–2100.

3. Bourdichon F. et al. Microbial food cultures: A scientific status summary // International Journal of Food Microbiology. 2021. Vol. 355. P. 109336.

4. Märtensson O. et al. Fermented oat-based products // Journal of Applied Microbiology. 2020. Vol. 129(5). P. 1232–1243.

5. Gómez-López I. et al. Valorization of agri-food waste through fermentation for plant-based food development // Trends in Food Science & Technology. 2022. Vol. 120. P. 1–15.

6. Xiang H. et al. Fermentation platform for organic acids // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2019. Vol. 67(19). P. 5472–5478.

7. Patra J. K. et al. Kimchi and fermented foods of Korea // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. P. 1491.

8. Tu C. et al. Plant-based milk kefir // Food Bioscience. 2022. Vol. 49. P. 101856.

9. Li C. et al. Reduction of beany flavor in soymilk by Lactobacillus plantarum B1-6 // Food Research International. 2022. Vol. 151. P. 110865.

10. Böcker S., Berger R. G. The rise of plant-based cheese alternatives: Leveraging fermentation to create sensory and functional duplicates // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 118. P. 207-219.

11. Petrova P., Petrov K. Microbial consortia for fermentation of plant-based milk alternatives // LWT Food Science and Technology. 2020. Vol. 131. P. 109723.

12. Göransson M. et al. The nutritional quality of plant-based drinks and fermented products // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. Vol. 21(4). P. 3517–3539.

13. Zannini E. et al. Functional properties of lactic acid bacteria // Current Opinion in Food Science. 2021. Vol. 37. P. 1–9.

14. Mäkinen O. E. et al. Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy plant-based milk substitutes // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016. Vol. 56(3). P. 339–349.

15. Curiel J. A. et al. Lactic acid fermentation as a tool to enhance antioxidant properties of Myrtus communis berries // Food Microbiology. 2020. Vol. 92. P. 103573.

16. Villarreal-Soto S. A. et al. Metabolic dynamics of kombucha fermentation // Food Microbiology. 2021. Vol. 94. P. 103669.

17. Leroy F., De Vuyst L. Fermented foods and beverages: Innovation and real-world applications // Current Opinion in Biotechnology. 2022. Vol. 78. P. 102803.

18. Sanjukta S. et al. Fermentation of soybeans using Bacillus subtilis // LWT. 2021. Vol. 147. P. 111669.

19. Huang L. et al. Survival of probiotic bacteria in plant-based fermented foods: Challenges and opportunities // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 114. P. 1–13.

20. Samtiya M. et al. Plant food anti-nutritional factors // Food Production, Processing and Nutrition. 2020. Vol. 2. P. 6.

21. Macedo M. J. F. et al. Coconut water as a natural substrate for probiotic beverages // Food Bioscience. 2021. Vol. 41. P. 101010.

22. Jeske S., Zannini E., Arendt E. K. Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials // Food Research International. 2018. Vol. 110. P. 42–51.

23. McClements D. J., Newman E., McClements I. F. Plant-based milks: a review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. Vol. 18(6). P. 2047–2067.

24. Aschemann-Witzel J., Varela P., Peschel A. O. Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping // Food Quality and Preference. 2019. Vol. 71. P. 117–128.

25. Roland W. S. U. et al. Flavor aspects of pulse ingredients // Cereal Chemistry Journal. 2017. Vol. 94(1). P. 58–65.

26. Haas R., Schnepps A., Pichler A., Meixner O. Cow Milk versus Plant-Based Milk Substitutes: A Comparison of Product Image and Motivational Structure of Consumption // Sustainability. 2019. Vol. 11(18). P. 5046.

27. Regulation (EU) No 1308/2013 of the European Parliament and of the Council.

28. Tangyu M., Müller J., Bolten C. J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives // Applied Microbiology and Biotechnology. 2019. Vol. 103(23–24). P. 9263–9275.

29. Panghal A. et al. Plant-based fermented foods: perspective and future // Trends in Food Science & Technology. 2023. Vol. 135. P. 1–15.

30. Rizo G. L. et al. Solid-state fermentation and antioxidant properties of tamarind by-products // Antioxidants. 2020. Vol. 9(10). P. 990.

Сведения об авторах

Н. А. Киселева — кандидат технических наук, доцент высшей биотехнологической школы.

К. А. Поваляева — студент высшей биотехнологической школы.

А. Е. Рязанова — студент высшей биотехнологической школы.

Information about the authors

N. A. Kiseleva — PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Higher School of Biotechnology.

K. A. Povalyaeva — Student of the Higher School of Biotechnology.

A. E. Ryazanova — Student of the Higher School of Biotechnology.

Статья поступила в редакцию 03.06.2026; одобрена после рецензирования 08.09.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 03.06.2026; approved after reviewing 08.09.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е., 2026.

«Получение безмолочных ферментированных пищевых продуктов из растительного сырья: современное состояние, технологии и перспективы» [Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).