

Характеристики без-/низколактозных кисломолочных продуктов включающих микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка: обзор предметного поля

Ю. И. Крысанова

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: Исследования, посвященные анализу безлактозных и гиполактозных кисломолочных продуктов представлены преимущественно в контексте изучения конкретных микроорганизмов или заквасочных культур и их функционирования в условиях ограниченного содержания лактозы. При этом синтезирование накопленных данных не получало должного освещения.

Цель: Систематизация и критический анализ научных исследований, освещающих специфику кисломолочных продуктов с редуцированным уровнем лактозы с акцентом на сопоставительное исследование стандартных кисломолочных продуктов и их гиполактозных или безлактозных модификаций. Особое внимание уделяется кисломолочным продуктам, включающим микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка.

Материалы и методы: Источники для обзора предметного поля подбирались в базах данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ, Google Scholar. Из 208 релевантных с точки зрения ключевых слов публикаций, 34 соответствовали критериям включения. Обзор предметного поля опирается на протокол PRISMA-ScR.

Результаты: Согласно основному массиву исследований по теме, готовые гиполактозные или безлактозные кисломолочные продукты демонстрировали аналогичные или улучшенные физико-химические и органолептические характеристики по сравнению со стандартными кисломолочными продуктами. В экспериментах, направленных на оценку микробиологических характеристик, было зафиксировано, что концентрация молочнокислых бактерий в анализируемых продуктах либо соответствовала, либо была ниже или выше, чем в традиционных кисломолочных продуктах. Все рассмотренные гиполактозные или безлактозные кисломолочные продукты соответствовали стандартам и регулятивным требованиям стран, в которых проводились соответствующие исследования.

Выводы: Формирование гиполактозных и безлактозных кисломолочных продуктов представляет собой актуальное направление в пищевой промышленности, учитывая их схожесть с конвенциональными продуктами и адаптированность для консумации индивидами с различной степенью непереносимости лактозы. Присутствуют нюансы, связанные с длительностью ферментационного процесса, органолептическими характеристиками, уровнем кислотности, синерезисом, сохранностью и динамикой роста микроорганизмов. Эти особенности могут быть обусловлены конкретными штаммами микрофлоры, применяемыми в закваске, и, чаще всего, их влияние остается минимальным. Полученные в ходе данной работы результаты могут оказаться полезными для выбора заквасочных культур при проектировании различных кисломолочных продуктов, включая йогурт, обогащенный йогурт, кефир, айран, ряженку и ацидофилин.

Ключевые слова: безлактозные кисломолочные продукты; низколактозные кисломолочные продукты; безлактозный йогурт; низколактозный йогурт; обзор безлактозных продуктов; глюкозно-галактозная среда

Корреспонденция:

Крысанова Юлия Игоревна,

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
E-mail: yu_krysanova@vnimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 13.01.2023

Принята: 13.03.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Крысанова, Ю.И. (2023). Характеристики кисломолочных продуктов, с пониженным содержанием лактозы включающих микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка: обзор предметного поля. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 66-80. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.15>

Characteristics of Lactose-Free/Low-Lactose Fermented Dairy Products Containing Microorganisms that are Part of the Kefir Grain Consortium: Scoping Review

Julia I. Krysanova

All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»), Moscow,
Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Research dedicated to the analysis of lactose-free and low-lactose fermented dairy products is predominantly presented in the context of studying specific microorganisms or starter cultures and their functioning under limited lactose conditions. However, the synthesis of accumulated data has not received adequate coverage.

Purpose: To systematize and critically analyze scientific research that sheds light on the specifics of fermented dairy products with reduced lactose levels, focusing on comparative studies of standard fermented dairy products and their low-lactose or lactose-free modifications. Special attention is given to fermented dairy products incorporating microorganisms that are part of the kefir grain consortium.

Materials and Methods: Sources for the subject field review were selected from databases such as Scopus, ScienceDirect, RISC, and Google Scholar. Out of 208 publications relevant in terms of keywords, 34 met the inclusion criteria. The review of the subject field is based on the PRISMA-ScR protocol.

Results: According to the main body of research on the topic, the finished low-lactose or lactose-free fermented dairy products demonstrated similar or improved physicochemical and organoleptic characteristics compared to standard fermented dairy products. In experiments aimed at assessing microbiological characteristics, it was noted that the concentration of lactic acid bacteria in the analyzed products either matched or was lower or higher than in traditional fermented dairy products. All considered low-lactose or lactose-free fermented dairy products met the standards and regulatory requirements of the countries where the respective studies were conducted.

Conclusion: The development of low-lactose and lactose-free fermented dairy products represents a relevant direction in the food industry, considering their similarity to conventional products and suitability for consumption by individuals with varying degrees of lactose intolerance. There are nuances related to the duration of the fermentation process, organoleptic characteristics, acidity level, syneresis, preservation, and the dynamics of microbial growth. These characteristics may be determined by specific strains of microflora used in the starter culture, and their influence is often minimal. The results obtained in this study may be useful for selecting starter cultures in the design of various fermented dairy products, including yogurt, fortified yogurt, kefir, ayran, ryazhenka, and acidophilus.

Keywords: lactose-free fermented milk products; low-lactose fermented milk products; lactose-free yogurt; low-lactose yogurt; review of lactose-free products; glucose-galactose medium

Correspondence:

Krysanova Julia Igorevna,
All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»),
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
E-mail: yu_krysanova@vniimi.org

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 13.01.2023

Accepted: 13.03.2023

Published: 30.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Krysanova, J.I. (2023). Characteristics of lactose-free/low-lactose fermented dairy products containing microorganisms that are part of the kefir grain consortium: Scoping review. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 66-79. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.15>

ВВЕДЕНИЕ

Молоко выступает в качестве источника ряда критических нутриентов, включая протеины, минералы, витамины группы В, а также витамин D (Thorning et al., 2016). Ферментированные молочные продукты, в дополнение к вышеуказанным компонентам, обогащены лактобациллами и их метаболитами с пробиотическими и функциональными характеристиками, благоприятно воздействующими на здоровье человека, включая функционирование гастроинтестинального тракта, иммунную и сердечнососудистую системы (Ganatsios et al., 2021; Ali et al., 2022; Бегунова и соавт., 2020). Также, в молоке и его производных присутствует лактоза — молочный дисахарид, который не ассимилируется у индивидуумов с непереносимостью лактозы. Следовательно, молоко и ферментированные молочные изделия представляют собой ключевые элементы пищевой цепи человека, будучи уникальными источниками определенных нутриентов, однако содержащаяся в них лактоза может ограничивать их потребление для определенной части населения.

Доля населения с лактазной недостаточностью в мире значительно варьируется от региона. Silanikove и соавторы (2015) зафиксировали, что в Нидерландах непереносимостью лактозы страдает 1 % населения, тогда как среди жителей Юго-Восточной Азии, Китая, а также коренных народов Америки данной проблеме подвержены 98–100 % людей. В России лактазная недостаточность характерна в среднем для 30–50 % населения (Бельмер и др. 2005). По данным соцопроса, проведенного в США, до 75 % опрошенных отказываются полностью от употребления не только молока, но и молочных продуктов (Dekker, Koenders, и Bruins 2019). И хотя кисломолочные продукты содержат меньше лактозы, чем молоко, ее содержание в них все еще достаточно высокое, чтобы привести к возникновению симптомов заболевания, и, как следствие, отказу от них. Очевидно, что создание низко-/ безлактозных аналогов является способом предоставить возможность употреблять молочные продукты людям с непереносимостью лактозы.

Растущее в последние годы внимание к проблеме лактазной недостаточности у населения усиливает потребительский и научный интерес к молочным продуктам с пониженным содержанием лактозы, в том

числе и к кисломолочным. По прогнозам Euromonitor в период с 2017 по 2022 гг., прирост доли безлактозной продукции на мировом рынке оценивался в 7,3 %, что в 3 раза выше, чем прирост доли рынка обычной молочной продукции за тот же период¹.

В России кефир является одним из самых распространенных кисломолочных продуктов (Николаева, 2018). Кефир представляет собой продукт брожения молока с применением кефирного гриба, в состав которого входит около 50 видов микроорганизмов (Khokhlacheva et al., 2015). В состав указанных микроорганизмов входят и молочнокислые бактерии, которые служат основой многих заквасок других кисломолочных продуктов, а их источником питания в молоке выступает лактоза. Таким образом, актуальной задачей для разработки низко-/безлактозного кефира является определение особенностей роста микроорганизмов, входящих в состав кефирного гриба при культивировании его на низко-/безлактозном сырье.

В период с 2012 по 2022 годы в базе данных Scopus анализируемой проблематике посвящено 52 публикации, в то время как за предыдущие 30 лет — лишь 25 статей. Основной акцент исследователи сделали на йогурт, сыр и национальных кисломолочных продуктах. Schmidt и соавторы (2016) продемонстрировали эффект от добавления стартовых культур в низколактозное сырье на органолептические и реологические свойства готового йогурта. Результаты мало чем отличались от традиционного продукта, в частности реологические свойства безлактозного йогурта превосходили таковые у йогурта обычного. Данные выводы подтверждаются и исследованием Kárnyáczki и Csanádi (2017).

Однако в упомянутых выше исследованиях ученые не производили оценку живых клеток в готовом продукте. Oh и соавторы (2021) провели данную оценку и доказали жизнеспособность микроорганизмов при культивировании на безлактозном молоке. Yamamoto и соавторы (2021) продемонстрировали взаимовыгодные отношения *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*, микроорганизмов, входящих в состав закваски для йогурта, при совместном культивировании в безлактозном сырье. Kocabaş и соавторы (2022) в качестве объекта исследования использовали айран на основе безлактозного молока, подтвердив выводы предыдущих

¹ Baroke, S. (2016). Does Lactose-free dairy have a future? Euromonitor International [Blog]. <https://www.euromonitor.com/article/does-lactose-free-dairy-have-a-future>

Ю. И. Крысанова

работ по соотношению качества готового продукта и содержания в нем живых клеток исходной культуры. Отсюда, исследования роста культур, входящих в состав йогурта и других традиционных кисломолочных продуктов указывают на то, что без-/низколактозные кисломолочные продукты имеют потенциально сходные свойства с традиционными аналогами.

Исследований по кефиру обнаруживается достаточно мало. В базе данных Scopus за последние 10 лет удалось обнаружить всего 6 работ, посвященных без-/низколактозному кефиру (Khokhlacheva et al., 2015; Ohlsson et al., 2017; Pekcici et al., 2021; Wawrzyniak et al., 2019; Yang et al., 2014; Cannavale et al., 2022). И лишь одна из указанных публикаций посвящена непосредственно исследованию характеристик кефира, приготовленного на безлактозном молоке (Khokhlacheva et al., 2015). Относительно небольшое количество работ по теме объясняется тем, что употребление кефира распространено лишь в отдельных странах мира, тогда как в Европе и Северной Америке данный продукт не пользуется широким спросом. Нам не удалось обнаружить ни одного систематического обзора или обзора предметного поля по исследуемой тематике как в базах данных Scopus, ScienceDirect, и РИНЦ, так и в базе данных Google Scholar.

Целью данного обзора предметного поля является сбор и анализ имеющейся научной литературы для выявления особенностей и отличий без-/низколактозных кисломолочных продуктов, включающих микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка, от таковых, выработанных на обычном молоке

по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Протокол и заявление о прозрачности исследования

Представленный обзор предметного поля выполнен с использованием протокола PRISMA-ScR. Протокол был зарегистрирован в Open Science Framework (<https://osf.io/rehd2>). Автор подтверждает, что данная рукопись представляет собой прозрачный, точный и честный отчет о проведенном исследовании.

Критерии отбора

В обзор предметного поля включены исследовательские статьи и труды конференций, подходящие под критерии отбора. Анализировались статьи на всех языках и из любых регионов. Критерии отбора в соответствии с РСС (Population, Concept, Context) подходом (Таблица 1).

Решение о включении или исключении публикации в обзор предметного поля принималось автором на основе представленных критериев. Также дополнительным критерием являлось наличие доступа к полному тексту статьи. В случае отсутствия такого доступа, полный текст работы запрашивался у авторов, если авторы работ не предоставляли доступ к тексту, то работа исключалась из обзора.

Таблица 1

Критерии отбора источников

Критерий	Включено	Исключено	Причины
Популяция	Молочнокислые бактерии (МКБ) и молочные дрожжи, входящие в состав консорциума кефирного гриба.	Микроорганизмы, не входящие в состав заквасочных культур, не использующиеся в молочной промышленности. Исследования, не затрагивающие развитие микроорганизмов, т. е. где фокус не направлен на оценку органолептического и микробиологического профиля.	Фокус исследования направлен на изучение роста микроорганизмов, используемых для изготовления кисломолочных продуктов.
Концепция	Исследования, направленные на изучение особенностей роста кефирного гриба на безлактозной или низколактозной среде. Ресурсы, изучающие рост заквасочных культур, аналогичных кефирному грибу или включающих в свой состав микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного гриба на безлактозной или низколактозной среде.	Исследования, направленные на изучение влияния β-галактозидазной активности МКБ на концентрацию лактозы в готовом продукте. Работы, фокусирующиеся на микроорганизмах, не входящих в состав консорциума кефирного гриба. Исследования, направленные только на изучение ферментативной активности или подбора фермента для дальнейшей разработки продукта.	Целью данного исследования является прояснение вопросов о культивировании заквасочных культур на нетипичной среде (без-/низколактозном молоке) для способствования дальнейшим исследованиям по разработке без-/низколактозных кисломолочных продуктов.

Окончание Таблицы 1

Критерий	Включено	Исключено	Причины
Контекст	Исследования, направленные на изучение продуктов молочной промышленности.	Исследования, направленные на изучение продуктов других отраслей. Работы о продуктах, изготовленных на немолочном сырье ("альтернативном молоке").	Исследование сфокусировано на изучении работ, посвященных продуктам молочной промышленности.
Язык	Любой	Нет ограничений	В связи с широким разнообразием традиционных (специфических для отдельных стран) кисломолочных продуктов, будут рассмотрены статьи на всех языках.
Временной период	по июль 2022 года	после июля 2022 года	Статьи не были ограничены по временному периоду в прошлом, так как в литературных источниках не обнаруживаются опубликованные обзоры по данной теме.
География	Любые страны	Нет ограничений	Лактазная недостаточность встречается в популяциях подавляющего большинства регионов мира.

Стратегия поиска

Поиск производился в базах данных Scopus, ScienceDirect, Google Scholar и РИНЦ. Для поиска в базах данных Scopus и ScienceDirect автор использовал поисковые запросы по ключевым словам: "low lactose", "lactose free", «yoghurt», "yogurt", "yoghourt", "fermented dairy", "kefir", "lactose reduced", "lactose hydrolyzed", "lactic acid bacteria" с опорой на операторы поиска AND, OR. В контексте поискового запроса использовались фильтры — исключить публикации из следующих предметных областей "Физика и астрономия", "Уход за больными", "Социальные и гуманитарные науки", "Науки о Земле", "Фармацевтика, токсикология и фармакология".

В Google Scholar поиск производился по запросу ("lactose free" OR "low lactose" OR "lactose reduced") + (kefir OR yogurt OR yoghurt OR ayran OR "fermented dairy" OR production OR "starter culture" OR "lactic acid bacteria"). В базы данных РИНЦ был произведен поиск с помощью по запросу: (безлактозный OR низколактозный) AND "кисломолочный продукт" OR "кефир" OR "йогурт" OR "кисломолочный".

Процесс отбора

Полученные результаты поиска анализировались и отбирались в соответствии с протоколом PRISMA-ScR. На первом этапе исследования список публикаций, а также информация о них были выгружена в формате .ris и загружены в менеджер ссылок "Zotero", полные тексты статей были подзагружены в формате .pdf. Далее, список публи-

каций в "Zotero" был проверен на наличие дубликатов. Обнаруженные дубликаты были исключены. После исключения дубликатов, статьи подвергались скринингу на соответствие критериям отбора в два этапа. Сначала анализ реализовывался по названию и аннотации, а затем по полному тексту. Все прошедшие отбор публикации далее были включены в обзор предметного поля.

Извлечение и анализ данных

Из отобранных работ была извлечена следующая информация: имена авторов и информация о странах происхождения, цель и дизайн исследования, выводы, год публикации. Все включенные в обзор источники были обработаны в программном обеспечении "VOSviewer" для наглядного представления частотности встречаемости ключевых слов. Результаты табулирования данных представлены в **Приложении 1**.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты поиска и процесс отбора

Из баз данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ по первичному поисковому запросу были отобраны 135 потенциально приемлемых источника. По результатам поиска в Google Scholar было отобрано еще 73 публикации. Среди этих публикаций до начала скрининга было исключено 19 публикаций: 7 — из за отсутствия доступа к полному тексту после запроса у авторов или по причине того, 12 — из за жанра публикации (труды конференций не вклю-

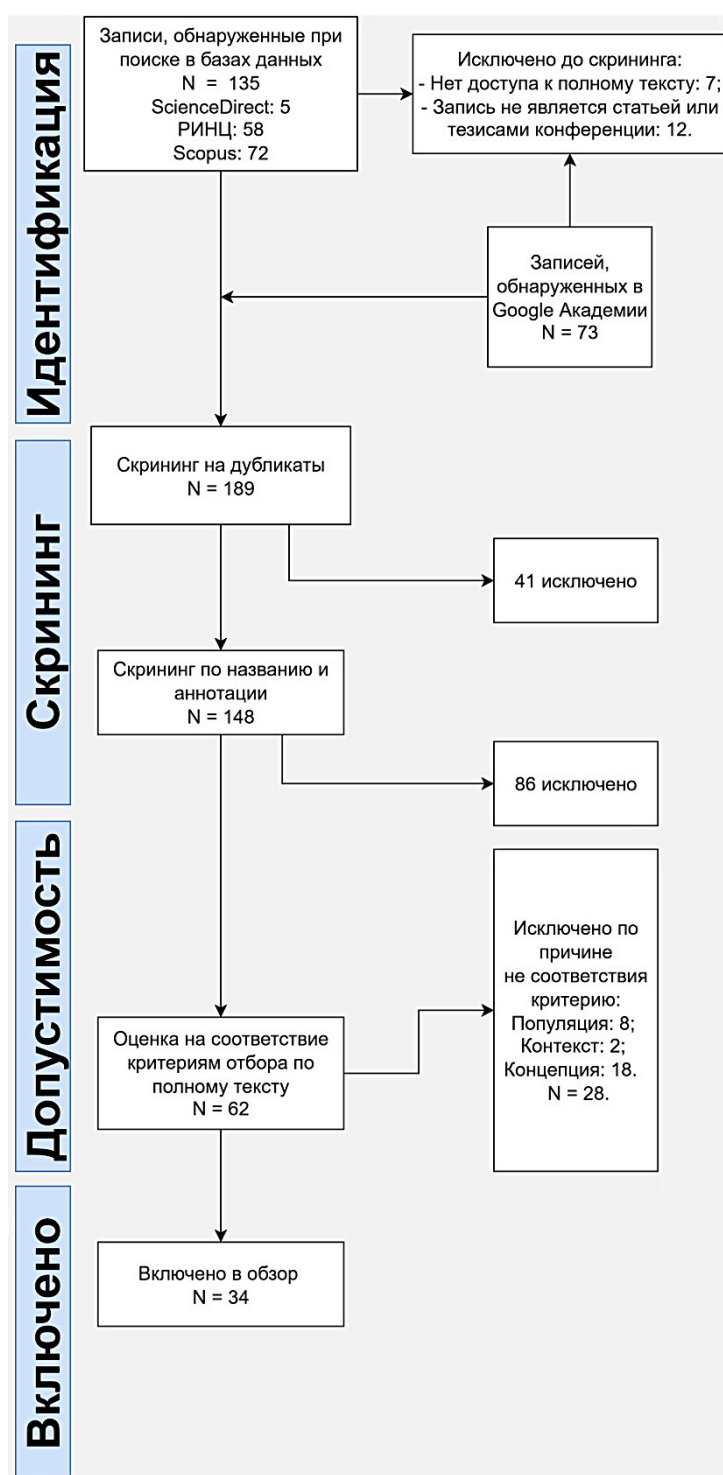
чались в обзор). Скринингу было подвергнуто 189 работ, 41 из которых были исключены как дублирующие.

После анализа названий и аннотаций было исключено еще 86 исследований. В ходе дальнейшего скрининга полного текста статей, из 62 оставшихся статей было

исключено еще 28. Среди них по причине не соответствия по критерию популяция было исключено 8 работ, критерию контекста — 2 работы, критерию концепции — 18 работ. Всего в обзор предметного поля было включено 34 исследования (Диаграмма 1).

Диаграмма 1

Процесс отбора статей для обзора предметного поля по PRISMA-ScR



Ю. И. Крысанова

Извлечение и анализ данных

Информация об отобранных работах была выгружена из программного обеспечения “Zotero” в виде файлов в формате .ris. Полученный пул был загружен в программу “VOSViewer”. С помощью этой программы из 32 работ было извлечено 153 ключевых слова, из которых для графического представления было отобрано 18 ключевых слов, встречающихся в анализируемых статьях более 2 раз (см. Рисунок 1–3).

Полученные с помощью VOSViewer данные показывают, что наиболее частотными встречающимися ключевыми словами в отобранных работах являются: “sugars”, затем “hydrolysis”, “probiotics” и “dairy products”. При этом ключевые слова можно разбить на две категории: группа ключевых слов, связанных с микробиологическим составом и процессом сквашивания молока, и группа ключевых слов, связанная с составом продуктов. Отобранные для анализа источники также можно условно поделить на две группы: (1) статьи, где исследователи делают упор на оценку физико-химических и/или орга-

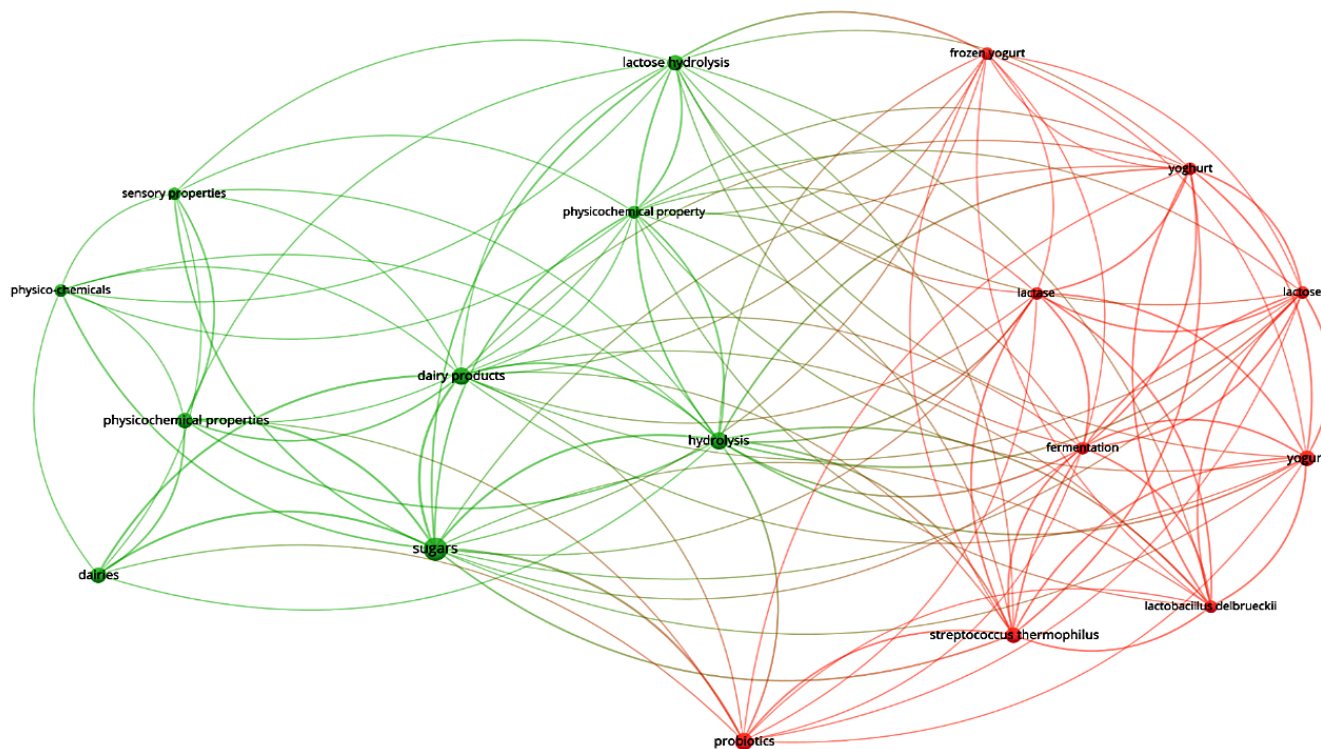
нолептических свойств продукта, вторая — статьи, где упор сделан на микробиологическую оценку и процесс изготовления и хранения продукта.

Из отобранных работ данные об авторах, годах издания, стране происхождения, наличии данных о физико-химических, органолептических и микробиологических свойствах продукта (если таковые имелись), а также ключевых выводах были извлечены в таблицу (см. Приложение 1). Большинство отобранных публикаций являлись исследовательскими работами. Отобранные исследования были опубликованы в период с 1979 по 2022 год, из них 85,3 % статей было опубликовано в последние 10 лет. Наибольшее количество работ было опубликовано в 2021 году — 17,6 %.

В исследованиях принимали участие авторы из 21 страны. Наиболее активны исследователи из Южной Америки (Бразилия, Аргентина, Чили) и стран бывшего СНГ (Россия, Молдова, Украина): доля статей из этих регионов составляла по 29,4 %, затем по числу публикаций следовали страны Азии (Турция, Пакистан, Ю. Корея, Ки-

Рисунок 1

Частота встречаемости ключевых слов



Примечание. Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями показаны связи между ключевыми словами в исследованиях

Ю. И. Крысанова

Рисунок 2

Частота встречаемости ключевых слов по годам

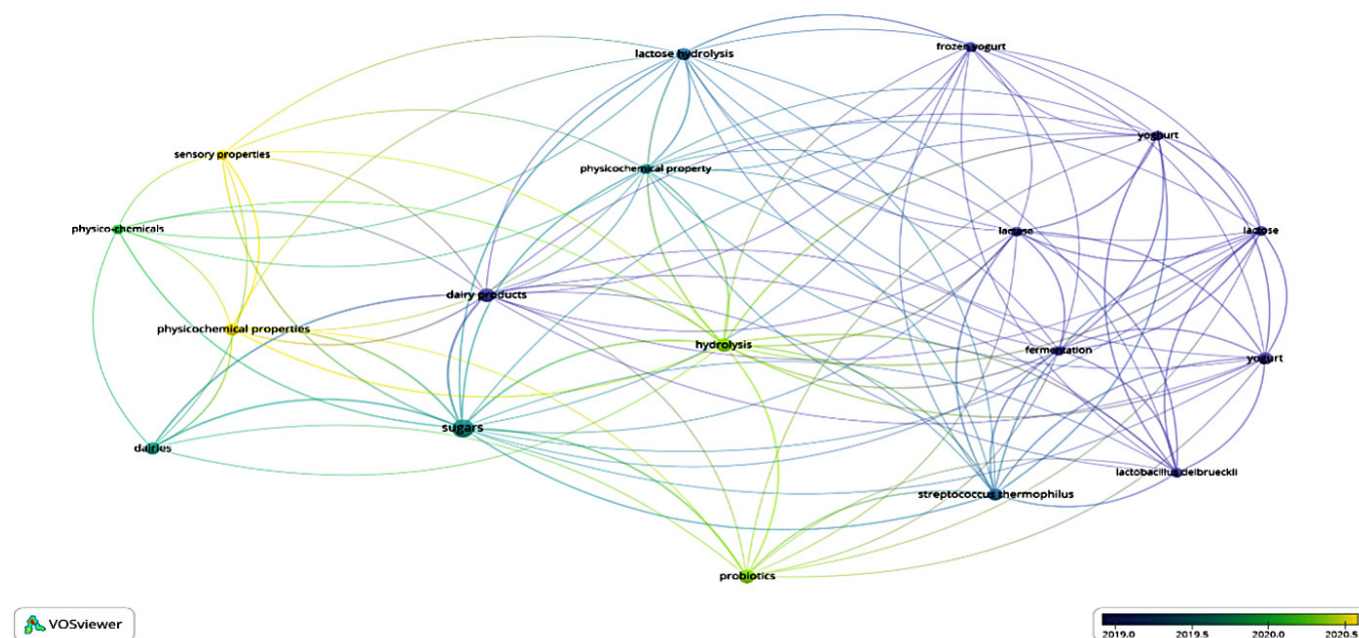
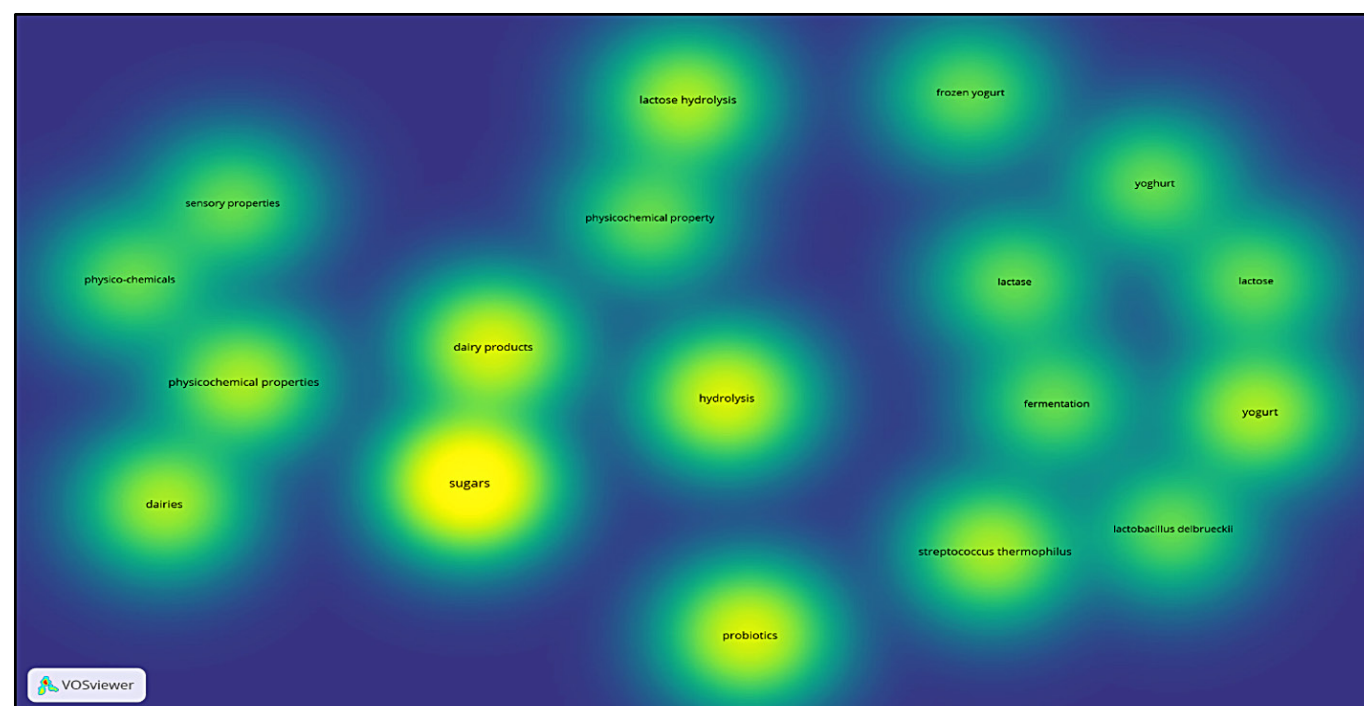


Рисунок 3

Карта встречаемости ключевых слов



Примечание. Встречаемость ключевых слов показана яркостью и размером круга

тай, Япония, Тайланд) — 23,5 %. Топ 3 : Россия — 23,5 %, Бразилия — 17,6 %, Аргентина — 8,8 %. Большинство рассмотренных публикаций написаны на английском языке (70,6 %), значительная часть на русском (23,5 %), а также по одной статье на корейском (2,95 %) и китайском (2,95 %) языках.

Органолептические и физико-химические свойства изучаемых без-/низколактозных кисломолочных продуктов

В отобранных работах исследователи указывали на имеющиеся отличия физико-химических свойств без-/низколактозных продуктов по сравнению с традиционными аналогами. В 6 публикациях (Kocabaş et al., 2022; Martins et al., 2012; Pachekrepapol et al., 2021; Raza et al., 2018; Schmidt et al., 2016; Capcanari et al., 2021) отмечались различия в синерезисе. Различия в кислотности продуктов отмечались также в 6 работах (Канавев и соавт., 2021; Skryplonek et al., 2017; Claudia I Vénica et al., 2015; Yamamoto et al., 2021; Capcanari et al., 2021; Lingyun et al., 2019). Сведения об изменениях во времени ферментации без-/низколактозных продуктов были не однозначными, сообщалось как об увеличении (Bianchini et al., 2020; Ibarra et al., 2012; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Yamamoto et al., 2021; Vénica et al., 2014), так и о снижении (Kocabaş et al., 2022; Pachekrepapol et al., 2021; Schmidt et al., 2016) времени, требующегося на снижение pH до необходимой точки. Изменения вязкости у без-/низколактозных кисломолочных продуктов по сравнению с традиционными зарегистрировано в 8 исследованиях (Kocabaş et al., 2022; Martins et al., 2012; Schmidt et al., 2016; Skryplonek et al., 2017; Yamamoto et al., 2021; Lingyun et al., 2019; Tonguç & Karagözlü, 2017; Kárnyáczki & Csanádi, 2017). Органолептические характеристики без-/низколактозных продуктов были оценены в 7 работах. В 6 из них, исследователями отмечалась повышенная сладость продукта (Арсеньева, 2010; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Kocabaş et al., 2022; Skryplonek et al., 2017; Zagorska et al., 2020; Souza Olegario et al., 2022). В 1 работе отмечен, напротив, более кислый вкус изучаемого без-/низколактозного продукта (Lingyun et al., 2019). Полученные нами данные говорят о том, что физико-химические и органолептические характеристики подвержены изменению при использовании глюкозно-галактозной среды для приготовления кисломолочных продуктов, при этом сведения об изменениях неоднозначны практически по всем представленным свойствам.

Наиболее часто в отобранных работах встречались сообщения о повышении вязкости без-/низколактозного кисломолочного продукта по сравнению с продуктами, приготовленными на обычном молоке. В работах Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Tonguç & Karagözlü, 2017; Yamamoto et al., 2021; Lingyun et al., 2019 отмечается, что вязкость безлактозного или низколактозного продукта была выше, чем у традиционного аналога, и лишь в двух исследованиях (Martins et al., 2012; Schmidt et al., 2016) указывается на более низкие значения вязкости без-/низколактозного варианта. Однако, Schmidt et al. (2016), сравнившие нескольких видов заквасок, отметили, что вязкость полученного йогурта сильно зависит от штаммов микроорганизмов, входящих в закваску.

Все работы, приведенные выше, описывают приготовление безлактозного йогурта. Что касается других кисломолочных продуктов, имеющиеся данные показывают, что при приготовлении айрана, гидролиз молока приводит к уменьшению вязкости (Kocabaş et al., 2022), для кефира, субстрат не играет значимой роли (Khokhlacheva et al., 2015), а для замороженных йогуртов, использование безлактозного сырья приводит к повышению вязкости готового продукта (Skryplonek et al., 2017; 2019).

Время ферментации, то есть необходимое время до получения продукта с целевой кислотностью, также зависело от степени гидролиза лактозы в молоке. В 5 исследованиях (Bianchini et al., 2020; Ibarra et al., 2012; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Yamamoto et al., 2021; Vénica et al., 2014) отмечается, что время ферментации увеличивается при использовании гидролизованного молока. В то время как в работах Kocabaş et al. (2022), Pachekrepapol et al. (2021), Schmidt et al. (2016) сообщается о том, что, напротив, использование гидролизованного молока сокращает время ферментации. При этом, в исследовании Kocabaş et al. (2022), в отличие от остальных проанализированных, исследовался айран, а не йогурт, а в статье Schmidt et al. (2016) отмечается, что наиболее короткое время ферментации достигается при использовании метода "ко-гидролиза", то есть одновременном добавлении в молоко как закваски, так и фермента бета-галактозидазы.

В проанализированных статьях чаще упоминалось об усилении синерезиса или об отсутствии изменений у кисломолочных продуктов с пониженным содержанием лактозы. В 2 исследованиях (Kocabaş et al., 2022; Martins et al., 2012) демонстрировалось усиление отделения сыворотки у безлактозных продуктов. В этих работах

изучались айран и йогурт, обогащенный ацидофильной палочкой и бифидобактериями, соответственно. Martins et al. (2012) связывают свои результаты с уменьшением числа экзополисахаридов в безлактозном продукте, что ведет к меньшей стабильности продукта, а Kocabaş et al. (2022) предполагают, что увеличенное количество растворенных сахаров и дестабилизированного казеина в безлактозном айране приводит к ослаблению прочности геля. В 2 работах (Pachekreapol et al., 2021; Schmidt et al., 2016) отмечалось, что степень гидролиза лактозы не влияла на синергизм готового продукта. Лишь в одной публикации (Carpanari et al., 2021) упоминалось, что синергизм у безлактозного продукта ослаблен.

Большинство изученных исследований, в которых оценивались органолептические свойства без-/низколактозных кисломолочных продуктов, свидетельствовали об усилении сладости этих продуктов по сравнению с традиционными аналогами. В 5 работах (Арсеньева, 2010; Kárnyáczki & Csanádi, 2017; Kocabaş et al., 2022; Skryplonek et al., 2017; Zagorska et al., 2020) безлактозный продукт описывается как более сладкий по сравнению с традиционным. Souza Olegario et al. (2022) отметили отсутствие кислинки во вкусе безлактозного продукта. Эта широко известная особенность безлактозных продуктов (Dekker et al., 2019) связана с увеличенным содержанием глюкозы в гидролизованном молоке. Только Lingyun et al. (2019) вкус безлактозного йогурта описывает как более кислый по сравнению с йогуртом на негидролизованном молоке (при этом более кислый вкус развивался только после 21-дневного хранения, что авторы исследования связывают с более активным ростом молочнокислых палочек).

Микробиологические характеристики изучаемых без-/низколактозных кисломолочных продуктов

Микробиологические характеристики полученных без-/низколактозных кисломолочных продуктов были представлены не во всех отобранных работах, в основном, такая информация была представлена в более свежих работах. Всего данные о микробиологическом составе содержали 11 исследований. В 5 работах (Горлова и соавт., 2021; Kocabaş et al., 2022; Oh et al., 2021; Vénica et al., 2015; Khokhlacheva et al., 2015) сообщалось о том, что количество жизнеспособных клеток в готовом без-/низколактозном кисломолочном продукте не отличалось от такового в контрольных образцах, не подвер-

женных гидролизу. В 4 исследованиях (Ibarra et al., 2012; Pachekreapol, Somboonchai, и Krimjai 2021; Yamamoto и др. 2021; Lingyun et al., 2019) без-/низколактозные продукты обладали более высоким числом жизнеспособных клеток. В 2 статьях (Bianchini et al., 2020; Vénica et al., 2014) отмечались обратные результаты: без-/низколактозные продукты показывали меньшее количество жизнеспособных микроорганизмов по сравнению с традиционными. Важно заметить, что во всех публикациях, где приводились данные о микробиологии полученного продукта, результаты указывали на хорошую жизнеспособность, соответствующую требованиям местной нормативной документации. Yamamoto et al. (2021) описали механизм развития микрофлоры на глюкозо-галактозной среде более подробно. В этом исследовании, описывается механизм адаптации лактозосбраживающих бактерий в новой среде. *St. thermophilus* в монокультуре развивается одинаково как в безлактозном молоке, так и в обычном. *L. bulgaricus* развивается в глюкозо-галактозной среде лучше, чем в лактозной, однако при совместном культивировании в безлактозном молоке, число микроорганизмов как первого, так и второго вида выше. Бактерии, находясь в безлактозной среде вступают во взаимовыгодные отношения, которые приводят к повышению их числа в продукте.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проблемам с усвоением лактозы подвержена значительная часть населения мира. Кисломолочные продукты содержат меньше лактозы, по сравнению с неферментированными молочными продуктами, однако все еще могут вызывать симптомы недомогания у людей с лактазной недостаточностью (Corgneau et al., 2017). В связи с этим, существует необходимость разработки кисломолочных продуктов с пониженным содержанием лактозы и подобные исследования проводятся по всему миру. Цель данного обзора предметного поля являлось выявление особенностей низко-/безлактозных кисломолочных продуктов по микробиологическим, органолептическим и физико-химическим свойствам. Для этого автором была проанализирована существующая литература, описывающая исследования или разработку подобных продуктов.

В процессе поиска было идентифицировано 208 публикаций, относящихся к исследованиям низко-/безлактозных кисломолочных продуктов. Большинство обнаруженных публикаций рассматривают либо саму

проблему лактазной недостаточности, либо производство кисломолочных продуктов на молоке растительного происхождения, либо бета-галактозидазную активность молочнокислых бактерий в молоке. В результате отбора источников было включено 34 статьи, соответствующих цели этого обзора предметного поля. География стран происхождения отобранных статей была достаточно разнообразной. Наиболее часто встречались публикации из стран Южной Америки, России и стран ближнего зарубежья и из стран Азии. Практически не обнаруживаются статьи из стран Северной Америки и Северной Европы.

Полученные нами данные, в целом согласуются с тем, как проблема лактазной недостаточности географически распространена среди населения в мире (Itan et al., 2010; Бельмер и соавт., 2005). Количество публикаций из России и стран бывшего СНГ является наиболее частотным, тогда как проблема лактазной недостаточности в этом регионе распространена не так широко, как, например, в странах Азии. Возможно данное преобладание публикаций объясняется тем, что в обзор были включены статьи из русскоязычной базы данных РИНЦ, тогда как для поиска публикаций из остальных регионов использовались международные базы данных.

Публикации имеют достаточно широкий диапазон и по году издания. Однако просматривается заметный тренд на увеличение количества публикаций с течением времени. Подавляющее большинство отобранных исследований вышло за последние 10 лет, при этом больше трети — 35,3% — за последние 3 года (2019–2022 года). Помимо этого, качество работ также заметно повысилось, многие исследования включают более всестороннюю и полную информацию о полученном продукте. Таким образом, подтверждается растущий интерес среди научного сообщества к исследуемой проблеме.

Во всех проанализированных публикациях сообщалось о том, что без-/низколактозные кисломолочные продукты соответствовали требованиям местной нормативной документации, но имелись отличия от традиционных кисломолочных продуктов. Относительно физико-химических свойств в литературе обнаруживаются достаточно противоречивые данные. Сообщается как об увеличении, так и о снижении вязкости, синерезиса и времени ферментации без-/низколактозного продукта по сравнению с традиционным. Подобные результаты можно объяснить, как тем, что методология исследований не была постоянной между работами, так и особенностями са-

мых кисломолочных продуктов, в частности, различиями в составах заквасочных культур.

Schmidt et al. (2016) сравнили несколько заквасок для йогурта, включающих в себя разные штаммы молочнокислых бактерий, зафиксировав, что физико-химические свойства сильно зависят от штаммового состава культур. По-видимому, различиями штаммов можно объяснить достаточно высокую вариабельность результатов, относительно физико-химических свойств готовых продуктов. Штаммы микроорганизмов имеют разные предпочтения по отношению к источнику углерода. В том случае, если микроорганизмы предпочитают глюкозу и/или галактозу, целевая кислотность достигается быстрее, чем в обычном молоке, если же, напротив, микроорганизмы активнее потребляют лактозу, то в молоке, где лактоза практически отсутствует, время ферментации увеличивается, а в смешанной среде для микроорганизмов доступны оба источника углерода, что также сокращает время ферментации. К такому же выводу приходят и исследователи в вышеупомянутой работе.

Вслед за временем ферментации и другими физико-химическими свойствами меняются и органолептические. Консистенция, вкус и общее восприятие продукта зависят непосредственно от таких параметров как вязкость, кислотность и синерезис продукта. Этим можно объяснить различия данных относительно органолептической оценки. Первоначальная сладость продукта же объясняется повышенным содержанием глюкозы, высвобождающейся при распаде лактозы в процессе ферментативного гидролиза. Результаты работы Lingyun et al. (2019) о растущем в процессе хранения кислом вкусе объясняются большим количеством жизнеспособных клеток в безлактозном продукте. Потребляя глюкозу в значительном количестве они снижали сладость продукта быстрее, чем это происходило в традиционном аналоге, о чем и сообщают исследователи в своей работе.

Микробиологическая оценка присутствовавшая в части отобранных исследований, позволила выявить неоднозначные данные. Yamamoto et al. (2021) подробно исследовали механизм развития микрофлоры на глюкозо-галактозной среде, описав механизм адаптации лактозосбраживающих бактерий в новой среде: *S. thermophilus* в монокультуре развивается одинаково как в безлактозном молоке, так и в обычном. *L. bulgaricus* развивается в глюкозо-галактозной среде лучше, чем в лактозной, однако при совместном культивировании их на безлактозном молоке, число микроорганизмов

как первого, так и второго вида выше. Бактерии, находясь в безлактозной среде вступают во взаимовыгодные отношения, которые приводят к повышению их числа в продукте. Основываясь на результатах этого исследования, можно предположить, что при использовании заквасок с большим числом видов или штаммов, негативные эффекты, связанные с отсутствием лактозы нивелируются за счет симбиоза.

Подобный эффект взаимопомощи может играть роль и в исследовании Khokhlacheva et al. (2015), изучавшем кефирные грибки. Авторами работы была показана схожесть развития видов микроорганизмов при культивировании в обычном молоке и безлактозном. Кефирные грибки содержат как лактозосбраживающие виды бактерий, так и виды не обладающие такой способностью. Однако изменение среды никак не влияет на их количество и функциональную активность. Таким образом, выживаемость лактозосбраживающих бактерий и их аналогичное развитие в среде, не содержащей лактозу вероятно объясняется именно взаимодействием микроорганизмов внутри консорциума.

В зависимости от предпочтений конкретных молочнокислых бактерий, свойства продуктов могут изменяться. При более активном использовании бактериями глюкозы, без-/низколактозный кисломолочный продукт может иметь более низкую кислотность и отличаться по вкусу, а также при хранении кислотность продукта может снижаться быстрее (Lingyun et al., 2019), так как выделение молочной кислоты будет происходить более активно. В то же время, если бактерии предпочитают лактозу в качестве источника углерода, то процесс ферментации идет медленнее (Yamamoto et al., 2021; Schmidt et al., 2016), так как микроорганизмам необходимо время для адаптации. В смешанных же культурах процесс ферментации наименее зависим (Khokhlacheva et al., 2015; Yamamoto et al., 2021) от среды культивации. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что при изготовлении без-/низколактозной кисломолочной продукции предпочтительнее использовать закваски с разнообразным видовым составом. Однако такой вывод нельзя считать окончательным, так как, во-первых, большинство публикаций, рассмотренных в этом обзоре предметного поля фокусируется на йогурте либо йогурте с добавками, такими как *L. acidophilus* или бактериями рода *Bifidobacterium*. Работ, изучающих другие виды молочнокислых бактерий, используемых для приготовления различных кисломолочных продуктов, достаточно мало, а их свойства могут отличаться. Во-вторых, как показано в работе Yamamoto

et al. (2021), метаболизм микроорганизмов может меняться, особенно при со-культивировании, что также необходимо исследовать более подробно. Однако, так или иначе, можно судить о том, что свойства готового кисломолочного продукта с искусственно пониженной концентрацией лактозы сильно зависят от штаммов, входящих в состав закваски. Таким образом, при производстве без-/низколактозных кисломолочных продуктов важно учитывать особенности штаммов и тщательно подходить к выбору закваски, чтобы свойства готового продукта отвечали требованиям регуляторов и потребителей.

ВЫВОДЫ

В целом, кисломолочные продукты с пониженным содержанием лактозы, не имеют критически важных недостатков. Все исследованные в данном обзоре предметного поля работы подтверждают, что полученные кисломолочные продукты имеют удовлетворительные органолептические, физико-химические и микробиологические свойства, отвечающие требованиям нормативной документации. Однако сообщается о некоторых отличиях подобных продуктов, как положительно, так и негативно влияющих на их качество.

Для более полного понимания особенностей без-/низколактозных кисломолочных продуктов в отношении их микробиологии, физико-химических и органолептических свойств, а также механизма их взаимоотношения требуются дополнительные исследования. Так, существующая литература, в основном использует как объект изучения закваски для йогурта, в то время как исследования на других заквасках или кисломолочных продуктах встречаются редко. Несмотря на то, что йогурт является самым популярным кисломолочным продуктом в мире, автору представляется важным разнообразие исследуемых микроорганизмов, так как, судя по существующим данным, свойства и качество получаемых кисломолочных продуктов достаточно сильно зависят от используемых в заквасках штаммов и видов бактерий.

Существует потребность в более глубоком изучении механизмов роста и развития молочнокислых бактерий на глюкозно-галактозной среде. Полученные из таких исследований данные могут объяснить каким образом использование различных заквасок и условий производства влияет на характеристики готового продукта. На текущий момент, такие исследования встречаются редко, в то время как большее число подобных работ могут быть полезными для данной области.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Арсеньева, Т. П. (2010). Исследование и разработка низколактозных кисломолочных напитков лечебно-профилактического назначения. *Процессы и аппараты пищевых производств*, 2.
- Arsenyeva, T. P. (2010). Research and development of low-lactose sour-milk drinks for therapeutic and prophylactic purposes. *Processes and Apparatus of Food Production*, 2. (In Russ.)
- Бегунова, А. В., Савинова, О. С., Рожкова, И. В., Крысанова, Ю. И., & Фёдорова, Т. В. (2020). Оценка пробиотического потенциала и функциональных свойств *Lactobacillus reuteri* LR1 in vitro. *Прикладная биохимия и микробиология*, 56(5). <https://doi.org/10.31857/S0555109920050049>
- Begunova, A. V., Savinova, O. S., Rozhkova, I. V., Krysanova, Yu. I., & Fedorova, T. V. (2020). Evaluation of the probiotic potential and functional properties of *Lactobacillus reuteri* LR1 in vitro. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 56(5). (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0555109920050049>
- Бельмер, С. В., Мухина, Ю. Г., Чубарова, А. И., Гераськина, В. П., & Гасилина, Т. В. (2005). Непереносимость лактозы у детей и взрослых. *Лечащий врач*, 1, 34–38.
- Belmer, S. V., Mukhina, Yu. G., Chubarova, A. I., Geras'kina, V. P., & Gasilina, T. V. (2005). Lactose intolerance in children and adults. *Attending Physician*, 1, 34–38. (In Russ.)
- Голубев, А. Е., Ионова, И. И., & Машков, В. В. (2019). Актуальность расширения низколактозных кисломолочных напитков. *Вестник науки*, 4(13), 137–141.
- Golubev, A. E., Ionova, I. I., & Mashkov, V. V. (2019). The relevance of expanding low-lactose sour-milk drinks. *Science Bulletin*, 4(13), 137–141. (In Russ.)
- Горлова, А. И., Жукова, Е. В., & Пастух, О. Н. (2021). *Использование ферментов Lactozym и Maxilact в технологии низколактозного йогурта* (с. 154–59). РГАУ-МС ХА имени К.А. Тимирязева.
- Gorlova, A. I., Zhukova, E. V., & Pastukh, O. N. (2021). *The use of Lactozym and Maxilact enzymes in the technology of low-lactose yogurt* (pp. 154–59). Timiryazev Russian State Agrarian University. (In Russ.)
- Канаев, М. А., Баймишев, Р. Х. & Канаева, Е. С. (2021). *Применение безлактозного молока при производстве йогурта* (с. 121–25). Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова.
- Kanaev, M. A., Baymishev, R. Kh. & Kanaeva, E. S. (2021). *The use of lactose-free milk in yogurt production* (pp. 121–25). Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov. (In Russ.)
- Николаева, М. А. (2018). Рынок молочных товаров: состояние и перспективы развития. *Food industry*, 3(3), 78–85. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-3-12>
- Nikolaeva, M. A. (2018). The dairy products market: current state and development prospects. *Food Industry*, 3(3), 78–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-3-12>
- Перевалова, Ю. В. (2008). Кисломолочный низколактозный продукт. *Молочная промышленность*, 7.
- Perevalova, Yu. V. (2008). Low-lactose sour-milk product. *Dairy Industry*, 7. (In Russ.)
- Трофимов, И. Е. (2016). Исследование и разработка технологии белково-углеводного кисломолочного продукта для специализированного питания. *Вестник Омского Государственного Аграрного Университета*, 1(21), 235–242.
- Trofimov, I. E. (2016). Research and development of the technology for a protein-carbohydrate sour-milk product for specialized nutrition. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*, 1(21), 235–242. (In Russ.)
- Фаттахова, И. С., Силантьева, Л. А. (2009). Низколактозный кисломолочный пастообразный продукт. *Молочная промышленность*, 7, 54–55.
- Fattakhova, I. S., Silantyeva, L. A. (2009). Low-lactose sour-milk pasty product. *Dairy Industry*, 7, 54–55. Ali, M.A., Kamal, M.M., Rahman, M.H., Nurealam, S., Haque, A., Saha, K. K., Rahman, A. (2022). Functional dairy products as a source of bioactive peptides and probiotics: Current trends and future perspectives. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1263–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05091-8>
- Bianchini, C. B., Vieira, M.P.T., Arriola, N.D.A., Dias, C.O., Seraglio, S.K.T., Costa, A.C.O., Komatsu, R.A., Machado, B.D., Amboni, R.D.M.C., & Fritzen-Freire, C.B. (2020). Incorporation of uvaia (*eugenia pyriformis* cambess) pulp in yogurt: A promising application in the lactose-free dairy product market. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14829>
- Capcanari, T., Chirsanova, A., Covaliov, Eu., & Siminiuc, R. (2021). Development of lactose free yogurt technology for personalized nutrition. *Food and Nutrition Sciences*, 12(11), 1116–35. <https://doi.org/10.4236/fns.2021.1211082>
- Corgneau, M., Scher, J., Ritie-Pertusa, L., Le, D. t. I., Petit, J., Nikolova, Y., Banon, S., & Gaiani, C. (2017). Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(15), 3344–56. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1123671>
- Dekker, P. J. T., Koenders, D., & Bruins, M. J. (2019). Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production,

- Nutrition and Health Benefits. *Nutrients*, 11(3), 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>
- Ganatsios, V., Nigam, P., Plessas, S., & Terpou, A. (2021). Kefir as a functional beverage gaining momentum towards its health promoting attributes. *Beverages*, 7(3), 48. <http://dx.doi.org/10.3390/beverages7030048>
- Garcia, S.L.A., Silva, G.M., Medeiros, J.M.S., Queiroga, A.P.R., Queiroz, B.B., Farias, D.R.B., Correia, J.O., Florentino, E.R., & Alonso Buriti, F.C. (2020). Influence of co-cultures of *Streptococcus Thermophilus* and probiotic lactobacilli on quality and antioxidant capacity parameters of lactose-free fermented dairy beverages containing *Syzygium Cumini* (L.) Skeels pulp. *RSC Advances*, 10(17), 10297–308. <https://doi.org/10.1039/c9ra08311a>
- Ibarra, A., Acha, R., Calleja, M. -T., Chiralt-Boix, A., & Wittig, E. (2012). Optimization and shelf life of a low-lactose yogurt with *Lactobacillus Rhamnosus* HN001. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 3536–48. <https://doi.org/10.3168/jds.2011–5050>
- Ismail, A.A., Mogensen, G., & Poulsen, P.R. (1983). Organoleptic and physical properties of yogurt made from lactose hydrolysed milk. *International Journal of Dairy Technology*, 36(2), 52–55. <https://doi.org/10.1111/j.1471–0307.1983.tb02537.x>
- Itan, Y., Jones, B. L., Ingram, C. J., Swallow, D. M., & Thomas, M. G. (2010). A worldwide correlation of lactase persistence phenotype and genotypes. *BMC Evolutionary Biology*, 10, 36. <https://doi.org/10.1186/1471–2148-10-36>
- Jia, L., Hu, Zh., Xue, Lu, Lu, D., Zhao, X., Cheng, K., Yang, X. (2019). Comparison of Lactose-Free and Plain Yoghurt Fermented at Different Temperatures. *Food Science*, 40(23), 79. <https://doi.org/10.7506/spkx1002–6630-20190515–167>
- Kárnyáczki, Z., & Csanádi, J. (2017). Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Alimentaria*, 46(4), 403–10. <https://doi.org/10.1556/066.2016.0018>
- Khokhlacheva, A.A., Egorova, M.A., Kalinina, A.N., & Gradova, N. B. (2015). Trophic patterns of functioning and microbial profile of the evolutionally established associated kefir grains culture. *Microbiology*, 84(4), 561–69. <https://doi.org/10.1134/S0026261715040104>
- Kocabaş, H., Firuze E., Tugba A., & Küçükçetin, A. (2022). Effect of lactose hydrolysis and salt content on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of Ayran. *International Dairy Journal*, 129, 105360. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105360>
- Kosikowski, F.V. (1979). Low lactose yogurts and milk beverages by ultrafiltration. *Journal of Dairy Science*, 62(1), 41–46. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302\(79\)83198–7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022–0302(79)83198–7)
- Martins, A. R., Monteiro, R.L., Burkert, J.F.M., & Burkert, C.A.V. (2012). Hidrólise enzimática e fermentação láctica simultâneas na obtenção de um iogurte com baixo teor de lactose [Simultaneous enzymatic hydrolysis and lactic fermentation to obtain a yogurt with low lactose content]. *Ciencia e Agrotecnologia*, 36(5), 551–59. <https://doi.org/10.1590/S1413–70542012000500008>
- Moreira, T. C., da Silva, A. T., Fagundes, C., Rodrigues Ferreira, S. M., Bileski Cândido, L. M., Passos, M., Hecke Krüger, C. C. (2017). Elaboration of yogurt with reduced level of lactose added of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *LWT — Food Science and Technology*, 76, Part B, 326–329. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.033>
- Odarchenko, D., Spodar, K., Karbivnych, T., & Sokolova, E. (2020). Conducting commodity assessment of lactose free and ordinary (lactose) yoghurts on the example of ukrainian producers. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(56), 27–30. <https://doi.org/10.15587/2706–5448.2020.218697>
- Oh, S., Kim, B. K., Chun, Y.-G., & Park, D. J. (2021). Fermentation characteristics of starter cultures in lactose-hydrolyzed milk for the elderly. *Journal of Dairy Science and Biotechnology*, 39(1), 20–26. <https://doi.org/10.22424/jdsb.2021.39.1.20>
- Olegario, L. S., González-Mohino, A., Estévez, M., Madruga, M.S., & Ventanas, S. (2022). Impact of absence of lactose on the dynamic sensory profile of yogurt: A multiple-intake TDS approach. *LWT*, 162, 113430. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113430>
- Pachekrepapol, U., Somboonchai, N., & Krimjai, W. (2021). Physicochemical, rheological, and microbiological properties of lactose-free functional yogurt supplemented with Fructooligosaccharides. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15017>
- Perotti, M. C., Wolf, I. V., Venica, C. I., Bergamini, C. V. (2012). Dairy products modified in their lactose content. *Current Nutrition & Food Science*, 8(1), 8–18. <http://dx.doi.org/10.2174/157340112800269597>
- Pinto, S.S., Fritzen-Freire, C.B., Dias, C.O., & Amboni, R.D.M.C. (2019). A potential technological application of probiotic microcapsules in lactose-free Greek-style yoghurt. *International Dairy Journal*, 97, 131–38. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.009>
- Raza, A, Iqbal, S, Ullah, A, Khan, MI, Imran, M. (2018). Enzymatic conversion of milk lactose to prebiotic Galacto-Oligosaccharides to produce low lactose yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13586>
- Schmidt, C., Mende, S., Jaros, D., & Rohm, H. (2016). Fermented milk products: Effects of lactose hydrolysis and fermentation conditions on the rheological properties. *Dairy Science & Technology*, 96(2), 199–211. <https://doi.org/10.1007/s13594–015-0259–9>
- Silanikove, N., Leitner, G., & Merin, U. (2015). The interrelationships between lactose intolerance and the modern dairy

- industry: Global perspectives in evolutionary and historical backgrounds. *Nutrients*, 7(9), 7312–7331. MDPI . <http://dx.doi.org/10.3390/nu7095340>
- Skryplonek, K., Gomes, D., Viegas, J., Pereira, C., & Henriques, M. (2017). Lactose-free frozen yogurt: Production and characteristics. *Acta scientiarum polonorum. Technologia Alimentaria*, 16(2), 171–179. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0478>
- Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C., Dmytrów, I., & Mituniewicz-Matek, A. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838–7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>
- Tonguç, I.E., & Karagözlü, C. (2017). Yoghurt drink for lactose and galactose intolerant patients. *Italian Journal of Food Science*, 29(4), 697–706. <https://doi.org/10.14674/IJFS-743>
- Vénica, C. I, Bergamini, C. V., Silvina, R. R., & Perotti, M. C. (2015). Galacto-oligosaccharides formation during manufacture of different varieties of yogurt. Stability through storage. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.032>
- Vénica, Cl. I., Perotti, M. C., & Bergamini, C. V. (2014). Organic acids profiles in lactose-hydrolyzed yogurt with different matrix composition. *Dairy Science & Technology*, 94(6), 561–80. <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0180-7>
- Yamamoto, E., Watanabe, R., Ichimura, T., Ishida, T., Kimura, K. (2021). Effect of Lactose Hydrolysis on the milk-fermenting properties of *Lactobacillus Delbrueckii* Ssp. *Bulgaricus* 2038 and *Streptococcus Thermophilus* 1131. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1454–64. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19244>
- Zagorska, J., Ciprovica, I., Straumite, E., & Majore, K. (2020). Acceptance of low-sugar yoghurt among latvian teenagers. *Agronomy Research*, 18 (Special Issue 3), 1897–1905. <https://doi.org/10.15159/AR.20.111>