

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-3-2596>
<https://elibrary.ru/ZVWSDN>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Современные биотехнологические решения в области использования молочнокислых бактерий для молочной промышленности: от селекции штаммов до пробиотических продуктов



С. А. Кишилова^{ID}, В. А. Леонова^{ID}, В. А. Митрова, И. В. Рожкова*^{ID}

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 07.04.2025

Принята после рецензирования: 25.07.2025

Принята к публикации: 05.08.2025

*И. В. Рожкова: rozhkova@vniimi.org,

<https://orcid.org/0000-0003-4441-4515>

С. А. Кишилова: <https://orcid.org/0009-0000-9498-4757>

В. А. Леонова: <https://orcid.org/0000-0003-2691-8859>

© С. А. Кишилова, В. А. Леонова, В. А. Митрова,
И. В. Рожкова, 2025



Аннотация.

Старейшей биотехнологической практикой можно считать ферментацию пищевого сырья с участием молочнокислых бактерий. Развитие молочной промышленности требует решения задач в области разработок заквасочных культур для получения продукции с определенными характеристиками и стабильными показателями качества. Целью обзора являлась систематизация литературных сведений по современным биотехнологическим решениям в области формирования баз данных и прогнозирования свойств молочнокислых микроорганизмов, выделения и подбора культур с производственно-ценными свойствами. Обзорное исследование включало критерии отбора, методы поиска литературных источников, критерии включения и исключения материалов, обобщение полученных материалов и их представление. Источники для обзора подбирались по базам данных Scopus, Google Scholar, eLIBRARY.RU. Временные рамки анализируемых источников – с 1999 по 2024 гг. При подборе литературы использовались поисковые запросы по ключевым словам на русском и английском языках. Ценность штаммов определяется способностью сохранять биохимическую активность, высокой скоростью ферментации, устойчивостью к солям и кислотам, способностью синтезировать широкий спектр биологически активных соединений. На основе новых штаммов молочнокислых бактерий во всем мире идет создание активных производственно-ценных консорциумов для молочной промышленности и разработки продуктов с пробиотическими свойствами. Современные принципы оценки биосовместимости при создании поликомпонентных микробных консорциумов включают подтверждение видовой подлинности отобранных производственных штаммов, их синергизма внутри ассоциации, безопасности взаимодействия с индигенной микрофлорой человека, сохранности при добавлении пребиотиков, микроэлементов, витаминов и антиоксидантов. Развиваются генно-инженерные методы, основанные на направленной модификации путей метаболизма организма-продуцента. Их высокая эффективность, по сравнению с традиционными способами, приводит к снижению стоимости продукта. В целях обеспечения продовольственной безопасности и технологического суверенитета, а также поддержания здорового генофонда нации, необходимо развивать российское производство заквасочных культур для молочной промышленности, включая пробиотические, обеспечивающих стабильное качество и заданные характеристики продукции.

Ключевые слова. Молочная промышленность, биотехнологические решения, ферментация, молочнокислые микроорганизмы, закваска, пробиотические культуры, производственно-ценные свойства

Для цитирования: Кишилова С. А., Леонова В. А., Митрова В. А., Рожкова И. В. Современные биотехнологические решения в области использования молочнокислых бактерий для молочной промышленности: от селекции штаммов до пробиотических продуктов. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 3. С. 624–633. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-3-2596>

Advanced Biotechnological Solutions for Lactic Acid Bacteria in Dairy Industry: From Strain Selection to Probiotic Products



Svetlana A. Kishilova^{ID}, Victoria A. Leonova^{ID},
Vera A. Mitrova, Irina V. Rozhkova*^{ID}

All-Russian Dairy Research Institute^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 07.04.2025
Revised: 25.07.2025
Accepted: 05.08.2025

*Irina V. Rozhkova: rozhkova@vniimi.org,
<https://orcid.org/0000-0003-4441-4515>
Svetlana A. Kishilova: <https://orcid.org/0009-0000-9498-4757>
Victoria A. Leonova: <https://orcid.org/0000-0003-2691-8859>

© S.A. Kishilova, V.A. Leonova, V.A. Mitrova, I.V. Rozhkova, 2025



Abstract.

Lactic fermentation is one of the oldest biotechnologies. The modern dairy industry requires new starter cultures to obtain products with target properties and qualities. This review systematizes scientific publications on advanced biotechnological solutions in the field of database formation and prediction of the properties of lactic acid microorganisms, as well as on the isolation and selection of cultures with optimal industrial qualities.

The review included publications in Russian and English registered in Scopus, Google Scholar, and eLIBRARY.RU in 1999–2024. The industrial value of strains depends on their biochemical activity, fermentation rate, resistance to salts and acids, and the range of biologically active compounds they are able to synthesize. Novel lactic acid strains create active industrial consortia for functional products with probiotic properties. The modern principles of biocompatibility assessment for multicomponent microbial consortia include species authenticity, inter-consortium synergism, safety for human microflora, and combinability with prebiotics, microelements, vitamins, and antioxidants. Genetic engineering is another advanced option: it provides targeted modification of the metabolic pathways of the producer. It is more efficient than conventional methods and decreases the cost of the product. Domestic industrial production of probiotic starter cultures ensures food security and technological independence, as well as improves the national health.

Keywords. Dairy industry, biotechnological solutions, fermentation, lactic acid microorganisms, starter, probiotic cultures, industrial properties

For citation: Kishilova SA, Leonova VA, Mitrova VA, Rozhkova IV. Advanced Biotechnological Solutions for Lactic Acid Bacteria in Dairy Industry: From Strain Selection to Probiotic Products. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(3): 624–633. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-3-2596>

Введение

Молочная промышленность – одна из важнейших отраслей пищевой промышленности. Ее развитие требует решения актуальных задач в области разработок заквасочных культур для получения продукции с определенными биохимическими и органолептическими характеристиками, а также со стабильными показателями качества. Сохранение и пополнение фондов российских коллекций микроорганизмов с ценными производственными свойствами и высоким потенциалом для изготовления заквасок и микробных препаратов является важным фактором технологического суверенитета страны [1, 2]. Требования к промышленно значимым микроорганизмам и их консорциумам обусловлены как особенностями технологического процесса, так и их назначением. Они способны синтезировать органические кислоты, экзополисахариды, соединения,

придающие продуктам специфический или традиционный вкус и аромат, а также бактериоцины. Кроме того, учитывается характер образуемого сгустка, консистенция продукта, постокислительная активность при разных температурах, резистентность к бактериофагам. Целесообразно расширение спектра микроорганизмов для их включения в состав заквасок, в том числе штаммов-антагонистов в качестве культур, защищающих кисломолочные продукты и сыры от развития нежелательной микрофлоры. Их добавление к основной закваске не влияет на вкусовые характеристики продукта и позволяет продлить его срок годности, что экономически выгодно [3, 4]. Ценность штаммов определяется рядом факторов: способность длительно сохранять биохимическую активность, зависящую не только от условий культивирования, но и от соотношения между биохимически активными и неактивными

клетками в популяции; высокая скорость ферментации; устойчивость к солям и кислотам; синтез широкого спектра биологически активных соединений [5–7].

Использование методов генной инженерии для создания новых штаммов молочнокислых бактерий с ценными свойствами является перспективным и многообещающим направлением. Однако требования, согласно которым все применяемые для создания новых штаммов генетические элементы должны быть получены из культур, относящихся к видам, традиционно задействованным в производстве молочных продуктов, вносят ограничения в эти исследования. Кроме того, существует проблема сохранности свойств генетически модифицированных микроорганизмов в сложных пищевых системах во время крупномасштабного производства и хранения.

Целью обзора являлась систематизация литературных сведений по современным биотехнологическим решениям в области формирования баз данных и прогнозирования свойств молочнокислых микроорганизмов, выделения и подбора культур с производственными свойствами.

Объекты и методы исследования

В данном обзоре объектами послужили исследовательские и обзорные статьи, подходящие под критерии отбора. Основным условием для включения публикации в работу являлось наличие информации о биотехнологических решениях в области принципов подбора культур для производства молочных продуктов, разработки заквасок, формирования баз данных и прогнозирования свойств молочнокислых микроорганизмов.

В исследовании рассматривались обзорные и экспериментальные статьи на русском и английском языках. Временные рамки анализируемых источников – с 1999 по 2024 гг. Дополнительным критерием отбора являлось наличие доступа к полному тексту статьи. В случае отсутствия бесплатного доступа к полному тексту, статья исключалась на этапе идентификации.

Поиск источников осуществлялся в базах данных Scopus, Google Scholar, eLIBRARY.RU. Для подбора литературы использовались поисковые запросы по ключевым словам и словосочетаниям на русском и английском языках: молочная промышленность, биотехнологические решения, молочнокислые микроорганизмы, производственно-ценные свойства; dairy industry, biotechnological solutions, lactic acid microorganisms, production-valuable properties. Из отобранных работ извлечена следующая информация: имена авторов, страна, цель и дизайн исследования, выводы, год публикации, название печатного издания. В работах проанализированы названия, аннотации и контент. Суммарно в базах данных найдено 70 подходящих статей. На этапе отбора по названию и аннотации исключено 3 источника как не соответствующие контексту. При анализе полного текста исключено 9 источников.

В результате в обзор вошло 58 работ: 26 за период 2019–2024 г., 15 за 2013–2018 г., 17 за 1999–2013 г.

Результаты и их обсуждение

Принципы подбора культур для производства продуктов питания. Правильный выбор штаммов со стабильными производственно-ценными свойствами – важный фактор, который необходимо учитывать при применении молочнокислых бактерий (МКБ) в пищевых продуктах и напитках, отличающихся большим разнообразием [8]. На их рост и метаболическую активность существенное влияние оказывает состав закваски, pH, технологические условия на производстве [9].

Главная особенность МКБ – способность ферментировать углеводы в молочную кислоту, что имеет определяющее значение для сохранения, безопасности и вкусовых качеств сброженных продуктов. Вместе с тем, метаболические возможности МКБ выходят далеко за рамки производства молочной кислоты. Они образуют широкий спектр метаболитов, которые способствуют сохранению продуктов питания, улучшают вкусовые характеристики и оказывают положительное влияние на здоровье человека. Это делает МКБ весьма значимыми в пищевой промышленности [10–12]. Они, помимо прочего, способны проявлять антагонизм к нежелательным, в том числе патогенным, микроорганизмам [13]. Хотя намеренное использование молочнокислых бактерий, продуцирующих бактерицины, для повышения микробиологической безопасности пищевых продуктов пока не получило широкого распространения, на рынке уже представлено несколько «защитных» культур. Их функция заключается в подавлении нежелательной и патогенной микрофлоры, например *Listeria monocytogenes* и *Staphylococcus aureus* в йогурте [14]. Особенности метаболитного взаимодействия видов МКБ в закваске определяют стабильность их сосуществования. Оно является устойчивым, если при одном лимитирующем субстрате чувствительность микроорганизмов к собственным продуктам жизнедеятельности выше, чем к метаболитам конкурирующих видов. На поведение микроорганизмов в сообществе влияют продукты обмена веществ этих же бактерий, действующие как ингибиторы, несмотря на достаточное количество субстрата [15]. Свойства продукта зависят от микроорганизма, осуществляющего брожение, и от характера и интенсивности протекающих ферментативных реакций. В России в различных регионах на протяжении многих лет используются природные закваски, представляющие собой смесь молочнокислых бактерий и дрожжей. Изучение характеристик этих заквасок и особенностей взаимодействия микроорганизмов в их составе может быть полезно для разработки продуктов, адаптированных к потребностям населения конкретных регионов страны [16–18].

Методы выделения и идентификации МКБ. Традиционные методы выделения МКБ включают отбор

образцов, посев на специальные питательные среды, получение и идентификация чистых культур. Далее исследуются биологические свойства и производственная эффективность полученных культур. Для идентификации применяют классические микробиологические и биохимические методы, а также методы молекулярной биологии, особенно эффективные при идентификации фенотипически трудноразличимых организмов [19]. Разрабатываются ускоренные методики для достоверного дифференцирования микроорганизмов, в том числе близкородственных видов – например метод мультислокусного секвенирования. При помощи данного метода разработан способ дифференциации бактерий *Lactobacillus helveticus* и *L. acidophilus*. Проведенное мультислокусное секвенирование (MLST) и сравнительный геномный анализ позволили разделить три близких вида стрептококков *Streptococcus thermophilus*, *S. vestibularis* и *S. salivarius*, а также предположить, что *S. thermophilus*, вероятно, эволюционировал от *S. vestibularis* [20]. Полученные результаты могут способствовать созданию ускоренных подходов к идентификации новых культур и определения видового состава ферментированных продуктов и заквасок [21, 22].

Метаболическое разнообразие МКБ подтверждается способностью к росту на разных субстратах – растениях, овощах, фруктах, в кисломолочных самоквасных продуктах, в различных нишах млекопитающих. Бактерии, относящиеся к родам *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* и особенно *Lactococcus*, тесно связаны с производством пищевых продуктов и представляют большую практическую ценность [23]. Многолетние интенсивные исследования МКБ позволили накопить обширные знания об их метаболизме и генетике. Технологические разработки с участием МКБ касаются не только создания заквасочных культур с заданными свойствами, но и ряда других направлений – химии, медицины, сельского хозяйства. Они используются в виноделии, хлебопекарной промышленности, для приготовления кофе, какао и силоса. Развитие генно-инженерных методов позволило изменять метаболические процессы в МКБ для получения продуцентов ценных биохимических веществ [24].

Консорциумы МКБ. МКБ играли важную роль в рационе человека с древнейших времен. Ферментацию пищевого сырья с их участием можно считать старейшей биотехнологической практикой.

Изначально ферментированные продукты питания получали путем простого переноса части сквашенного продукта в новый. В современных условиях этот архаичный способ остается востребованным только в домашней практике. Одним из важных шагов для обеспечения безопасности и стабилизации ферментированной продукции в крупномасштабном производстве является использование заквасок, что стандартизирует процесс и качество конечного продукта [25]. Заквасочные культуры тщательно отбираются для их надежной

адаптации к пищевой среде. Кроме своей основной задачи (ферментации), они повышают полезные для здоровья свойства продуктов питания [26]. В контексте сохранения качества, особенно свежих продуктов, фруктовых и овощных напитков, имеющих динамичный микробиом, выбор заквасочных культур приобретает первостепенное значение. Метаболиты МКБ значительно изменяют органолептические и питательные свойства продуктов и продлевают срок их хранения; бактериоцины и антимикробные пептиды снижают риск порчи и возможного возникновения пищевых инфекций [12]. Устойчивость сосуществования нескольких видов МКБ молока и заквасок во многом определяется их метаболитами. Выработка аутоингибиторов играет важную роль в определении поведения микроорганизмов в микробном сообществе ферментированного молока [27]. Изучение микробных метаболитов, выделяемых смешанными ассоциациями микроорганизмов, поможет улучшить контроль над использованием микроорганизмов для создания стартовых культур и производства разнообразных соединений, применяемых в лечебно-профилактических целях и для разработки функционального питания, ориентированного на различные группы населения.

Большое внимание уделяется конструированию микробных консорциумов. Это ассоциации двух или более микроорганизмов, со схожими биохимическими и технологическими свойствами и отсутствием антагонизма между микроорганизмами-участниками. Оптимально подобранные консорциумы позволяют обеспечить желаемые пробиотические, органолептические, физико-химические и технологические свойства. Микробные консорциумы способны развиваться на сложных субстратах и более устойчивы к неблагоприятным факторам. Современные принципы оценки биосовместимости при создании поликомпонентных микробных консорциумов включают подтверждение видовой подлинности отобранных производственных штаммов, синергизма внутри ассоциации, безопасности взаимодействия с индигенной микрофлорой человека, а также сохранности при добавлении пребиотиков, микроэлементов, витаминов и антиоксидантов [28].

От особенностей микроорганизмов, входящих в состав консорциумов, существенно зависят их свойства. В процессе сокультивирования представителей разных групп могут происходить изменения в биохимической активности микроорганизмов. В частности, при совместном культивировании *Bifidobacterium longum* и *B. breve* изменяется экспрессия белков углеводного метаболизма, синтез клеточной стенки и транспорт питательных веществ. Метаболиты *Enterococcus faecium* стимулируют рост и антагонистическую активность штаммов *B. longum* и *L. plantarum* [29].

Разработка и оптимизация заквасок. Актуально изучение новых штаммов МКБ и микробных консорциумов с заданными свойствами и технологическими характеристиками для оптимизации производства

заквасок и пищевых ингредиентов [22]. Если традиционный подход к составлению заквасок основывался на оптимальной температуре их роста, то в современных условиях доступны концентрированные лиофилизированные или замороженные наборы для прямого внесения. Это позволяет производителям кисломолочных продуктов смешивать разные штаммы бактерий – добавлять пробиотические микроорганизмы в йогурт и другие молочные продукты, к закваскам для сметаны *S. thermophilus* для повышения вязкости продукта и др. Перспективным направлением является борьба с нежелательными и патогенными микроорганизмами в кисломолочных продуктах с помощью заквасок, естественно ингибирующих рост за счет выработки бактериоцинов [30].

Учитывая высокую востребованность сыров, создание новых заквасок для сыродельной отрасли представляет собой значительный потенциал в биотехнологии. Обогащение продукта метаболитами, вырабатываемыми микроорганизмами закваски, не только улучшает вкусовые характеристики традиционных сыров, но и повышает их биологическую ценность. В качестве примера можно привести поливидовую закваску «Бетабаланс 1», применяемую в Белоруссии, в состав которой включены штаммы *L. delbrueckii* subsp. *lactis* и *L. casei* subsp. *casei*. Она усиливает аромат сыра и ингибирует рост маслянокислых бактерий и дрожжей [2]. На основе природных штаммов МКБ вида *L. delbrueckii* subsp. *lactis* разработана технология производства новых заквасок для сыров и созданы концентрированные закваски со сбалансированным уровнем протеолитической активности [31]. В рамках российско-белорусского проекта «Проксибиотик» изучены 16 штаммов МКБ, выделенных в Белоруссии, с подтвержденными пробиотическими свойствами и эффективностью для коррекции микрофлоры ЖКТ в составе кисломолочных продуктов. Биотехнологические опыты проводились, в том числе, на борту Международной космической станции. Благодаря активным научным разработкам, масштабы использования биотехнологий для массового производства молочной продукции с новыми свойствами имеют значительный потенциал для расширения в РФ.

Современные подходы к получению штаммов с производственно-ценными свойствами. В разработке инновационных продуктов лидируют ученые США, Японии и ряда европейских стран. Их исследования основываются на биотехнологических подходах к производству пробиотиков, пребиотиков, новых штаммов МКБ и их консорциумов с оптимальными биологическими и технологическими характеристиками [22].

Применение направленной модификации путей метаболизма организма-продуцента методами метаболической инженерии для получения биологически активных соединений интенсифицируют производство и дают положительный экономический эффект. Биоинженерные методы, по сравнению с традицион-

ными (случайным мутагенезом и др.), более эффективны. Это снижает стоимость продукта, обеспечивая повышение объемов продаж.

Технологии omic внесли значительный вклад в понимание микробиологических процессов. Вычислительные инструменты позволяют исследователям выявлять закономерности, делать прогнозы, применять результаты в практических контекстах. Геномика характеризует потенциальные возможности организма, транскриптомика количественно измеряет динамическую экспрессию молекул РНК. Определение в исследуемом материале количественного и качественного профиля всех синтезированных РНК позволяет выяснить, какие именно гены транскрибируются для последующего синтеза соответствующих белков. Протеомика (изучение белковых систем) дает характеристику количества и особенностей всех белковых продуктов на уровне клеток. Для оценки протеома белки идентифицируют путем анализа фрагментов, получаемых при воздействии протеолитических ферментов и в дальнейшем разделяемых методом микрокапиллярной жидкостной хроматографии. Новым количественным методом протеомики является масс-спектрометрический анализ пептидов. Omic-технологии позволяют исследовать геном, транскриптом и протеом всех симбиотических микроорганизмов, включая некультивируемые формы, без необходимости выделения чистых культур. Различные omic-подходы также используются для оценки функциональных эффектов пробиотических микроорганизмов [32, 33]. Генетически модифицированный *Lactococcus lactis* был первым организмом, примененным для лечения болезни Крона (хронического воспаления кишечника) [34]. Штаммы лактококков, продуцирующие белки и пептиды с лечебными свойствами, представляют значительный интерес для развития клинической практики.

Анализ транскриптома клеток *L. plantarum*, адаптированных к 8 % этанолу, выявил сверхэкспрессию генов, участвующих в метаболизме цитрата и архитектуре клеточной оболочки, что может помочь понять механизмы устойчивости к этанолу [35].

Сначала метаболическая инженерия в области МКБ была направлена на получение вкусовых соединений – аланина, диацетила и ацетальдегида. Применение аланиндегидрогеназы из *Bacillus subtilis* для биосинтеза аланина лактококками – достаточно успешно [36].

Предполагается, что данная методика применительно к *S. thermophilus*, используемых для производства йогурта, может способствовать получению сладких и полезных ферментированных продуктов. Диацетил, придающий приятный аромат молочным продуктам, является побочным продуктом и образуется в результате окислительного декарбоксилирования α -ацетолактата. Его синтез связан с утилизацией цитрата. Разработки метаболической инженерии, направленные на увеличение производства диацетила из лактозы или глюкозы, привели к созданию штам-

мов *L. brevis* с мутациями в пируватдегидрогеназе, способных вырабатывать диацетил из отхода сыроделия – сывороточного пермеата [37].

Несбалансированное питание и дефицит витаминов с негативным влиянием на здоровье, остаются широко распространенной проблемой. Благодаря способности штаммов МКБ синтезировать витамины группы В (B_2 , B_{11} , B_{12}) и их пищевой ценности, перспективен как поиск штаммов-продуцентов, так и их конструирование методами геной инженерии [38]. Эффективность МКБ в технологических процессах или в ЖКТ зависит от возможности справляться с неблагоприятными факторами, среди которых наиболее важен кислотный стресс. В работе D. I. Serrazanetti *et al.* представлены исследования механизмов устойчивости бактерий к кислотному стрессу [39]. В результате обнаружены гены, необходимые для выживания и адаптации МКБ к неблагоприятным условиям pH. Для создания популяций лактобацилл с разной кислотоустойчивостью, клетки выращивали либо при низком pH, либо в присутствии мутагенного соединения (NTG-нитрозогуанидина). Характерной особенностью полученных штаммов *L. plantarum* стало сочетание способности к росту при pH 4,0 с трехкратным увеличением производства молочной кислоты относительно штамма дикого типа [40].

Утилизация различных сахаров МКБ нашла применение в сельском хозяйстве, особенно при силосовании растительных кормов. Штаммы *L. paracasei* и *L. rhamnosus*, отобранные для использования в качестве биоконсервантов, ферментируют не только гексозы, но и пентозы, такие как D-рибоза, D-ксилоза и D-лихсоза [41]. Весьма перспективным направлением представляется разработка заквасочных культур МКБ с повышенной способностью усваивать лактозу. Существующие МКБ метаболизируют только около 25 % лактозы, что делает кисломолочные продукты неприемлемыми для людей с лактозной непереносимостью, которая встречается почти у 90 % населения стран Азии и Африки в зрелом возрасте.

Базы данных. Определение метаболических возможностей МКБ, позволяющие им обитать в разных средах, имеет ключевое значение для понимания их адаптации и эволюции. Проведено много исследований с использованием баз данных для идентификации генов и белков, связанных с метаболической активностью, а также для построения метаболических путей. UniProt – база данных, содержащая огромную коллекцию последовательностей белков [42, 43]. TIGRFAM – еще один инструмент, который аннотирует семейства белков, разработанный для дополнения Pfam [43]. TIGRFAM обычно избегает построения модели, которая аналогична Pfam, но создает модель для доменов и повторов нового региона. SignalP, в свою очередь, специфичен для идентификации сигнальных пептидов, направляющих белки для транслокации через внутреннюю плазматическую мембрану прокариот [44]. Эти инструменты широко используются для иденти-

фикации белков и функционального описания штаммов. База данных ферментов (CAZy), активных в углеводах, представляет собой специализированный ресурс для ферментов, участвующих в синтезе и расщеплении сложных углеводов и гликоконъюгатов [45]. Геномы могут быть аннотированы с помощью CAZyDB, однако автоматизированная система отсутствует, и исследователям необходимо связываться с командой разработчиков CAZy для описания интересующих геномов. Это ограничение устраняется с помощью dbCAN – веб-сервера, основанного на схеме классификации CAZyDB, обеспечивающего автоматизированную аннотацию геномов для CAZy [43]. CAZyDB и dbCAN часто применяются для идентификации ферментов, участвующих в углеводном метаболизме МКБ [46]. Киотская энциклопедия генов и геномов (KEGG), используемая для построения метаболических путей, с момента своего создания в 1999 г. была модернизирована и теперь представляет собой всеобъемлющую интегрированную базу данных, содержащую различные ресурсы, которые служат четырем основным целям: представление системной, геномной, химической информации и информации о здоровье [47–49]. Каждая категория состоит из различных баз данных, которые собирают и предоставляют необходимые данные и информацию в соответствии с поставленной целью.

Среди способов отбора производственно-ценных микроорганизмов наиболее направленным процессом является генетическая селекция. Этот метод дает возможность объединять признаки родительских бактерий в клетках одного штамма и получать варианты, не существующие в природе. Работы по конструированию штаммов МКБ проводятся рядом зарубежных лабораторий, но полученные результаты являются их интеллектуальной собственностью и недоступны для других участников рынка [50]. Кроме того, протоколы технологических процессов и требования к характеристикам конечного продукта отличаются в разных странах. В связи с этим, создание универсальных бактериальных заквасок не представляется возможным.

У бактерий обмен генетической информацией может происходить путем конъюгации, трансдукции, трансформации и слияния протопластов. Последнее позволяет объединять геномы и цитоплазмы клеток, относящихся к разным видам и родам микроорганизмов. Совмещение геномов, и, следовательно, признаков двух и более клеток в одной, способствует уменьшению количества штаммов микроорганизмов в закваске, не изменяя при этом качество продукта. Данный метод получения заквасочных штаммов с улучшенными свойствами позволит упростить производственные процессы и снизить затраты на производство [51].

В промышленности штаммы микроорганизмов, полученные генно-инженерными методами, используются для получения различных целевых продуктов: ферментов, антибиотиков, вакцин и др. После получения данного продукта культура-продуцент подлежит

уничтожению, что минимизирует риски, связанные с биобезопасностью. В пищевой отрасли применение генетически модифицированных организмов (ГМО) вызывает опасения, связанные с возможными непредсказуемыми последствиями их воздействия на организм человека и окружающую среду. Деятельность, связанная с генетически модифицированными заквасками, должна регулироваться национальными и международными правилами для защиты потребителя.

Согласно международным требованиям GRAS, все генетические элементы, необходимые для создания рекомбинантных штаммов МКБ, должны быть получены из традиционно используемых при производстве молочных ферментированных продуктов культур. В сложных пищевых системах, в условиях крупномасштабного производства, свойства генетически модифицированных микроорганизмов не всегда стабильно сохраняются. Это побуждает исследователей искать альтернативные генетической селекции пути для улучшения производственно-ценных характеристик МКБ [12].

Штаммы МКБ и пробиотические продукты.

Поиск новых штаммов МКБ с целью создания на их основе активных пробиотических препаратов для потребления в составе продуктов питания ведется во всем мире. В медицине, ветеринарии, пищевой и фармацевтической промышленности для коррекции нарушений работы ЖКТ, недопущения заселения кишечника патогенными и условно-патогенными микроорганизмами, профилактики целого ряда заболеваний все шире применяются препараты-пробиотики и функциональные ферментированные молочные продукты с лечебно-профилактическими свойствами [52–54]. Растущий спрос на такие продукты связан как с общим запросом общества на здоровое питание, так и с желанием пожилых людей продлить активное долголетие в условиях увеличивающейся продолжительности жизни [55]. Скрининг, отбор и оценка новых штаммов МКБ с пробиотическими свойствами требуют комплексного подхода, состоящего из ряда шагов. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций и Всемирная организация здравоохранения опубликовали «Руководящие принципы по оценке пробиотиков в пищевых продуктах», которые установили стандарты безопасности и эффективности при выборе и оценке пробиотиков [56]. Ключевыми критериями являлись способность противостоять агрессивной среде ЖКТ человека и подтвержденная безопасность [57]. Все микроорганизмы, включая МКБ, перед использованием должны быть тщательно оценены и подтверждены на предмет безопасности [58, 59]. Прежде всего,

предпосылками безопасности для пробиотических штаммов считается отсутствие генов вирулентности и устойчивости к антибиотикам. Правильная классификация и мониторинг метаболических процессов также предотвращает образование нежелательных метаболических побочных продуктов во время производства молочной продукции. Включение пробиотических консорциумов в состав продуктов питания может стать основой для профилактики широкого спектра заболеваний, увеличивая продолжительность полноценной и активной жизни населения и способствуя поддержанию здорового генофонда нации [60, 22].

Выводы

Во всем мире идет активный поиск и отбор новых штаммов молочнокислых бактерий, в том числе с использованием геной инженерии, для создания активных производственно-ценных консорциумов, включая пробиотические продукты, для молочной промышленности. Для обеспечения продовольственной безопасности, технологического суверенитета и поддержания здорового генофонда нации необходимо развивать российские заквасочные культуры, обеспечивающие продукцию со стабильным качеством и заданными биохимическими и органолептическими характеристиками.

Критерии авторства

С. А. Кишилова – концептуализация, проведение исследования, написание черновика рукописи. В. А. Леонова – проведение исследования, написание черновика рукописи. В. А. Митрова – проведение исследования. И. В. Рожкова – концептуализация, формальный анализ, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

S.A. Kishilova developed the research concept, conducted the research, and drafted the manuscript. V.A. Leonova conducted the research and drafted the manuscript. V.A. Mitrova performed the research. I.V. Rozhkova developed the research concept, provided the formal analysis, and proofread the manuscript.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Зобкова З. С. Продовольственная безопасность России: один из главных путей - самообеспеченность цельно-молочными продуктами. Молочная промышленность. 2012. № 5. С. 40–44. [Zobkova ZS. Food safety of Russia: One of the principle ways is provision with fresh milk products. Dairy Industry. 2012;(5):40–44. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/OWUJUT>

2. Жабанос Н., Фурик Н., Бирюк Е., Савельева Т. Прикладная биотехнология: от фундаментальных исследований к промышленным технологиям. Наука и инновации. 2024. № 10. С. 12–18. [Zhabanos N, Furik N, Biryuk E, Savelyeva N. Applied biotechnology: From fundamental research to industrial technologies. The Science and Innovations. 2024;(10):12–18. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/UUYECR>
3. Коровацкая Е. М., Фурик Н. Н., Жабанос Н. К., Василенко С. Л. Исследование влияния культур-антагонистов на технически-вредные микроорганизмы в процессе сквашивания и последующего хранения сливок. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2021. № 16. 46–54. [Korovatskaya E, Furik N, Zhabanos N, Vasilenko S. Study of the influence of antagonist cultures on technically harmful microorganisms in the process of creaming and subsequent storage of cream. Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2021;(16):46–54. (In Russ.)]
4. Юрова Е. А. Контроль качества и безопасности продуктов функциональной направленности на молочной основе. Молочная промышленность. 2020. № 6. С. 12–15. [Yurova EA. Quality control and safety of milk-based functional products. Dairy Industry. 2020;(6):12–15. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-06-12-15>
5. Nikitina E, Petrova T, Vafina A, Ezhkova A, Yahia MN, *et al.* Textural and functional properties of skimmed and whole milk fermented by novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 strain isolated from silage. Fermentation. 2022;8(6):290. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060290>
6. Стоянова Л. Г., Дбар С. Д., Полянская И. С. Метабиотические свойства штаммов *Lactobacillus acidophilus*, входящих в комплексные закваски для производства пробиотических молочных продуктов. Биотехнология. 2022. Т. 38. № 1. С. 3–12. [Stoyanova LG, Dbara SD, Polyanskaya IS. Metabiotic properties of *Lactobacillus acidophilus* strains included in complex starter cultures for probiotic dairy products. Biotechnology. 2022;38(1):3–12. (In Russ.)] <https://doi.org/10.56304/S0234275822010070>
7. Rajoka MSR, Wu Y, Mehwish HM, Bansal M, Zhao L. *Lactobacillus* exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health. Trends in Food Science & Technology. 2020;103:36–48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.003>
8. Sakoui S, Derdak R, Addoum B, *et al.* The first study of probiotic properties and biological activities of lactic acid bacteria isolated from Bat guano from Er-rachidia, Morocco. LWT. 2022;159:113224. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113224>
9. Зобкова З. С. Зависимость относительной биологической ценности кисломолочных напитков от вида заквасочных микроорганизмов. Молочная промышленность. 2020. № 8. С. 36–37. [Zobkova ZS. Dependence of the relative biological value of fermented milk drinks on the type of starter microorganisms. Dairy Industry. 2020;(8):36–37. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XZVCXA>
10. Tang H, Huang W, Yao YF. The metabolites of lactic acid bacteria: Classification, biosynthesis and modulation of gut microbiota. Microbial Cell. 2023;10(3):49–62. <https://doi.org/10.15698/mic2023.03.792>
11. Lee SJ, Jeon HS, Yoo JY, Kim JH. Some important metabolites produced by lactic acid bacteria originated from kimchi. Foods. 2021;10(9):2148. <https://doi.org/10.3390/foods10092148>
12. Anumudu CK, Miri T, Onyeaka H. Multifunctional applications of lactic acid bacteria: Enhancing safety, quality, and nutritional value in foods and fermented beverages. Foods. 2024;13(23):3714. <https://doi.org/10.3390/foods13233714>
13. Servin AL. Antagonistic activities of lactobacilli and bifidobacteria against microbial pathogens. FEMS microbiology reviews. 2004;28(4):405–440. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.01.003>
14. Benkerroum N, Oubel H, Mimoun BL. Behavior of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in yogurt fermented with a bacteriocin-producing thermophilic starter. Journal of Food Protection. 2002;65(5):799–805. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-65.5.799>
15. Сидоренко О. Д., Жукова Е. В., Пастух О. Н. Особенности взаимодействия микроорганизмов в ферментированном молоке. Все о мясе. 2020. № 5S. С. 329–332. [Sidorenko OD, Zhukova EV, Pastukh ON. Features of interaction microorganisms in fermented milk. Vsyo o Myase. 2020;(5S):329–332. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-329-332>
16. Зобкова З. С., Зенина Д. В., Фурсова Т. П., Гаврилина А. Д., Шелагинова И. Р. Разработка технологий молочных продуктов здорового питания: современные методологии. Молочная промышленность. 2015. № 8. С. 38–39. [Zobkova ZS, Zenina DV, Fursova TP, Gavrilina AD, Shelaginova IR. Development of the healthy milk products technologies: Up-to-date methodologies. Dairy Industry. 2015;(8):38–39. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/UBRQLT>
17. Сидоренко О. Д., Жукова Е. В., Пастух О. Н. Биологическая активность лактобактерий природных заквасок. Успехи современной науки. 2017. Т. 2. № 10. С. 34–37. [Sidorenko OD, Zhukova EV, Pastukh ON. Biological activity of lactobacilli in natural starter cultures. Modern Science Success. 2017;2(10):34–37. (In Russ.)]
18. Сидоренко О. Д., Жукова Е. В., Пастух О. Н. Лактобактерии природных заквасок молока. Международная научная конференция, посвященной 130-летию Н. И. Вавилова. М., 2018. С. 122–124. [Sidorenko OD, Zhukova EV, Pastukh ON. Lactobacilli of natural milk starters. International Scientific Conference dedicated to 130 years to Vavilov NI. Moscow, 2018:122–124. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XMCQYP>
19. Ботина С. Г. Генетическое многообразие штаммов молочнокислых термофильных бактерий на территории стран СНГ. Биотехнология. 2004. № 2. С. 3–12. [Botina SG. Genetic diversity of lactic acid thermophilic bacteria strains in the territory of the CIS countries. Biotechnology. 2004;(2):3–12. (In Russ.)]

20. Yu J, Sun Z, Liu W, Xi X, Song Y, et al. Multilocus sequence typing of *Streptococcus thermophilus* from naturally fermented dairy foods in China and Mongolia. BMC Microbiology. 2015;15:1–13. <https://doi.org/10.1186/s12866-015-0551-0>
21. Шукшина М. А., Бирюк Е. Н., Радиончик М. О. Сиквенс-типирование *Lactobacillus helveticus* и *Lactobacillus acidophilus* на основании 3 генов домашнего хозяйства. Биотехнология. 2023. № 17. С. 107–114. [Shukshyna M, Biruk E, Radzivonchik M. Sequence typing of *Lactobacillus helveticus* and *Lactobacillus acidophilus* based on 3 housekeeping genes. Biotechnology. 2023;(17):107–114. (In Russ.)]
22. Просеков А. Ю., Остроумов Л. А. Инновационный менеджмент биотехнологий заквасочных культур. Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 43. № 4. С. 64–69. [Prosekov AY, Ostroumov LA. Innovation management biotechnology of starter cultures. Food Processing: Techniques and Technology. 2016;43(4):64–69. (In Russ.)]
23. Щетко В. А., Фещенко В. Ю. Выделение молочнокислых бактерий, перспективных для пищевой промышленности, с целью последующей их идентификации. Вестник Полесского государственного университета. Серия природо-ведческих наук. 2015. № 2. С. 42–48. [Shchetko VA, Feshchenko VY. The selection of lactic acid bacteria perspective for the food industry for the subsequent their identification. Bulletin of Polesky State University. Series in Natural Sciences. 2015;(2):42–48. (In Russ.)]
24. Gaspar P, Carvalho AL, Vinga S, et al. From physiology to systems metabolic engineering for the production of biochemicals by lactic acid bacteria. Biotechnology Advances. 2013;31(6):764–788. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.03.011>
25. Icer MA, Özbay S, Ağagündüz D, Kelle B, Bartkiene E, et al. The impacts of acidophilic lactic acid bacteria on food and human health: A review of the current knowledge. Foods. 2023;12(15):2965. <https://doi.org/10.3390/foods12152965>
26. Семенихина В. Ф., Рожкова И. В., Раскошная Т. А. и др. Разработка заквасок для кисломолочных продуктов. Молочная промышленность. 2013. № 11. С. 30–31. [Semenihina VF, Rozhkova IV, Raskoshnaya TA, et al. Development of starter cultures for fermented milk products. Dairy Industry. 2013;(11):30–31. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/RHIUYX>
27. Блинкова Л. П. Бактериоцины: критерии, классификация, свойства, методы выявления. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2003. № 3. С. 109–113. [Blinkova LP. Bacteriocins: Criteria, classification, properties, detection methods. Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunology. 2003;(3):109–113. (In Russ.)]
28. Бояринева И. В. Научные и практические концепции создания поликомпонентных синбиотических продуктов. Евразийский Союз Ученых. 2019. № 9–1. С. 37–40. [Boiarineva I. Scientific and practical concepts of creation of polycomponent synbiotic products. Eurasian Union of Scientists. 2019;(9–1):37–40. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.66.295>
29. Ruiz L, Sánchez B, de los Reyes-Gavilán CG, Gueimonde M, Margolles A. Coculture of *Bifidobacterium longum* and *Bifidobacterium breve* alters their protein expression profiles and enzymatic activities. International Journal of Food Microbiology. 2009;133(1–2):148–153. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.05.014>
30. Tamime AY. Fermented milks. In: Tamime AY, editors. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008. 288 p.
31. Двоежёнова Е.А. Биохимическая активность культур молочнокислых бактерий, перспективных для использования при изготовлении сыров с пониженным содержанием жира. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2022. № 17. С. 129–139. [Dvoezhenova EA, Zhabanos NK, Mukha DV, Furik NN. Biochemical activity of lactic acid bacteria promising for use in the production of reduced-fat cheese. Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2022;(17):129–139. (In Russ.)]
32. Baugher JL, Klaenhammer TR. Invited review: Application of omics tools to understanding probiotic functionality. Journal of Dairy Science. 2011;94(10):4753–4765. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4384>
33. Бондаренко В. М., Рыбальченко О. В. Анализ профилактического и лечебного действия пробиотических препаратов с позиций новых научных технологий. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2015. № 2. С. 90–104. [Bondarenko VM, Rybalchenko OV. Analysis of the preventive and curative effects of probiotic drugs from the perspective of new scientific technologies. Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology. 2015;(2):90–104. (In Russ.)]
34. Braat H, Rottiers P, Hommes DW, Huyghebaert N, Remaut E, et al. A phase I trial with transgenic bacteria expressing interleukin-10 in Crohn's disease. Clinical Gastroenterology and Hepatology. 2006;4(6):754–759. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2006.03.028>
35. Liu S, Leathers TD, Copeland A, Chertkov O, Goodwin L, et al. Complete genome sequence of *Lactobacillus buchneri* NRRL B-30929, a novel strain from a commercial ethanol plant. Journal of Bacteriology. 2011;193(5):4019–4020. <https://doi.org/10.1128/jb.05180-11>
36. Ye L, Zhao H, Li Z, Wu JC. Improved acid tolerance of *Lactobacillus pentosus* by error-prone whole genome amplification. Bioresource Technology. 2013;135:459–463. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.042>
37. Nadal I, Rico J, Pérez-Martínez G, Yebra MJ, Monedero V. Diacetyl and acetoin production from whey permeate using engineered *Lactobacillus casei*. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2009;36(9):1233–1237. <https://doi.org/10.1007/s10295-009-0617-9>
38. LeBlanc JG, Milani C, Savoy de Giori G, Sesma F, et al. Bacteria as vitamin suppliers to their host: A gut microbiota perspective. Current Opinion in Biotechnology. 2013;24(2):160–168. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.08.005>
39. Serrazanetti DI, Guerzoni ME, Corsetti A, Vogel R, et al. Metabolic impact and potential exploitation of the stress reactions in lactobacilli. Food Microbiology. 2009;26(7):700–711. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.007>

40. Zhang J, Wu C, Du G, Chen J. Enhanced acid tolerance in *Lactobacillus casei* by adaptive evolution and compared stress response during acid stress. *Biotechnology and Bioengineering*. 2012;17:283–289. <https://doi.org/10.1007/s12257-011-0346-6>
41. Романович Н. С., Бирюк Е. Н., Савельева Т. А., Жабанос Н. К., Фурик Н. Н. Характеристика ферментации углеводов и их производных лактобациллами, выделенными из организма пчел и пчелопродуктов. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2024. № 17. С. 115–121. [Ramanovich NS, Biruk AN, Savelieva TA, Zhabanos NK, Furik NN. Characteristics of the fermentation of carbohydrates and their derivatives by lactobacilla isolated from bee and bee products. *Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials*. 2022;(17):115–121. (In Russ.)]
42. Mistry J, Chuguransky S, Williams L, Qureshi M, Salazar GA, *et al.* Pfam: The protein families database in 2021. *Nucleic Acids Research*. 2021;49(D1):D412–D419. <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa913>
43. Haft DH, Selengut JD, Richter RA, Harkins D, Basu MK, *et al.* TIGRFAMs and genome properties in 2013. *Nucleic Acids Research*. 2013;41(D1):D387–D395. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1234>
44. Almagro Armenteros JJ, Tsirigos KD, Sønderby CK, Petersen TN, *et al.* SignalP 5.0 improves signal peptide predictions using deep neural networks. *Nature Biotechnology*. 2019;37(4):420–423. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0036-z>
45. Cantarel BL, Coutinho PM, Rancurel C, Bernard T, *et al.* The carbohydrate-active EnZymes database (CAZy): An expert resource for glycogenomics. *Nucleic Acids Research*. 2009;37(suppl_1):D233–D238. <https://doi.org/10.1093/nar/gkn663>
46. Yin Y, Mao X, Yang J, Chen X, Mao F, *et al.* dbCAN: A web resource for automated carbohydrate-active enzyme annotation. *Nucleic Acids Research*. 2012;40(W1):W445–W451. <https://doi.org/10.1093/nar/gks479>
47. Ogata H, Goto S, Sato K, Fujibuchi W, Bono H, *et al.* KEGG: Kyoto encyclopedia of genes and genomes. *Nucleic Acids Research*. 1999;27(1):29–34. <https://doi.org/10.1093/nar/27.1.29>
48. Kanehisa M, Furumichi M, Tanabe M, Sato Y, Morishima K, *et al.* KEGG: New perspectives on genomes, pathways, diseases and drugs. *Nucleic Acids Research*. 2017;45(D1):D353–D361. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw1092>
49. Mendoza RM, Kim SH, Vasquez R, Hwang IC, Park YS, *et al.* Bioinformatics and its role in the study of the evolution and probiotic potential of lactic acid bacteria. *Food Science and Biotechnology*. 2023;32(4):389–412. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01142-8>
50. Чаевская Т. В., Белясова Н. А., Богданова Л. Л., Дудко Н. В., Сафроненко Л. В. Конструирование заквасочных штаммов лактококков с улучшенными свойствами. Пищевая промышленность: наука и технология. 2009. № 1. С. 24–29. [Chaevskaya TV, Belyasova NA, Bogdanova LL, Dudko NV, Safronenko LV. Designing starter cultures of lactococci with improved properties. *Food Industry: Science and Technology*. 2009;(1):24–29. (In Russ.)]
51. Белясова Н. А., Чаевская Т. В., Караева О. А., Гриц Н. В. Разработка метода слияния протопластов и селекция гибридных бактерий у лактококков. Вестник НАН Беларуси. Серия биологических наук. 2002. № 2. С. 84–87. [Belyasova NA, Chaevskaya TV, Karaeva OA, Grits NV. Development of a protoplast fusion method and selection of hybrid bacteria in lactococci. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, medical series*. 2002;(2):84–87. (In Russ.)]
52. Рожкова И. В., Раскошная Т. А., Ботина С. Г., Бегунова А. В. Новый пробиотический штамм *Lactobacillus reuteri*. Молочная промышленность. 2015. № 12. С. 38–39. [Rojkova IV, Raskoshnaya TA, Botina SG, Begunova AV. New probiotic strain *Lactobacillus reuteri*. *Dairy Industry*. 2015;(12):38–39. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/SVPPUZ>
53. Рожкова И. В., Бегунова А. В. Пробиотические микроорганизмы как фактор повышения здоровья. Молочная промышленность. 2020. № 7. С. 38–39. [Rozhkova IV, Begunova AV. Probiotic microorganisms as a factor in improving health. *Dairy Industry*. 2020;(7):38–39. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/CSIWXX>
54. Донская Г. А. Антиоксидантные свойства молока и молочных продуктов: обзор. Пищевая промышленность. 2020. № 12. С. 86–91. [Donskaya GA. Antioxidant properties of milk and dairy products: Review. *Food Industry*. 2020;(12):86–91. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XNCFER>
55. Кручинин А. Г., Агаркова Е. Ю. Биологически активные пептиды молока: обзор. Пищевая промышленность. 2020. № 12. С. 92–96. [Kruchinin AG, Agarkova EYu. Biologically active peptides of milk: A review. *Food Industry*. 2020;(12):92–96.] <https://elibrary.ru/PIIQSA>
56. Araya M, Morelli L, Reid G, Sanders M, Stanton C, *et al.* Guidelines for the evaluation of probiotics in food. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2002:35–45.
57. Zhang W, Lai S, Zhou Z, Yang J, Liu H, *et al.* Screening and evaluation of lactic acid bacteria with probiotic potential from local Holstein raw milk. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.918774>
58. Coeuret V, Gueguen M, Vernoux JP. In vitro screening of potential probiotic activities of selected lactobacilli isolated from unpasteurized milk products for incorporation into soft cheese. *Journal of Dairy Research*. 2004;71(4):451–460. <https://doi.org/10.1017/S0022029904000469>
59. Fontana C, Coconcelli PS, Vignolo G, Saavedra L. Occurrence of antilisterial structural bacteriocins genes in meat borne lactic acid bacteria. *Food Control*. 2015;47:53–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.06.021>
60. Семенихина В. Ф., Рожкова И. В., Бегунова А. В., Ширшова Т. И., Пospelova В. В. Биотехнология кисломолочных продуктов и препаратов с пробиотическими свойствами. Молочная промышленность. 2016. № 7. С. 57–58. [Semenihina VF, Rojkova IV, Begunova AV, Shyrshova TI, Pospelova VV. Biotechnology of the fermented milk products and preparations with probiotic properties. *Dairy Industry*. 2016;(7):57–58. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WAYUZN>