

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-5-27>

УДК 663.674:637.146

МОРОЖЕНОЕ КАК СРЕДСТВО ДОСТАВКИ *LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS***С. А. Рябцева*** , **В. Р. Ахмедова** , **Г. С. Анисимов** 

Дата поступления в редакцию: 09.04.2018

Дата принятия в печать: 21.05.2018

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355009, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

*e-mail: ryabtseva07@mail.ru



© С. А. Рябцева, В. Р. Ахмедова, Г. С. Анисимов, 2018

Аннотация. Мороженое – продукт с характерным составом и свойствами, которые высоко ценятся среди широкого круга потребителей. Особенности состава и технологии мороженого позволяют рассматривать его в качестве перспективного носителя и средства доставки биологически активных соединений и полезных микроорганизмов. В данной работе рассмотрены морфологические, биохимические, физиологические, генетические и технологические характеристики *L. acidophilus*. Систематизированы существующие способы получения мороженого с *L. acidophilus*. Показано влияние различных форм внесения ацидофильной палочки и способов ее адаптации на показатели качества мороженого. Представлены данные о свойствах ферментированного и неферментированного мороженого с этой культурой. Отображена информация о воздействии различных технологических, физико-химических и физиологических факторов на выживаемость чистой культуры *L. acidophilus* и ее комбинации с другими микроорганизмами при получении, хранении и употреблении мороженого. Рассмотрены перспективные направления получения ацидофильного мороженого с различными пребиотиками, пищевыми волокнами, заменой рафинированного сахара на мед и нерафинированные сахара, с добавлением сывороточных белков, фруктового пюре, зерновых добавок и других компонентов. Представлены данные о влиянии функциональных компонентов на процесс получения и свойства мороженого с ацидофильной палочкой. Систематизирована информация о получении мороженого с использованием различных штаммов *L. acidophilus* и *Bifidobacterium* spp. и заменой коровьего молока на растительные аналоги. Описаны способы получения мороженого с *L. acidophilus* и другими заквасочными культурами, в том числе йогуртовыми. В данном обзоре обоснована целесообразность применения *L. acidophilus* в производстве мороженого, выявлены тенденции и проблемы в области получения мороженого функционального назначения.

Ключевые слова. Мороженое, *L. acidophilus*, пробиотики, пребиотики, синбиотики

Для цитирования: Рябцева, С. А. Мороженое как средство доставки *Lactobacillus acidophilus* / С. А. Рябцева, В. Р. Ахмедова, Г. С. Анисимов // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 2. С. 5–27. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-5-27>.

ICE CREAM AS A CARRIER OF *LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS***S.A. Ryabtseva*** , **V.R. Akhmedova** , **G.S. Anisimov** 

Received: 09.04.2018

Accepted: 21.05.2018

North-Caucasus Federal University,
1, Pushkina Str., Stavropol, 355009, Russia

*e-mail: ryabtseva07@mail.ru



© S.A. Ryabtseva, V.R. Akhmedova, G.S. Anisimov, 2018

Abstract. Ice cream is a product with specific composition and properties that are highly valued by a wide range of consumers. Peculiarities of ice cream composition and production technology make it possible to consider the product as a promising carrier and means of biologically active compounds and useful microorganisms supply. The article reveals morphological, biochemical, physiological, genetic and technological characteristics of *L. acidophilus*. It systematizes information on the existing methods used for production of ice cream with *L. acidophilus*. The author shows the influence of various forms of the introduced acidophilus bacteria and methods for their adaptation on ice cream quality indicators. The article provides the data on the properties of ice cream fermented and unfermented with this cultures. It reveals information on the impact of various technological, physicochemical and physiological factors on the survival capacity of pure culture *L. acidophilus* and its combination with other microorganisms in the process of ice cream production, storage and consumption. The author considers perspective ways of acidophilic ice cream production using various combinations of prebiotics, dietary fibers, replacing refined sugar with honey and unrefined sugars, introducing whey proteins, fruit puree, grain additives and other ingredients. The article presents the data on the influence of functional components on the production process and properties of ice cream containing acidophilus bacteria. The author systematized information on ice cream production using different strains of *L. acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. replacing cow's milk with vegetable analogues. Methods for producing ice cream with *L. acidophilus* and other starter cultures, including yogurt

cultures are described. The review justifies practicability of *L. acidophilus* application in ice cream production. It reveals trends and issues in the area of functional use ice cream production.

Keywords. Ice cream, *L. acidophilus*, probiotics, prebiotics, synbiotics

For citation: Ryabtseva S.A., Akhmedova V.R., Anisimov G.S. Ice cream as a carrier of *Lactobacillus acidophilus*. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 5–27 (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-5-27>.

Введение

Мороженое – взбитый, замороженный и потребляемый в замороженном виде сладкий молочный или молокосодержащий продукт, занимающий прочное место в перечне популярных среди людей разных возрастных групп десертов. Традиционные виды мороженого содержат много сахара и жира, их ассортимент зачастую расширяется за счет добавления синтетических красителей, ароматизаторов и подсластителей. Такое мороженое нельзя отнести к продуктам здорового питания (Health and Wellness), привлекательность которых для потребителей растет во всем мире. В связи с этим получение новых видов мороженого с пониженной калорийностью, содержащего натуральное сырье и функциональные ингредиенты, относится к актуальным задачам науки и производства.

Мороженое может быть успешно использовано как средство доставки в организм человека различных полезных добавок – пробиотиков и/или пребиотиков, пищевых волокон, антиоксидантов, витаминов, полиненасыщенных жирных кислот, макро- и/или микроэлементов [1–3]. В последние годы для внесения в мороженое функциональных ингредиентов все чаще используют микрокапсулы, наноэмульсии и олеогели, активно изучаются вопросы воздействия добавляемых компонентов на консистенцию, вкус и запах, хранимоспособность готовых продуктов, а также на их физиологические свойства [4].

Особенности состава и технологии мороженого позволяют использовать его как идеальную матрицу-носитель для пробиотиков [2, 4]. Согласно современным представлениям, пробиотики – это живые микроорганизмы специально отобранных штаммов, которые при употреблении в достаточных количествах приносят пользу здоровью хозяина [5]. Механизмы действия пробиотиков основаны на их способности прикрепляться к эпителию кишечника, конкурировать с другими микробами за питательные вещества, вырабатывать бактериоцины и органические кислоты, ингибирующие развитие патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, синтезировать витамины и улучшать биодоступность питательных веществ, оказывать иммуномодулирующее действие. Многочисленные клинические исследования подтвердили положительный эффект пробиотиков при запорах, диареях, синдроме раздраженного кишечника. В последние десятилетия появились обнадеживающие данные о применении пробиотиков для облегчения состояния людей с гипертонией, пищевой аллергией, диабетом второго типа, ожирением, инфекционными заболеваниями бактериальной и вирусной природы,

неврологическими и нейропсихиатрическими нарушениями [6–10].

Полезный для здоровья эффект пробиотиков напрямую зависит от штамма применяемой культуры и количества живых клеток, при этом все чаще признается и роль их метаболитов [5, 9, 10]. Хотя классификация пробиотиков в разных источниках отличается, наиболее доказана эффективность лактобацилл и бифидобактерий. Штаммы, используемые для получения пробиотических продуктов, обычно принадлежат к видам *Lactobacillus rhamnosus*, *L. johnsonii*, *L. gasseri*, *L. crispatus*, *L. casei*, *L. paracasei*, *L. acidophilus*, *L. reuteri*, *L. plantarum*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *L. brevis*, *L. fermentum*, *Bifidobacterium lactis*, *B. bifidum*, *B. infantis*, *B. breve*, *B. animalis*, *B. adolescentis*. В качестве пробиотиков также используются бактерии родов *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Pediococcus*, *Bacillus*, *Escherichia* и дрожжи *Saccharomyces* [1, 3, 5–7].

Промышленное производство мороженого основано на приготовлении смеси, содержащей как молочные (натуральное и сухое молоко, сливки, масло), так и немолочные (сахар, стабилизаторы, фрукты, шоколад и др.) компоненты. После тепловой обработки и созревания смесь подвергают фризерованию, т. е. одновременному взбиванию и замораживанию, затем расфасовывают и отправляют в камеру закалывания. Особенностью производства пробиотического мороженого является использование микроорганизмов-пробиотиков, которые могут быть внесены в смесь перед замораживанием, а также в составе ферментированной смеси. Ферментации может быть подвергнута вся смесь после созревания, или только ее часть, или только ее молочная часть [2–4].

Формирование структуры мороженого является сложным динамическим процессом, при котором компоненты смеси подвергаются значительным коллоидным и физическим изменениям. Замораживание и взбивание смеси, закалка и длительное хранение мороженого при низких температурах создают стрессовые условия для микроорганизмов стартерных культур. Кроме того, попав в организм человека, полезные бактерии должны выжить в среде желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и, дойдя до толстой кишки, быть достаточно активными, чтобы прикрепиться к его эпителию [2, 4]. В работах [2, 11–13] описаны факторы, влияющие на выживаемость пробиотиков в мороженом. Эти факторы могут быть разделены на три взаимосвязанные группы:

– внутренние биологические (вид и штамм пробиотика, концентрация и форма его внесения, взаимодействие с другими микроорганизмами);
 – внутренние физико-химические (состав и свойства смеси, включая pH, буферность и осмотическое давление, содержание кислорода и сухих веществ, доступность питательных веществ, наличие промоторов и ингибиторов роста пробиотиков);
 – внешние технологические (температура и время ферментации, температурные режимы взбивания и замораживания смеси, заправки и хранения мороженого, упаковка).

Необходимое количество живых пробиотических микроорганизмов в продуктах функционального питания нормируется, как правило, на уровне не менее 10^6 – 10^7 клеток (КОЕ) на г (см^3) продукта [1–3, 6, 7]. В связи с этим многие публикации посвящены проблеме сохранения жизнеспособности *L. acidophilus* при получении и хранении мороженого.

Мороженое, в производстве которого используется ферментация, отличается от традиционного по своим органолептическим показателям, поэтому важным фактором оценки новых видов мороженого является его приемлемость для потребителей. По мнению авторов работы [14], пробиотическое мороженое является замороженным молочным десертом с функциональными свойствами и особыми сенсорными характеристиками, обусловленными сочетанием вкуса и аромата ферментированного молока с текстурой мороженого. На основе изучения влияния различных факторов (вида и концентрации гидроколлоидов, содержания йогурта и молочного жира) на консистенцию и вкус пробиотического мороженого были выделены десять сенсорных характеристик, разработаны рекомендации по составу и модели для количественной оценки приемлемости такого продукта для потребителей [14].

Следует отметить, что кисломолочные продукты содержат естественно синтезированные биоактивные метаболиты стартерных культур, даже если они не имеют пробиотического статуса и относятся к группе биофункциональных продуктов [15]. Подтверждением внимания к мороженому как потенциальному и перспективному продукту этой группы стало введение в России нового стандарта – ГОСТ 32929-2014 «Мороженое кисломолочное. Технические условия».

Целью данной статьи является обоснование целесообразности применения одного из видов лактобацилл, *Lactobacillus acidophilus*, в производстве мороженого, систематизация существующих способов получения и данных о свойствах ферментированного и неферментированного мороженого с этой культурой, а также выявление тенденций и проблем в этой области.

1. Свойства и применение *Lactobacillus acidophilus*.

Lactobacillus acidophilus (LAB) (лат. – молочная палочка кислотолюбивая, общепринятый термин –

ацидофильная палочка) – вид микроорганизмов, относящихся к группе молочнокислых бактерий (LAB – lactic acid bacteria), способных сбраживать (ферментировать в анаэробных условиях) углеводы с образованием молочной кислоты как основного продукта метаболизма. Молочнокислые микроорганизмы широко распространены в природе, наиболее часто они обнаруживаются на растениях, но также участвуют в формировании микробиомов животных. Эти бактерии веками используются человеком при получении сыров и кисломолочных напитков, некоторых сортов хлеба, квашеных (ферментированных) овощей и силоса, но могут быть и причиной порчи пищевых продуктов. Благодаря многолетнему опыту использования в молочной и других отраслях пищевой промышленности, применяемые виды LAB имеют международный GRAS-статус (Generally Recognized as Safe – в целом признаны безопасными) [11, 15, 16].

L. acidophilus принадлежит к роду *Lactobacillus*, все представители которого являются грамположительными неподвижными неспорообразующими палочковидными истинными бактериями, занимающими промежуточное положение между строгими анаэробами и аэробами. *L. acidophilus* относится к группе облигатных гомоферментативных лактобацилл, отличающихся активным кислотообразованием (более 90 % продуктов метаболизма углеводов – молочная кислота), способностью выдерживать высокую кислотность (предельная кислотность в молоке – до 300 °Т) и повышенными, по сравнению с другими молочнокислыми палочками и кокками, температурами развития [12, 17].

Под микроскопом *L. acidophilus* выглядят как палочки длиной 2–10 мкм, иногда образующие короткие цепочки (рис. 1). Температура 37–42 °С и pH 5,5–6,0 являются оптимальными условиями роста этих микроорганизмов. Для технологии мороженого важно, что бактерии рода *L. acidophilus* способны ферментировать не только моносахара (глюкозу, фруктозу, галактозу) и лактозу, но и сахарозу, а в результате углеводного обмена могут синтезировать экзополисахариды. Ацидофильные палочки обладают слабой протеолитической активностью, не разлагают белки молока и мяса, не образуют индол и сероводород, не вырабатывают липазы, лецитиназы и уреазы [18, 19].

Геном *L. acidophilus* NCFM был расшифрован одним из первых среди лактобацилл. Он содержит 1 993 564 пары нуклеотидов и отличается более низким (35 %) средним содержанием гуанина и цитозина (GC) по сравнению с другими членами филогенетической подгруппы [16]. Анализ генома показал, что *L. acidophilus* являются ауксотрофными для 14 аминокислот и не способны синтезировать некоторые витамины, включая рибофлавин, витамин B₆, никотинамид, биотин и фолат [18]. Отмечено отсутствие данных о

бактериофагах, способных заражать штаммы *L. acidophilus* [12].

Впервые выделенные Моро в 1900 году из фекалий младенцев, бактерии *L. acidophilus* были позже обнаружены в ротовой полости, толстом кишечнике взрослых людей и вагинальной микрофлоре. В настоящее время штаммы этого вида широко используются в качестве пробиотиков. Положительные эффекты пробиотических штаммов *L. acidophilus* были изучены и подтверждены как *in vitro* (устойчивость к желчи и низким значениям pH, способность вырабатывать антимикробные вещества и прикрепляться к клеткам кишечника человека, высокая активность лактазы, стабильность в продуктах), так и *in vivo* (влияние на иммунитет, снижение холестерина в сыворотке крови, улучшение метаболизма лактозы, профилактика или лечение инфекций, в том числе вирусных) [12]. Благодаря этому пробиотики *L. acidophilus* могут быть использованы при лечении синдрома раздраженного кишечника, диарей различной этиологии, бактериальных вагинозов, инфекций мочевыводящих путей и как противогрибковое средство [16].

Важным фактором пробиотического действия *L. acidophilus* является способность продуцировать бактериоцины класса Па, которые отличаются по молекулярному весу и спектру антимикробной активности. К наиболее изученным относятся лактацины и ацидоцины, ингибирующие синтез клеточной стенки и процессы проницаемости мембран. Бактериоцины *L. acidophilus* отличаются термостабильностью, способностью сохранять активность в широком диапазоне pH, подавлять патогенные микроорганизмы и возбудителей порчи пищевых продуктов питания, благодаря чему считаются перспективными биоконсервантами [20–22].

К промышленно используемым за рубежом пробиотическим штаммам *L. acidophilus* относятся LA-1 и LA-5 (Chr. Hansen), NCFM и LA-14 (Danisco), DDS-1 (Nebraska Cultures) и SBT-2026 (Snow Brand Milk Products) [19, 20, 22]. В России «Лактобактерии ацидофильные (*L. acidophilus*)» зарегистрированы как лекарственное средство, нормализующее микрофлору кишечника [23]. Фармацевтическое действие Ацилакта (штаммы *L. acidophilus* 100Н, NK11, КЗШ24), Лактобактерина, Лактонорма и других препаратов основано на том, что живые лактобактерии «обладают антагонистической активностью в отношении широкого спектра патогенных и условно-патогенных бактерий (включая стафилококки, протей, энтеропатогенную кишечную палочку), нормализуют пищеварительную деятельность ЖКТ, улучшают обменные процессы, способствуют восстановлению естественного иммунитета» [23]. Средства с *L. acidophilus* рекомендуется применять при дисбактериозах желудочно-кишечного и урогенитального трактов различной этиологии, заболеваниях полости рта [23].

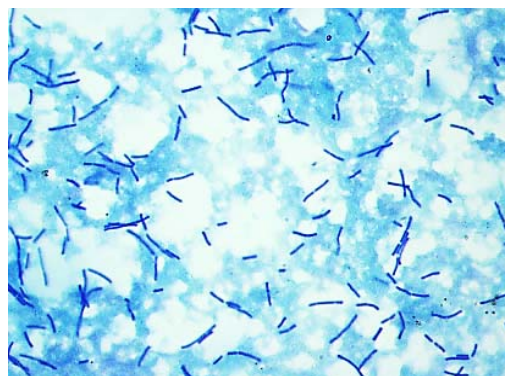


Рисунок 1 – Морфология *L. acidophilus* в смеси для мороженого, ферментированной стартерной культурой БК-Углич-АВ (фиксированный мазок, окраска метиленовым синим, увеличение 90x15)

Figure 1 – Morphology of *L. acidophilus* in the mixture for ice cream fermented by starter culture BK-Uglich-AV (fixed smear, methylene blue staining, increase 90x15)

Препарат Аципол, содержащий штаммы *L. acidophilus* NK1, NK2, NK5, NK12 и полисахарид кефирных грибов, успешно используется в педиатрической практике [24]. Исследование штаммов Аципола подтвердило их принадлежность к виду *L. acidophilus*, высокую устойчивость к желчи и низким значениям pH, способность к синтезу экзополисахаридов и витаминов, низкой концентрации биогенных аминов, антагонистическую активность к целому ряду патогенных микробов и отсутствие в ДНК мобильной генетической информации [25].

L. acidophilus используется в молочной промышленности разных стран в качестве заквасочной (стартерной) культуры в течение длительного времени. Ее применяют в производстве ферментированного и неферментированного ацидофильного молока с разным содержанием сухого вещества и жира, йогуртов с фруктовыми наполнителями и без них. Из-за высокой кислотности, создаваемой *L. acidophilus* в молоке, этот вид обычно используется совместно с другими стартерными культурами – *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc cremoris*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Bifidobacterium* spp. и др. [26].

В нашей стране кисломолочные продукты с ацидофильной палочкой традиционно были выделены в отдельную группу, которая включала ацидофилин, ацидофильное молоко, ацидофильно-дрожжевое молоко, ацидофильную простоквашу и ацидофильную пасту, детские ацидофильные смеси «Малютка» и «Мальш» [27]. Недавно проведены исследования антагонистической активности *L. acidophilus* [28], разработан ряд новых молочных продуктов, содержащих эти микроорганизмы – творожная паста [29], кисломолочные напитки, обогащенные сывороточными белками [30], мороженое [31].

Актуальность работ в области исследования свойств и применения *L. acidophilus* подтверждается статистикой публикационной активности в системе PubMed (рис. 2).

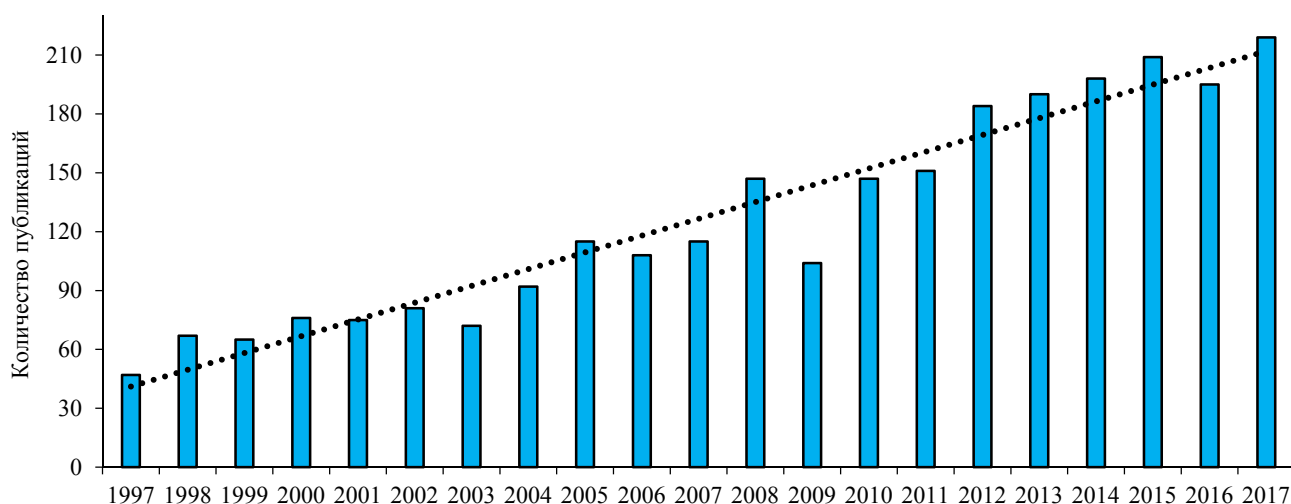


Рисунок 2 – Количество публикаций со словами «*Lactobacillus acidophilus*» в PubMed в 1997–2017 год публикации (дата обращения: 01.03.2018)

Figure 2 – Number of publications containing words “*Lactobacillus acidophilus*” in PubMed in 1997–2017 (accessed 1 March 2018)

С точки зрения получения функционального мороженого с *L. acidophilus* представляют интерес исследования последних лет, направленные на оценку влияния микрокапсулирования и условий хранения на выживаемость микроорганизмов этого вида после распылительной сушки [32]; изучение влияния ягод шелковицы, винограда, вишни [33] и муки сладкого каштана [34] на развитие *L. acidophilus* в ферментированном молоке и его свойства; клиническую апробацию пробиотиков с *L. acidophilus* при лечении людей с воспалительными заболеваниями кишечника, печеночными, иммунологическими, метаболическими и гинекологическими расстройствами [35] и ожирением [36]; протеомный анализ адгезионной активности штамма *L. acidophilus* ATCC 4356 при pH кишечника [37]; изучение метаболизма ингибирования роста кишечной палочки, вызванного ферментированным *L. acidophilus* экстрактом черного чая [38]; геномный анализ штамма *L. acidophilus* LA-1, позволивший подтвердить его пробиотические свойства, в частности, путем обнаружения генов, необходимых для биосинтеза трех бактериоцинов (энтеролизина А, хельветина Helveticin J и ацидоцина J) [39]; получение очищенного экзополисахарида *Lactobacillus acidophilus* LA-EPS-20079 и изучение его противоопухолевого потенциала [40].

Можно сказать, что морфологические, биохимические, физиологические, генетические и технологические характеристики бактерий вида *L. acidophilus* изучены лучше, чем свойства других молочнокислых микроорганизмов (LAB). Свойства этой культуры продолжают вызывать интерес микробиологов и технологов. Результатом является широкое использование *L. acidophilus* в качестве стартерной и пробиотической культуры в производстве функциональных пищевых продуктов, в т. ч. мороженого.

2. Моделирование, способы получения и свойства мороженого с *Lactobacillus acidophilus*.

В данном разделе сначала рассмотрены работы с наиболее часто упоминающимся в публикациях штаммом *L. acidophilus* LA-5, затем результаты исследований с другими штаммами этого вида (последовательность изложения – по времени опубликования). В завершение раздела приведены результаты работ, в которых использовались стартерные культуры *L. acidophilus* разных фирм-производителей без упоминания названий штаммов. Особое внимание уделено составу смесей, который оказывает существенное влияние на все свойства мороженого и выживаемость *L. acidophilus*.

Для изучения воздействия основных стрессовых факторов производства мороженого (высокого осмотического давления, кислорода и низких температур) на рост четырех штаммов пробиотиков, в т. ч. *L. acidophilus* LA-5, в работе [41] использовано моделирование. Изучено влияние концентрации сахарозы (10, 15 и 25 %) и связывающих (scavenging – поглощающих) кислород компонентов L-цистеина (0,05 %) и L-аскорбата (0,05 %) через 24 часа инкубирования пробиотиков в MRS-бульоне. Количество микроорганизмов оценивалось по изменению оптической плотности суспензии при 580 нм (OD_{580}). В модельных условиях исследовано также влияние низких температур (4 и -20°C) на выживаемость пробиотиков в течение трех месяцев хранения. Авторы сделали вывод о том, что штаммы лактобацилл оказались в целом более устойчивыми ко всем стрессовым факторам производства мороженого, чем бифидобактерии. Установлено, что штамм *L. acidophilus* LA-5 показал высокую устойчивость к осмотическому давлению и кислороду, но плохо выживает при низких температурах [41]. Согласно представленным в статье [41] экспериментальным данным количество клеток *L. acidophilus* LA-5 растет даже при повышении концентрации сахарозы, в отличие от других использованных культур. Например, оптическая плотность суспензии микроорганизмов

OD₅₈₀ в среде с 25 % сахарозы была на 0,12 выше, чем в среде с 10 % этого углевода, в то время как для других представителей лактобацилл *L. casei* LC-01 этот показатель стал ниже на 0,27, а для *Bifidobacterium bifidum* BB-12 уменьшился на 0,2 при тех же условиях.

Штамм *L. acidophilus* LA-5 был также использован в качестве одной из культур для сравнительной оценки разных продуктов (мороженого, обычного и фруктового йогуртов) как носителей (матриц) для доставки пробиотиков [42]. В составе смеси для мороженого было козье молоко, сливки козьего молока, ксантановая и гуаровая камеди, декстроза, сахароза, какао и ванилин, причем готовое мороженое содержало примерно 38 % СОМО и 10 % жира. Часть молока (15 %) была инокулирована пробиотическими культурами и ферментирована при 37 °С в течение 1 ч, затем выдержана при 4 °С в течение 12 ч, после чего смешивалась с остальной частью созревшей смеси перед фризированием. В работе показано, что все использованные в мороженом пробиотики сохраняют более высокую устойчивость к смоделированным *in vitro* условиям желудочно-кишечного тракта – кислой среде (рН = 2) и желчи (0,3 %), чем в йогуртах. Авторы предполагают, что это может быть связано как с повышенным содержанием жира, так и с другими компонентами смеси для мороженого [42].

Штамм *L. acidophilus* LA-5 был использован и для получения неферментированного мороженого в работе [43], посвященной исследованию влияния гидролиза лактозы на физико-химические характеристики готового продукта и выживаемость пробиотика. Смесь для мороженого состояла из цельного молока (74 %), сгущенного молока с сахаром (9,75 %), сахара (3,7 %), сливок (9,85 %), включала 1,2 % эмульгатора, 1,2 % стабилизатора и 0,18 % ванили, опытные образцы были подвергнуты действию 0,06 % β-галактозидазы *Maxilactis* при 37 °С в течение 2 ч. Показано, что ни добавление пробиотической культуры, ни частичный гидролиз лактозы (56 %) в смеси для мороженого существенно не повлияли на рН, титруемую кислотность и взбитость мороженого. Гидролиз лактозы не оказал влияния и на выживаемость *L. acidophilus* LA-5 в процессе хранения продукта при –18 °С в течение 28 дней. Полученное мороженое может быть рекомендовано для людей с непереносимостью лактозы [43].

В проведенном недавно исследовании [44] *L. acidophilus* LA-5 применялся для получения низкожирного мороженого и оценки его влияния на изменение микробиома толстой кишки с использованием модели *in vitro*. Показано, что применение пробиотического мороженого приводит к существенному (по сравнению с мороженым без пробиотиков) повышению концентрации полезных микробных метаболитов (ацетата, пропионата, бутирата и молочной кислоты) в проксимальных и дистальных отделах и снижению уровня токсичного аммиака. Это является следствием активизации развития лактобактерий и бифидобактерий, а также

снижения количества клостридий и кишечных палочек [44].

Влияние формы внесения в смесь для мороженого пробиотической культуры *Lactobacillus acidophilus* LMGP-21381 на ее выживаемость при получении и хранении продукта, а также его органолептические характеристики были изучены в работе [45]. Смесь включала пастеризованное молоко (67 %), сливки (8,4 %), подслащенную яично-желтковую смесь (4,2 %), сухое обезжиренное молоко (1,5 %), сахар и глюкозу (18 %), эмульгаторы и стабилизаторы (0,9 %). Пробиотик был внесен в смесь для мороженого до созревания в виде сухой лиофилизированной культуры (DVS) или после активации (в MRS бульоне в аэробных условиях при 37 °С в течение 18 ч) с концентрацией более 10⁷ КОЕ/г. Форма внесения культуры не повлияла на рН смеси до и после созревания, на взбитость смеси и на рН мороженого в течение всего срока хранения при температурах –15 и –25 °С в течение 45 недель. Выживаемость *Lactobacillus acidophilus* LMGP-21381 после фризирования при –6 °С в образце с активированной культурой составила 100 % и была на 11 % выше, чем в образце с неактивированной культурой, т. е. клетки после предварительной активации оказались более устойчивыми к холодовому, осмотическому, кислородному и механическому стрессам. При хранении мороженого существенной разницы в скорости снижения жизнеспособности культур в образцах с разной формой внесения пробиотика не обнаружено, однако разница в концентрации клеток сохранилась и к концу срока хранения была на Δ log = 0,5 выше в мороженом с предварительной активацией закваски. Более того, оценка вкуса и аромата этих образцов мороженого была значимо выше (P > 0,01), чем для контрольного образца (без пробиотика) и образца с неактивированной закваской [45].

Три метода обработки смеси для получения мороженого с *L. acidophilus* ATCC 4356 были использованы в работе [46]. Исходная смесь содержала 1 % молочного жира, 18 % сахарозы, 10 % СОМО и 0,5 % стабилизатора, созревание проводилось при 4 °С в течение 24 ч. Первый метод предусматривал ферментацию всей созревшей смеси при 37 °С до рН 5,5; второй – ферментацию части смеси (10 % от общего объема молока) при 37 °С до рН 4,6 и смешивание с остальной частью созревшей смеси; третий проводился без ферментации смеси. Смеси перед фризированием отличались по кислотности и вязкости. Полученные из опытных и контрольных (без *L. acidophilus*) смесей образцы мороженого хранили при –20 °С и анализировали в течение трех месяцев. Образцы мороженого, полученные без ферментации смеси, были похожи по физико-химическим показателям на контрольный образец без пробиотика. Мороженое, полученное с полной или частичной ферментацией смеси, имело пониженную твердость, что авторы [46] объясняют пониженным содержанием сухих веществ. Самые высокие показатели взбитости и устойчивости к

плавлению были отмечены в образцах, полученных с использованием второго метода [46]. Существенные различия трех образцов наблюдались в отношении количества клеток *L. acidophilus* ATCC 4356 (N). Начальная величина N (перед фризированием) в смесях, полученных методами 2 и 3, находилась примерно на одинаковом уровне ($\lg 8,7-8,8$), в образце по первому методу была ниже на порядок ($\lg 7,5$). Однако к концу срока хранения именно в первом образце обнаружено минимальное сокращение количества живых клеток *L. acidophilus* ($\Delta \lg = 2$), в то время как в образце 2 снижение составило $\Delta \lg = 2,7$, а больше всего лактобацилл погибло в образце 3 ($\Delta \lg = 5,6$). Авторы предполагают, что это связано с естественной осмотической и кислотной адаптацией использованного штамма *L. acidophilus* в процессе ферментации смеси для мороженого, причем приобретенные свойства могут повысить устойчивость клеток и к холодовому стрессу [46].

Направленное температурное воздействие на лактобациллы было использовано как стратегия защиты пробиотиков от основных стрессов производства мороженого в работе [47]. Изучено влияние условий выдержки культуры *L. acidophilus* DSM20079, отобранной в середине экспоненциальной или в начале стационарной фаз роста при пониженных (4, 10 и 20 °C в течение периодов от 30 мин до 24 ч) и повышенных температурах (45, 50 и 55 °C от 15 мин до 24 ч) на их жизнеспособность, в т. ч. на выживаемость при -20 °C в течение 30 дней. Существенного влияния времени (фазы) отбора клеток не установлено. Только определенные условия обработки (при 4 °C в течение 18 ч и при 45 °C в течение 15 мин) приводили к значимому повышению устойчивости клеток *L. acidophilus* к холодовому стрессу [47]. Адаптированные в этих условиях и неадаптированные культуры были использованы для получения пробиотического мороженого двумя способами: с ферментацией (при 37 °C до pH 5,5) и без ферментации смеси, содержащей 3 % жира, 10 % СОМО, 18 % сахарозы и 0,5 % стабилизатора. Ферментация повлияла не только на pH, титруемую кислотность и вязкость смесей, но и на твердость и скорость таяния мороженого, которые были существенно ниже, а степень взбитости – существенно выше, чем в образцах без ферментации. Все эти свойства не зависели от адаптации *L. acidophilus* [47]. Предварительная ферментация смеси позволила значительно повысить жизнеспособность клеток *L. acidophilus* в мороженом: после его хранения при -20 °C в течение 90 дней сокращение количества живых клеток в ферментированном мороженом составило 0,24 log КОЕ/г, в неферментированном – 0,43 log КОЕ/г. Температурная адаптация *L. acidophilus* DSM20079 в меньшей степени, но также повлияла на выживаемость клеток: сокращение количества живых клеток в мороженом с исходной культурой составило 0,28 log КОЕ/г, после холодовой адаптации – 0,23 log КОЕ/г, тепловой – 0,3 log КОЕ/г. Количество живых

клеток *L. acidophilus* (как адаптированных, так и неадаптированных культур) к концу срока хранения мороженого было не ниже 10^7 КОЕ/г, что позволяет рассматривать его как пробиотический продукт [47].

Чистую культуру *Lactobacillus acidophilus*, выделенную из пробиотических коммерческих капсул, использовали для получения неферментированного мороженого в работе [48]. В составе мороженого было 10 % молочного жира, 15 % подсластителя, 11,5 % обезжиренного сухого молока, 0,3 % эмульгатора/стабилизатора. Пробиотик инокулировали в часть подготовленной смеси для мороженого с начальной концентрацией $3,6 \cdot 10^8$ КОЕ/г, хранение продукта осуществляли при температуре -19 °C в течение 12 недель. Показано, что добавление *Lactobacillus acidophilus* не оказало существенного влияния на pH смеси, ее взбитость (90 %), вязкость, твердость и способность к плавлению мороженого, но повлияло на титруемую кислотность, pH и сенсорные свойства мороженого. Фризирование почти не повлияло на количество живых клеток, но к концу срока хранения мороженого оно снизилось примерно на порядок. Длительное низкотемпературное хранение мороженого привело также к снижению устойчивости клеток *Lactobacillus acidophilus* к кислоте и желчи, возможно, из-за механического повреждения клеток [48].

Влияние уровня взбитости смеси, связанного с кислородным стрессом, на жизнеспособность бактерий стартерной культуры *L. acidophilus* DOWARU™ в неферментированном мороженом изучено в работе [49]. В опытах использовалась рецептура традиционного в Бразилии ванильного мороженого, включающая 14,5 % сухого обезжиренного молока, 11 % сахарозы, 3 % глюкозы, 10 % молочного жира, 0,5 % стабилизатора и 3 % ванилина. Пробиотические бактерии были добавлены в смесь для мороженого в количестве 10^8 КОЕ/г после созревания. Показано, что уровень взбитости 45 % не оказывает существенного влияния на жизнеспособность клеток данного вида бактерий в течение 60 суток хранения при температуре -18 °C [49]. Повышение содержания кислорода в смеси приводило к сокращению количества живых клеток в мороженом (на порядок при 60 % и на два порядка для 90%-ной взбитости). Авторы утверждают, что разный уровень взбитости не повлиял на оценку внешнего вида, вкуса, аромата и текстуры мороженого потребителями [49].

В соответствии с ГОСТ 32929-2014 «Мороженое кисломолочное. Технические условия» мороженое кисломолочное ацидофильное производится с использованием заквасок на основе ацидофильной палочки. По требованию технического регламента Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» содержание молочнокислых организмов в мороженом на конец срока годности должно быть не менее $1 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Технология производства мороженого «Снежок» и «Свежесть» включает внесение от 5 до 7 % производственной закваски на чистых культурах ацидофильной палочки в охлажденную до температуры (40 ± 2) °С смесь. Скваживание смеси проводят в течение (3 ± 1) ч при температуре (40 ± 2) °С до достижения кислотности (90 ± 10) °С. По окончании сквашивания смесь охлаждают до температуры (5 ± 1) °С и фризуют. В качестве молочной основы для мороженого «Снежок» используют обезжиренное молоко, а для мороженого «Свежесть» – пахту, полученную при производстве сладкосливочного масла [50].

Влияние различных видов заквасочных культур, в т.ч. *L. acidophilus*, на свойства смеси для кисломолочного мороженого изучено в работе [51]. Для получения смеси использовали рецептуру традиционного молочного мороженого, содержащего 5 % жира, 10 % СОМО, 16 % сахарозы, 0,5 % стабилизатора. Для ферментирования смеси были использованы лиофилизированные концентраты отечественного производства ФГУП «Экспериментальная биофабрика», г. Углич: БК-Углич-АВ (*L. acidophilus*), БК-Углич-СМТ (*Lac. spp.* + *Str. thermophilus*); БК-Углич-№7К (*Lac. spp.* + *Lac. casei*); БК-Углич-ТВ (*Str. Thermophilus*), БК-Углич-СТБ (*L. bulgaricus* + *Str. thermophilus*), для кефира (симбиоз молочнокислых, уксуснокислых бактерий и дрожжей). На рис. 3 показано изменение титруемой кислотности образцов, ферментированных при оптимальных для каждого вида закваски температурах в течение 12 ч.

Установлено, что ферментация смеси культурой *L. acidophilus* прошла быстрее, чем с другими заквасками: уровень кислотности 80 °Т (рН 4,8) в смеси с ацидофильной палочкой был достигнут примерно через 5 ч, с закваской для йогурта – через 9 ч, кислотность смеси с другими заквасками даже через 12 ч оставалась на более низком уровне.

Согласно представленным в статье [51] данным (рис. 4) количество молочнокислых микроорганизмов в смеси, сквашенной ацидофильной палочкой, достигло уровня более 10^8 КОЕ/г. В остальных образцах количество клеток заквасочной микрофлоры было ниже на 1–2 порядка. По-видимому, это связано с особенностями развития различных видов молочнокислых бактерий в смесях для мороженого, отличающихся от молока более высоким содержанием углеводов и сухих веществ в целом. Эти результаты показывают высокую устойчивость использованной культуры *L. acidophilus* к осмотическому давлению и ее потенциал для получения ферментированного мороженого.

3. Влияние пребиотиков и других пищевых добавок на свойства мороженого с *Lactobacillus acidophilus*.

Получение синбиотического мороженого, содержащего пробиотика и пребиотика, относится к актуальным направлениям расширения его ассортимента. Согласно ГОСТ Р 56201-2014 «Продукты пищевые функциональные. Методы определения бифидогенных свойств» пребиотические вещества – это «неперевариваемые пищевые

вещества, избирательно стимулирующие рост и (или) биологическую активность одного или ограниченного числа представителей защитной микрофлоры кишечника человека, способствующие поддержанию ее нормального состава и биологической активности». Хорошо изученными пребиотиками, давно применяющимися в пищевой промышленности, являются фруктаны (инулин, олигофруктоза и фруктоолигосахариды), галактоолигосахариды и лактулоза [52]. К перспективным направлениям получения новых видов мороженого относится также комбинирование разных пробиотиков, пребиотиков и неперевариваемых пищевых (т.н. диетических) волокон, замена рафинированного сахара на мед и нерафинированные сахара, а также добавление сывороточных белков, фруктового пюре и других компонентов.

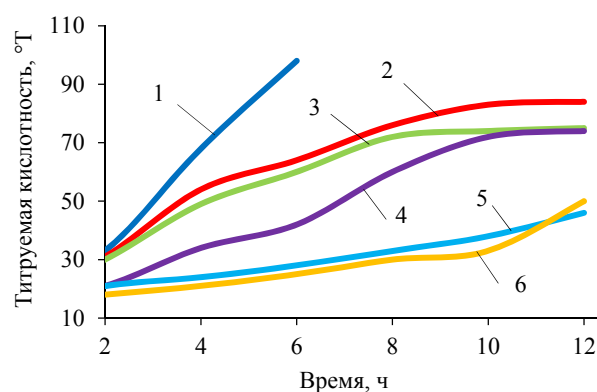


Рисунок 3 – Зависимость титруемой кислотности смесей для мороженого, ферментированных различными заквасками: 1 – *L. acidophilus*; 2 – *L. bulgaricus* + *Str. thermophilus*; 3 – *Str. thermophilus*; 4 – *Lac. spp.* + *L. casei*; 5 – *Lac. spp.* + *Str. thermophilus*; 6 – кефирная закваска

Figure 3 – Dependence of titratable acidity of mixtures fermented using different starters for ice cream production: 1 – *L. acidophilus*; 2 – *L. bulgaricus* + *Str. thermophilus*; 3 – *Str. thermophilus*; 4 – *Lac. spp.* + *L. casei*; 5 – *Lac. spp.* + *Str. thermophilus*; 6 – kefir starter

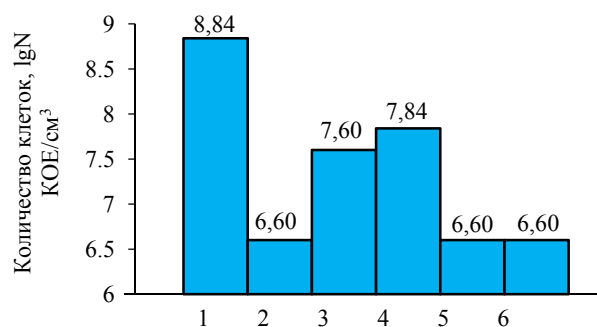


Рисунок 4 – Количество клеток молочнокислых микроорганизмов в образцах смесей для мороженого, сквашенных с использованием различных заквасок: 1 – *L. acidophilus*; 2 – *Str. thermophilus*; 3 – *Lac. spp.*, *Lb. casei*; 4 – *L. bulgaricus*, *Str. thermophilus*; 5 – *Lac. spp.*, *Str. thermophilus*; 6 – кефирная закваска

Figure 4 – Quantity of lactic-acid microorganism cells in samples of mixtures for ice cream fermented using different starters: 1 – *L. acidophilus*; 2 – *Str. thermophilus*; 3 – *Lac. spp.*, *Lb. casei*; 4 – *L. bulgaricus*, *Str. thermophilus*; 5 – *Lac. spp.*, *Str. thermophilus*; 6 – kefir starter

В данном разделе рассмотрены результаты исследований процессов получения и свойств мороженого с *Lactobacillus acidophilus* и различными функциональными ингредиентами, последовательность изложения – по времени опубликования работ (2012–2017 гг.).

Проведено исследование выживаемости штамма *Lactobacillus acidophilus* NCDC 14 в синбиотическом мороженом с добавлением концентрата сывороточных белков, а также разных пребиотиков [53]. В смесь для мороженого, содержащую 37,4 % сухих веществ, 10 % жира, 11 % СОМО, 16 % сахара, 0,4 % смеси стабилизатора и эмульгатора, добавляли 3 % фруктоолигосахаридов (ФОС), или инулина, или меда. Пробиотическую культуру (4 %) инокулировали в смесь мороженого и инкубировали при 40 °С до pH 5,5. Добавление каждого пребиотика привело к значительному (примерно на порядок) увеличению количества клеток *L. acidophilus* после ферментации смеси мороженого по сравнению с контролем, такая же разница сохранилась в образцах после замораживания и хранения в течение 15 дней. Употребление про- и синбиотического мороженого добровольцами приводило к значимому уменьшению pH фекалий, увеличению количества *L. acidophilus* и снижению количества колиформ [53].

Целью другой работы тех же авторов [54] было получение фруктового ферментированного мороженого с *Lactobacillus acidophilus* LA-5. В половину смеси для мороженого с аналогичным использованному в [53] составом вносили пробиотик, после чего инкубировали смесь при 43 °С в течение 3 ч и охлаждали до 6 °С для предотвращения дальнейшей ферментации. Затем неферментированную (45 %), ферментированную (45 %) смеси и 10 % яблочного пюре тщательно перемешивали, после чего подвергали фризерованию и замораживанию. Показано, что внесение пробиотика приводит к снижению pH и взбитости смеси; количество жизнеспособных клеток N в мороженом существенно снижалось после замораживания ($\Delta \lg N = 1,6$). Наблюдалось медленное снижение количества клеток в течение первых 6 недель хранения при –18 °С ($\Delta \lg N = 0,4$) и более быстрое с 6 по 10 неделю ($\Delta \lg N = 1,0$) хранения мороженого, однако к концу срока хранения уровень жизнеспособных клеток пробиотика оставался достаточно высоким ($1,0 \cdot 10^7$ КОЕ/г) [54].

Влияние светлого, янтарного и темного меда как функционального натурального подсластителя на свойства мороженого с *L. acidophilus* исследовано в работе [55]. Показано, что замена сахара медом приводит к увеличению количества клеток стартерной культуры и вязкости, а также к снижению pH смеси и объема расплава мороженого. Темный мед лучше стимулировал развитие *L. acidophilus* (увеличение количества клеток N в смеси составило $\Delta \lg N = 1,5$), но наиболее приемлемые сенсорные показатели были получены для мороженого со светлым медом.

В другой работе [56] изучено влияние концентрации рафинированного и нерафинированного сахара из разного сырья на выживаемость

L. acidophilus LA-5 в пробиотическом мороженом, его органолептические и антиоксидантные свойства. Смесь содержала 55,4 % молока, 20 % сливок, 8 % сухого обезжиренного молока, 0,5 % стабилизатора, 0,1 % ванилина, рафинированный тростниковый сахар или нерафинированный сахар кокосовой пальмы в разных концентрациях (15, 18 и 21 %). В готовые смеси перед фризерованием вносили по 4 % закваски *L. acidophilus* LA-5. Показано, что использование рафинированного и нерафинированного сахаров в различных концентрациях не влияло на изменение pH и титруемой кислотности смеси и мороженого. Отмечено, что повышение концентрации сахаров и применение нерафинированного сахара привели к увеличению взбитости смеси для мороженого. Авторы связывают это с тем, что в составе нерафинированных сахаров присутствует инулин, который способствует более эффективному насыщению смеси воздухом. Пробиотическое мороженое с нерафинированным сахаром имело более высокую антиоксидантную активность (31,9–45,3 %), чем с рафинированным (11,0–24,0 %). Авторы обосновали этот результат исследования тем, что в нерафинированных сахарах присутствуют высшие фенольные соединения и марганец, которые обладают выраженной антиоксидантной активностью. Несмотря на это, общая антиоксидантная активность пробиотического мороженого была низкой, поскольку смесь, используемая в производстве мороженого, не была сквашена. Установлено, что выживаемость культуры *L. acidophilus* при –20 °С в течение 90 дней была выше в образцах мороженого с нерафинированным сахаром (85–90 %), чем с рафинированным (85–87 %). Выявлено, что повышение концентрации сахаров до 18 % способствует увеличению выживаемости *L. acidophilus* на 5,56 % в мороженом с нерафинированным сахаром и на 1,43 % с рафинированным. Однако дальнейшее увеличение сахаров до 21 % снижает жизнеспособность пробиотической культуры на 1,11 % в мороженом с нерафинированным сахаром и на 4,62 % с рафинированным. На конец срока хранения количество жизнеспособных клеток *L. acidophilus* в мороженом с нерафинированным сахаром было на уровне $1,25 \cdot 10^7$ КОЕ/г, с рафинированным – $1,95 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Отмечено, что использование нерафинированного сахара оказало положительное влияние на органолептические показатели мороженого [56].

В работе [31] изучено влияние инулина на свойства мороженого с *L. acidophilus* (БК-Углич-АВ). Смесь содержала 53 % обезжиренного молока, 24,5 % сливок, 17 % сахарозы, 0,5 % стабилизатора. В экспериментальные образцы вносили инулин в концентрации 1–3 %. В смесь вносили 0,5 % ацидофильной закваски, сквашивали в течение (6 ± 1) ч при 37 °С до pH 4,85, после чего подвергали взбиванию и замораживанию. Установлено, что инулин не оказывает влияния на процесс сквашивания смеси закваской *L. acidophilus*, но

улучшает ее структурно-механические свойства. Показано (рис. 5), что внесение инулина в количестве 1 % повысило вязкость смеси для мороженого на 20,9 %, в количестве 2 % – на 43,3 % и в количестве 3 % – на 70,9 % по сравнению с контрольным образцом (без инулина) при минимальной скорости сдвига (5 c^{-1}).

Установлено, что с увеличением массовой доли инулина степень насыщения смеси воздухом при фризеровании возрастает (рис. 6). Внесение инулина в количестве 1 % повысило взбитость смеси мороженого на 12,7 %, 2 % – на 31,7 % и 3 % – на 55,5 %. Отмечено, что оптимальный с точки зрения формирования консистенции молочного мороженого уровень взбитости был получен при использовании 2 % инулина.

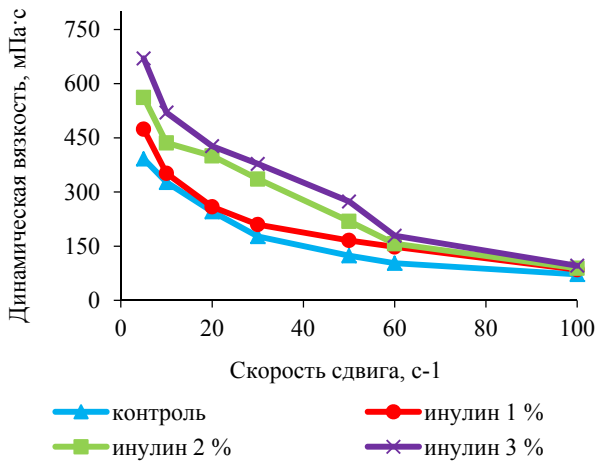


Рисунок 5 – Влияние инулина на изменение показателя динамической вязкости смеси мороженого
Figure 5 – Inulin effect on changes in ice cream mixture dynamic viscosity value

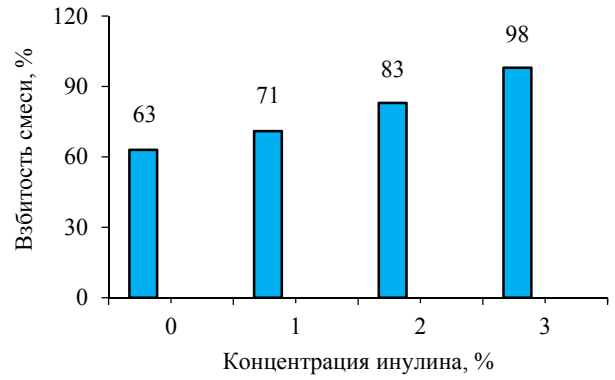


Рисунок 6 – Влияние инулина на взбитость смеси для мороженого

Figure 6 – Effect of inulin on overrun of mixture for ice cream production

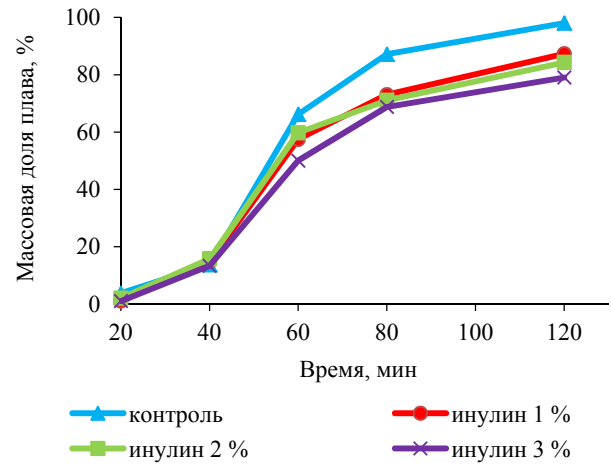


Рисунок 7 – Зависимость массовой доли плава от времени таяния мороженого с добавлением и без добавления инулина

Figure 7 – Dependence of melt weight fraction on melting time of ice cream with and without inulin

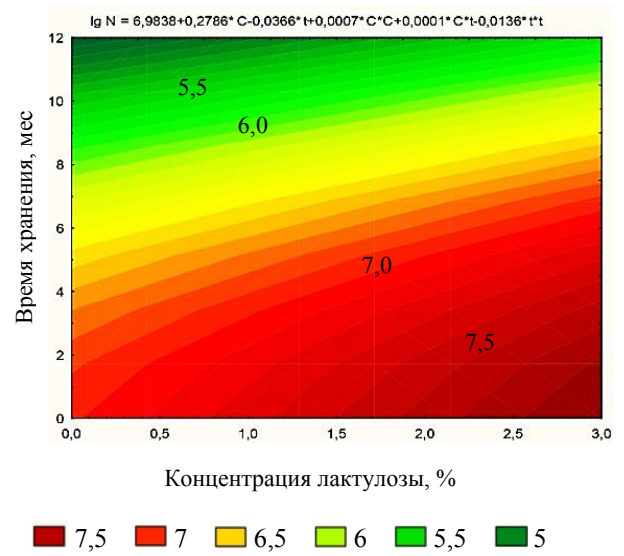
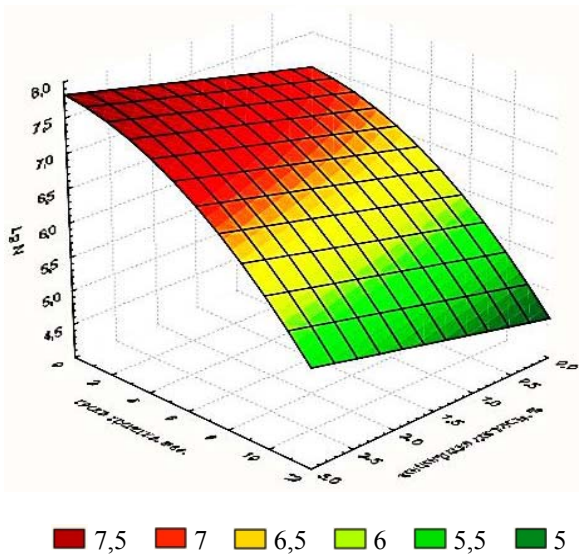


Рисунок 8 – Зависимость количества клеток ($\lg N$, КОЕ/см³) в кисломолочном мороженом от продолжительности хранения (τ , мес) и концентрации лактулозы (%): а) поверхность отклика; б) изолинии ее сечений

Figure 8 – Dependence of cells number ($\lg N$, CFU/cm³) in cultured ice cream on storage time (τ , months) and lactulose concentration (%): a) response surface; b) isolines of its sections

Авторами показано, что образцы мороженого с инулином проявляли более высокую устойчивость к таянию (рис. 7). При добавлении 1 % инулина массовая доля плава через 2 ч была на 10,9 %, 2 % – на 14 %, 3 % – на 19,3 % ниже по сравнению с контролем. Внесение инулина увеличивало устойчивость мороженого к таянию примерно в равной степени для концентраций 1–3 %.

Отмечено, что использование инулина оказывает положительное влияние на органолептические свойства мороженого. Мороженое с 2 % инулина имело более однородную консистенцию, кремообразную структуру, мягкий сливочный вкус, чем другие образцы, и получило самую высокую общую оценку сенсорных показателей [31].

В работе [31] также представлены результаты исследования влияния концентрации пребиотика лактулозы на выживаемость *L. acidophilus* (БК-Углич-АВ) в ферментированном мороженом. Контрольная смесь содержала 5 % жира, 10 % СОМО, 16 % сахарозы и 0,5 % стабилизатора, в экспериментальных образцах часть сахарозы (1–3 %) была заменена на сироп лактулозы, который вносили в ферментированную и охлажденную смесь. Ферментация смеси была проведена при 37 °С в течение 4 ч до рН 4,9. Зависимость количества жизнеспособных клеток *L. acidophilus* от концентрации лактулозы и времени хранения полученных образцов мороженого при –18 °С в течение 12 месяцев показана на рис. 8. Установлено, что внесение лактулозы в смесь приводит к повышению выживаемости *L. acidophilus* при замораживании и хранении. Например, в смеси без лактулозы количество клеток *L. acidophilus* после фризирования и замораживания находится на уровне 10^7 КОЕ/г, а через 6 месяцев хранения снижается примерно на порядок. При добавлении 1 % лактулозы количество жизнеспособных микроорганизмов (N) после фризирования составляет $8,84 \lg N$, а через 8 месяцев хранения было на уровне $\lg N = 6,11$; 2 % – $\lg N = 6,38$; 3 % – $\lg N = 6,77$. При повышении концентрации лактулозы выживаемость *L. acidophilus* повышается незначительно. В ходе дальнейшего хранения количество микроорганизмов во всех образцах было ниже $6,0 \lg N$.

Целью работы [57] было оценить возможность использования муки из якона как источника фруктоолигосахаридов для получения клубничного синбиотического мороженого с *L. acidophilus* NCFM. Контрольная смесь для мороженого содержала 89,5 % молока, 3,2 % сухого молока, 2,4 % сливок, 12 % сахара, 1,6 % клубничного ароматизатора, 0,6 % эмульгатора-стабилизатора, 0,8 % нейтрализующего вещества. В экспериментальных образцах часть молочной смеси использовали для активации закваски 0,06 и 0,13 % при 37 °С в течение 2 ч, после чего ее смешивали с основной смесью, а также часть молока 1,5 и 3 % заменяли мукой якона. Взбитость контрольного и опытных образцов находилась на уровне 30–32 %. Установлено, что физико-химические и микро-

биологические показатели полученного синбиотического мороженого соответствовали требованиям стандартов Бразилии. Показано, что образцы с 3 % якона содержали больше минеральных компонентов и жизнеспособных клеток пробиотических микроорганизмов после 150-дневного периода хранения мороженого при –18 °С. Однако добавление якона привело к снижению органолептических показателей мороженого, возможно, из-за желтоватого оттенка и песчанистого вкуса. Авторы считают, что пищевая матрица, кислотность и рН мороженого позволили сохранить жизнеспособность пробиотических микроорганизмов на уровне выше 10^7 КОЕ/г, что демонстрирует потенциал разработанного синбиотического мороженого [57]. По-видимому, необходима доработка рецептуры с целью улучшения консистенции, вкуса и цвета продукта.

4. Способы получения и свойства мороженого с *Lactobacillus acidophilus* и бифидобактериями, другими стартерными культурами и различными функциональными ингредиентами.

Так как разные пробиотики могут оказывать различное влияние на здоровье человека, в новых видах мороженого иногда применяют сочетание *L. acidophilus* и других полезных микроорганизмов. При этом каждый штамм может иметь определенные преимущества при использовании отдельно или в комбинации с другими пробиотиками [6, 9]. Значительное количество научных статей посвящено исследованию процессов получения и свойств ацидофильного мороженого с пробиотиками и пребиотиками, пищевыми волокнами, фруктовыми, ягодными и зерновыми добавками. В первом подразделе систематизированы способы получения мороженого с *L. acidophilus* и бифидобактериями как наиболее часто применяющимся сочетанием пробиотиков (13 из 16 выявленных по теме раздела работ). Во втором подразделе рассмотрены возможности совместного применения *L. acidophilus* с другими стартерными культурами.

4.1. Применение *L. acidophilus* и *Bifidobacterium* spp.

В одной из первых работ, посвященных получению пробиотического мороженого, использовали две культуры – *L. acidophilus* (10 LF, 946744A) и *Bifidobacterium bifidum* (10 LF, 946745101) [58]. Смесь, содержащую 12 % жира, 11 % СОМО, 12,5 % сахарозы, 4,5 % кукурузного сиропа и 0,32 % стабилизатора-эмульгатора, подвергали обычной (79,4 °С в течение 28 с) или более жесткой (82 °С в течение 30 мин) тепловой обработке. Затем в смесь вносили по 4 % каждой закваски, ферментировали при 42 °С в течение 5 ч до рН 4,9, добавляли 10 % ягодной ароматизирующей добавки, охлаждали, замораживали и хранили при –29 °С. Показано, что скорость роста обеих культур была выше в смеси, подвергнутой более жесткой тепловой обработке, что авторы объясняют более высоким содержанием

аминокислот и других стимулирующих веществ, а также почти стерильными условиями, более подходящими для развития заквасочных культур [58]. Количество бактерий, которое находилось в исходной смеси после ферментации на уровне $5 \cdot 10^8$ КОЕ/см³ для обеих культур, после замораживания снизилось для *L. acidophilus* в 3,3 раза, для *B. bifidum* – в 2 раза; после 17 недель хранения мороженого для *L. acidophilus* – примерно на два порядка, а для *B. bifidum* – на один порядок. За тот же период активность бета-галактозидазы в смеси снизилась примерно на 30%. Органолептическая оценка мороженого с разным уровнем pH (5,0, 5,5 и 6,0) показала, что наиболее предпочтительным для потребителей оказался продукт с pH 5,5. Метод нагревания смеси существенно не повлиял на общую сенсорную оценку мороженого, но образцы с жесткой термической обработкой смеси имели более мягкую (гладкую – smoother) консистенцию с более мелкими кристаллами льда, что объясняется денатурацией сывороточных белков и лучшим связыванием влаги [58].

В работе [59] для приготовления неферментированного мороженого применяли культуры *L. acidophilus* LA-5 и *Bifidobacterium lactis* BB-12, которые вносили перед фризированием в подготовленную смесь, содержащую 10,5 % СОМО и 35,5 % сухих веществ. Количество клеток каждой культуры находилось в пределах $2-6 \cdot 10^7$ КОЕ/г. Степень взбивания смеси достигала 80–90 %, после фризирования смесь замораживали до -30 °С. Авторы показали, что после фризирования выжило 36 % клеток *L. acidophilus* LA-5 и 43 % *B. lactis* BB-12, а через 85 дней хранения – 7 и 3 % соответственно. Установлено, что срок хранения мороженого, в течение которого количество клеток обеих культур превышает 10^6 КОЕ/г, составляет 90 дней. Добавление пробиотических микроорганизмов не привело к существенному изменению вкуса продукта, увеличение затрат на его производство по сравнению с традиционным мороженым составило 28 % [59].

Все остальные выявленные по теме подраздела публикации описывают получение и свойства мороженого с использованием не только *L. acidophilus* и бифидобактерий, но и целого ряда функциональных ингредиентов. Учитывая большой объем информации, материал условно разделен на три части (с применением пребиотиков и пищевых волокон, с заменой коровьего молока растительными аналогами и с добавлением других стартерных культур). Последовательность описания способов получения мороженого в подразделах – по времени опубликования. Почти все рассмотренные ниже работы (14 из 16) опубликованы за последние пять лет. Исключением являются две публикации [60] и [68], являющиеся базовыми для подразделов 4.1.1. и 4.1.3.

4.1.1. Получение мороженого с *L. acidophilus* и *Bifidobacterium* spp. и добавлением пребиотиков и/или источников диетических волокон.

Культуры *L. acidophilus* LA-5 и *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12 были использованы в работе [60] при изучении влияния олигофруктозы или инулина на реологические характеристики и выживаемость пробиотиков в низкожирном мороженом. Смесь содержала 4 % жира, 12 % обезжиренного молока, 13 % сахарозы, 0,65 % стабилизатора/эмульгатора, 4 % кукурузного сиропа. В экспериментальные образцы вносили 4 % олигофруктозы или инулина и 0,3 % пробиотических культур, ферментацию проводили в течение 4 ч при 40 °С до pH 5,5. Показано, что добавление к ферментированной смеси фруктанов не повлияло на pH, но приводило к значительному увеличению вязкости (олигофруктозы – в 1,3 раза, инулина – в 1,5 раза) и взбитости (олигофруктозы – в 1,2 раза, инулина – в 1,8 раза) смеси [60]. Как следствие, самые высокие показатели твердости и способности к плавлению мороженого были получены в опытах с инулином. После ферментации более высокое количество клеток *L. acidophilus* LA-5 (N) было получено в мороженом с олигофруктозой – на $\Delta \lg N = 0,7$ больше, чем в образце без добавок, и на $\Delta \lg N = 0,2$ больше, чем с инулином. Уменьшение количества клеток *L. acidophilus* LA-5 в образце без добавок после фризирования составило $\Delta \lg = 1,7$, в образцах с олигофруктозой – $\Delta \lg = 2,2$, с инулином – $\Delta \lg = 2,2$; после хранения при -18 °С в течение 90 дней – $\Delta \lg = 2,6$, $\Delta \lg = 2,7$ и $\Delta \lg = 3,1$ соответственно [60]. Аналогичные закономерности получены и для бифидобактерий. Авторы сделали вывод, что только добавление олигофруктозы позволило получить необходимое количество клеток бифидобактерий (10^6 КОЕ/г) в готовом продукте к концу хранения, при этом уровень выживаемости лактобацилл был ниже допустимого уровня [60]. Анализ представленных в статье данных показывает, что добавление фруктанов стимулировало развитие пробиотиков при ферментации, но не повышало выживаемость клеток при низкотемпературной обработке мороженого.

В работе [61] сравнивали три метода получения синбиотического мороженого с пробиотиками *L. acidophilus* LA-5 и *B. lactis* BB-12 и инулином (2 %) в качестве пребиотика. Смесь содержала 58 % обезжиренного молока, 4,5 % обезжиренного сухого молока, 20 % сливок 35%-ной жирности, 17 % сахарозы и 0,5 % стабилизатора. Первый образец мороженого был приготовлен с ферментацией смеси пробиотическими культурами при 37 °С до pH 5,8, второй – без ферментации смеси, третий был получен путем добавления ферментированного при 37 °С в течение 10 ч молока (10 %) в смесь для мороженого. Авторы сделали вывод о том, что третий способ подготовки смеси позволяет увеличить ее взбитость и количество пробиотических бактерий в готовом мороженом после 16 недель хранения при -20 °С, а также улучшить сенсорные свойства синбиотического мороженого [61]. Однако анализ приведенных в статье данных показывает, что снижение количества клеток пробиотиков (N, КОЕ/г) в мороженом после 16 недель для образцов

с ферментацией и без ферментации всей смеси было примерно одинаковым (около $\Delta \lg N = 0,03$), а для образцов с ферментацией части молока – $\Delta \lg N = 0,02$. При этом самая высокая оценка вкуса мороженого была получена для образцов без ферментации смеси [61]. Можно отметить, что чем выше была кислотность смеси, тем ниже оценка вкуса и запаха образцов, что свидетельствует о неприятии потребителями кислого вкуса мороженого.

Влияние различных фруктовых и зерновых добавок, богатых диетическими волокнами, на неферментированное мороженое с *L. acidophilus* LA-5 и *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12 изучено в работе [62]. Смесь содержала 11,5 % сухого молока, 11 % сливок, 16 % сахарозы и различные количества добавок, в контроль был добавлен инулин (2 и 4 %). Показано, что побочные продукты переработки винограда, абрикосов, яблок, риса, кукурузы и подсолнечника могут использоваться для повышения выживаемости пробиотиков *L. acidophilus* LA-5 в мороженом при фризеровании и хранении без какого-либо неблагоприятного воздействия на физико-химические, микробиологические и сенсорные показатели мороженого по сравнению с контрольными образцами.

В другой работе [63] оценивали влияние диетических волокон, полученных из яблок, апельсинов, овса, бамбука и пшеницы, на свойства ферментированного мороженого и выживаемость в нем культур *L. acidophilus* LA-5 и *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12. Смесь содержала 6 % молочного жира, 12 % СОМО, 16 % сахарозы, 0,6 % стабилизатора/эмульгатора и 2 % пищевых волокон. После добавления пробиотических культур в количестве 10^8 КОЕ/г смесь была ферментирована в течение 3,5 ч при 40 °С до достижения pH 5,5. Показано, что добавление апельсиновых и яблочных волокон улучшило реологические свойства смесей и сопротивление мороженого к таянию по сравнению с контролем и другими экспериментальными образцами, но отрицательно повлияло на оценку потребителями вкуса и цвета мороженого. Самые высокие органолептические показатели (вкус и текстура) сразу после приготовления мороженого получили образцы с овсяным, бамбуковым и пшеничным волокнами. К концу хранения (180 дней) образцов при –18 °С количество жизнеспособных клеток *L. acidophilus* осталось на уровне 10^7 КОЕ/г в контрольном образце и образцах с яблочным, овсяным и пшеничным волокнами, в этих же образцах лучше выжили и бифидобактерии – их количество превышало 10^6 КОЕ/г в течение 150 дней хранения. Добавление апельсинового и бамбукового волокон привело к снижению жизнеспособности обеих пробиотических культур при замораживании и хранении мороженого [63]. По-видимому, для достижения наилучшего эффекта по всем показателям в рецептурах пробиотического мороженого целесообразно использовать сочетание различных пищевых волокон.

4.1.2. Получение замороженных десертов с *L. acidophilus* и *Bifidobacterium* spp. и заменой коровьего молока на растительные аналоги.

Для получения немолочного пробиотического мороженого десерта на основе асаи (*açai*, *Euterpe oleracea* – пальма рода Эвтерпа, культивируется в Бразилии ради съедобной сердцевины и плодов, богатых полезными веществами) в работе [64] применяли культуры *L. acidophilus* LA-5 и *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12, для синбиотического продукта добавляли инулин. Контрольная смесь для мороженого содержала 65,8 % пульпы асаи, 16,5 % сиропа гуараны, 14 % воды, 3,2 % сахарозы, 0,5 % стабилизатора-эмульгатора. В экспериментальных пребиотических и синбиотических образцах часть растительного сырья была заменена на инулин (5,9 %). В образцах пробиотического и синбиотического десерта перед фризерованием вносили 0,07 % закваски *L. acidophilus* LA-5 и 0,07 % закваски *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12. Показано, что добавление инулина повышало органолептические показатели десертов и выживаемость пробиотических культур, особенно бифидобактерий, в течение всего срока хранения продукта (84 дня при –18 °С). Количество жизнеспособных клеток *L. acidophilus* к концу срока хранения было выше 10^7 КОЕ/г в про- и синбиотических десертах, для *B. animalis* этот показатель был ниже, достигая 10^6 КОЕ/г только в синбиотическом образце [64].

Влияние растительного молока на выживаемость пробиотической микрофлоры ферментированного мороженого в условиях желудочно-кишечного тракта было изучено в работе [65]. Девять смесей для мороженого, полученных из коровьего, соевого, кокосового молока и их комбинаций, содержали от 7,31 до 10,37 % жира, 7 % сухого молока, 17 % сахарозы, 0,6 % стабилизатора, 0,1 % ванилина и 9,62 % воды. В смеси вносили 4 % закваски *L. acidophilus* LA-5 и *Bifidobacterium bifidum* BB-12 и подвергали ферментации при 42 °С до pH 5,5. Показано, что желудочный сок приводит к постепенному снижению жизнеспособности пробиотиков. Жизнеспособность *L. acidophilus* после 120 мин воздействия желудочным соком (pH = 2) составила 72,87–97,34 %, *Bifidobacterium bifidum* 92,84–98,3 %. Отмечено, что самый высокий процент выживаемости LA-5 и BB-12 обнаружен в образцах мороженого на основе соевого молока и его комбинаций. Воздействие кишечного сока с содержанием 0,3 % желчных солей значительно снизило жизнеспособность пробиотиков. Выживаемость бактерий *L. acidophilus* после 120 мин воздействия кишечного сока (pH = 8) составила 41,0–70,2 %, *Bifidobacterium bifidum* – 62,5–85,83 % от исходного количества. Высокий процент выживаемости бифидобактерий отмечен в мороженом с 50 % соевого и коровьего молока, для LA-5 – в мороженом с 100 % содержанием соевого или коровьего молока. Установлено, что внесение соевого молока значительно повышает жизнеспособность пробиотических бактерий в условиях

желудочно-кишечного тракта. Авторы объясняют это тем, что соевые белки образуют стабильные белковые сети, которые создают поверхностно-активный слой толщиной 30–40 нм, увеличивающий защиту клеток пробиотических бактерий [65].

Культуры *L. acidophilus* LA-5 и *Bifidobacterium bifidum* BB-12 были использованы в работе [66] при изучении влияния замены коровьего молока растительным на развитие пробиотической микрофлоры и изменение содержания свободных аминокислот и углеводов в мороженом. Девять смесей для мороженого, полученные из коровьего, соевого и кокосового молока, а также их комбинации содержали от 7,31 до 10,37 % жира, 7 % сухого молока, 17 % сахарозы, 9,62 % воды и 0,6 % стабилизатора. В смеси вносили 4 % каждой закваски и 0,1 % ванилина, затем делили на две равные части. Одну часть подвергали фризерованию, вторую ферментировали при 42 °С до pH 5,5. Показано, что в ферментированном мороженом на основе растительного молока количество клеток пробиотических культур BB-12 и LA-5 на 1,2 и 1,29 lg выше по сравнению с мороженым из коровьего молока. Во всех видах неферментированного мороженого количество пробиотических лактобацилл было одинаковым, а количество бифидобактерий в мороженом из растительного молока было на 0,29 lg выше, чем в мороженом из коровьего молока. Установлено, что в мороженом на основе растительного молока ферментативная активность микроорганизмов LA-5 и BB-12 по отношению к лактозе и сахарозе выражена сильнее, чем в мороженом на основе коровьего молока. Показано, что стимулирование роста и активности пробиотиков может быть обусловлено наличием в соевом и кокосовом молоке таких аминокислот, как аспарагин, глутамин, гистидин, пролин, серин [66].

В другой работе [67] было получено синбиотическое яблочное мороженое на молочной или соевой основе с использованием культур *L. acidophilus* LA-5 и *B. animalis* BB-12 и изучена их сопротивляемость к смоделированным условиям желудочно-кишечного тракта. Смесь содержала 10 % сухого обезжиренного молока, 54,52 % воды, 19,4 % концентрированного яблочного сока, 6 % фруктоолигосахаридов, 4 % сахарозы, 3 % глюкозы, 2 % пальмового масла, 0,4 % эмульгатора, 0,3 % лимонной кислоты, 0,08 % натурального яблочного наполнителя, 0,08 % гуаровой камеди, 0,08 % ксантановой камеди, 0,04 % каррагинана. В экспериментальные образцы вносили соевый экстракт, изолят сывороточных белков и инулин в различных комбинациях. Перед созреванием в охлажденную до 40 °С смесь вносили по 0,5 % каждой закваски, перемешивали, охлаждали до 4 °С и хранили в течение 20 ч. После фризирования мороженое хранили при –18 °С в течение 84 дней. Показано, что среднее значение pH в образцах мороженого в течение срока хранения варьировалось от 4,66 до 5,28. Среднее количество жизнеспособных бактерий *L. acidophilus* LA-5 на конец срока хранения мороженого составило

7,89 lg, *B. animalis* BB-12 – 8,18 lg. Отмечено, что в образцах мороженого с соевым экстрактом наблюдались самые высокие показатели выживаемости обеих пробиотических культур. При изучении резистентности пробиотических культур к агрессивным условиям желудочно-кишечного тракта было использовано моделирование и ПЦР анализ в реальном времени. Установлено, что через 6 ч анализа количество клеток *L. acidophilus* LA-5 и *B. animalis* BB-12 снизилось в среднем на 4,2 lg. Несмотря на это коэффициент выживаемости превышал 50 %, что свидетельствовало о довольно высокой устойчивости пробиотических бактерий LA-5 и BB-12 к условиям желудочно-кишечного тракта. Добавление инулина и изолята сывороточных белков не привело к увеличению выживаемости пробиотических культур, в то время как применение соевого концентрата повышало их жизнеспособность [67].

4.1.3. Получение мороженого с *L. acidophilus* и *Bifidobacterium* spp. совместно с другими, в т. ч. йогуртовыми, культурами.

Влияние концентрации сахарозы и инулина на йогуртное пробиотическое мороженое исследовано в работе [68]. Смесь для мороженого содержала цельное молоко 45 %, сливки 15 %, обезжиренное сухое молоко 7,4 %, сахар 15, 18 или 21 %, стабилизатор 0,5 %, ванилин 0,1 % и воду 10 %. После созревания в смесь добавляли 10 % молока, ферментированного при 37 °С в течение 12 ч стартерной культурой, содержащей *Streptococcus salivarius* spp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* LA-14, *Bifidobacterium lactis* BL-01 и 1 или 2 % инулина. Показано, что повышение концентрации сахара улучшало физико-химические свойства смеси и сенсорные свойства мороженого. Количество бактерий было самым высоким при 18%-ной концентрации сахара. Добавление инулина повысило вязкость смеси и время плавления мороженого, а также стимулировало рост *L. acidophilus* и *B. Lactis* при ферментации и их выживаемость при хранении мороженого [56].

К культурам *L. acidophilus* LA-5 и *Bifidobacterium lactis* BB-12 при получении шоколадного мороженого из козьего молока был добавлен другой пробиотик – *Propionibacterium jensenii* 702 [69]. Часть пастеризованного козьего молока (15 %) инокулировали тремя культурами с последующей анаэробной инкубацией при 37 °С в течение 1 ч. Для хранения мороженого применяли разные упаковочные материалы: полипропилен, полиэтилен и стекло. Процесс замораживания смеси при изготовлении мороженого привел к уменьшению числа жизнеспособных клеток всех пробиотиков (для *L. acidophilus* LA-5 – на 44 %, *B. lactis* BB-12 – на 34 %, *P. jensenii* 702 – на 11 %), однако их количество оставалось на уровне от 10⁷ до 10⁸ КОЕ/г в течение 52 недель хранения мороженого при –20 °С независимо от типа упаковки. Упаковочные материалы оказали значительное влияние на время плавления мороженого, однако влияние упаковки не было очевидным в отношении других физико-

химических свойств и сенсорных характеристик продукта [69].

Влияние инулина на свойства йогуртного мороженого, полученного с использованием пробиотиков *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium lactis* BB-12, изучено в работе [70]. Пастеризованное молоко, содержащее 2,5 % жира и стандартизированное до 11 % СОМО с использованием сухого обезжиренного молока, охлаждали до 42 °С, после чего инокулировали закваской для йогурта и пробиотическими культурами (0,03 %), а затем инкубировали при 42 °С до концентрации молочной кислоты 0,8 %. Йогурт охлаждали до температуры 7 °С и смешивали в соотношении 70:30 с раствором, содержащим 16 % сахара, обезжиренное сухое молоко (для корректировки содержания сухих веществ смеси до 30 %) и 0,2 % эмульгатора/стабилизатора; в экспериментальные образцы добавляли 1 или 2 % инулина. Смесь фризеровали и замораживали. Показано, что добавление инулина значительно улучшает взбитость, вязкость смеси и устойчивость мороженого к таянию. Внесение 2 % инулина существенно повышает выживаемость пробиотических культур и органолептические показатели готового продукта [70].

4.2. Применение *L. acidophilus* и других стартерных культур (без бифидобактерий).

Для приготовления мороженого в работе [71] в качестве пробиотиков использовали *L. acidophilus* NCDC 14 и/или *Saccharomyces boulardii*, в качестве пребиотиков – фруктоолигосахариды (ФОС, 3 %) и концентрат сывороточных белков (КСБ, 4,6 %). В составе смеси в качестве постоянных компонентов использовались: молоко 71 %, масло 8,9 %, сахароза 15 %, стабилизатор/эмульгатор 0,3 %, сухое обезжиренное молоко 41–46 %. Ферментация смесей, содержащих 10 % жира и 36 % сухих веществ, проводилась после внесения заквасок в количестве 4 % для каждой культуры при 37 °С до разного уровня pH (4,5; 5,0; 5,5). Показано, что раздельное и совместное внесение *L. acidophilus* и *S. boulardii* не оказывает существенного влияния на вкус мороженого из-за его высокой буферности [71]. Добавление КСБ улучшило общую сенсорную оценку пробиотического мороженого. Более высокая скорость плавления отмечена в образцах пробиотического и синбиотического мороженого, что может объясняться различиями в точке замерзания и вязкости смесей [71]. Пробиотические культуры лучше развивались в смеси и выживали в мороженом при совместном использовании, однако в этом случае нужно учитывать наличие в этих образцах ФОС, которые также способствовали росту и сохранению жизнеспособности культур при их отдельном использовании. После хранения мороженого при температуре от –18 до –23 °С в течение 15 дней количество клеток *L. acidophilus* N уменьшилось на $\Delta \lg N = 1,38$, в присутствии КСБ – на $\Delta \lg N = 1,02$, в присутствии КСБ и ФОС – на $\Delta \lg N = 1,13$, в присутствии ФОС и *S. boulardii* – на $\Delta \lg N = 1,12$. Во всех образцах мороженого

количество *L. acidophilus* оставалось выше рекомендуемого терапевтического минимального предела (10^6 КОЕ/г). При исследовании фекалий добровольцев, употреблявших различные образцы мороженого, уже через неделю было обнаружено значимое снижение уровня pH и увеличение клеток *L. acidophilus*, особенно при использовании образцов, содержащих обе пробиотические культуры и ФОС [71].

Для получения йогуртного синбиотического мороженого в работе [72] кроме закваски, содержащей *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*, были использованы пробиотик *L. acidophilus* LA-5 и пребиотики фруктоолигосахариды (ФОС). Приготовленный на основе обезжиренного молока йогурт смешивали в соотношении 3:2 со смесью для мороженого, содержащей сухое обезжиренное молоко, 15 % сахарозы, 9,43 % сливок 30%-ной жирности, 0,3 % эмульгатора, 0,2 % стабилизатора и 0,1 % ванилина. В экспериментальные образцы добавляли ФОС в количестве 4 и 8 %, перед фризированием вносили пробиотик в свободной или инкапсулированной альгинатом форме. Показано, что внесение в смесь ФОС приводит к существенному снижению pH и увеличению степени взбитости смеси, особенно в образцах с инкапсулированной формой пробиотика. Сразу после фризирования и замораживания количество свободных клеток *L. acidophilus* LA-5 N независимо от концентрации ФОС снизилось на порядок, инкапсулированных – на $\Delta \lg N = 0,6$. После 60 дней хранения мороженого при –18 °С в образцах с разным содержанием ФОС наблюдалось снижение количества свободных клеток пробиотика еще на два порядка, инкапсулированных – на $\Delta \lg N = 0,5$. Авторы сделали вывод о том, что инкапсулирование альгинатными микрогранулами защищает клетки *L. acidophilus* LA-5 от повреждения в процессе производства и хранения мороженого [72].

В работе [73] для получения пробиотического и синбиотического мороженого использовали *Lactobacillus acidophilus* TISTR 1338 и *Lactobacillus casei* TISTR 1463. Перед фризированием в смесь, содержащую 65,2 % молока, 8,69 % сливок, 6,76 % сухого обезжиренного молока, 11,59 % сахара, 1,93 % кукурузной муки, 0,03 % гуаровой камеди и 0,97 % яичного желтка, вносили свободные и иммобилизованные на банановой муке (4,83 %) пробиотические бактерии. Концентрация клеток каждой культуры достигала 10^8 КОЕ/г. Показано, что добавление иммобилизованных клеток обеспечивает мороженому взбитость в пределах 41–46 % и снижает скорость таяния на 1,06–1,16 %. Авторы объясняют это тем, что банановая мука имеет повышенное содержание крахмала и инулина, которые в свою очередь характеризуются высокой влагоудерживающей способностью. Отмечено, что иммобилизованные клетки не влияют на значения pH и органолептические показатели мороженого. Хранение образцов мороженого при –18 °С в течение 50 дней не

оказало значительного влияния на снижение жизнеспособности свободных и иммобилизованных клеток бактерий. Количество жизнеспособных клеток *L. casei* и *L. acidophilus* составило 8,60 и 8,47 lg на конец срока хранения мороженого. Иммобилизация клеток повлияла на выживаемость пробиотических культур незначительно ($p > 0,05$). В имитируемых условиях желудочно-кишечного тракта жизнеспособность свободных и иммобилизованных клеток *L. casei* и *L. acidophilus* снизилась на один порядок. Установлено, что оба пробиотика обладают высокой кислото- и желчустойчивостью [73].

Выводы

Среди продуктов функционального питания мороженое считается одним из наиболее перспективных средств доставки в организм человека широкого спектра функциональных ингредиентов. Это связано с особенностями состава и структуры мороженого как подходящей матрицы для включения биологически активных веществ и полезных микроорганизмов, его низкотемпературным хранением, при котором не протекают нежелательные химические и микробиологические процессы, а также привлекательностью для разных групп потребителей. С другой стороны, способность бактерий вида *Lactobacillus acidophilus* использовать сахарозу и выдерживать высокое осмотическое давление, активно вырабатывать экзополисахариды, молочную кислоту и бактериоцины, толерантность к кислороду, доказанные пробиотические свойства делают эти

молочнокислые микроорганизмы наиболее подходящими для включения в новые виды полезного для здоровья мороженого.

Классификация способов получения мороженого с *L. acidophilus*, разработанная на основе анализа систематизированных в данной статье материалов, представлена на рис. 9.

Самая простая форма внесения *L. acidophilus* в смесь для мороженого – в виде бактериального концентрата (DVS) в созревшую смесь непосредственно перед фризированием. Преимуществом полученного таким способом неферментированного мороженого является сохранение традиционных органолептических показателей, к которым привык потребитель. К недостаткам относится быстрая гибель клеток *L. acidophilus* при взбивании и замораживании смеси и плохая выживаемость культуры при длительном хранении мороженого. Одно из решений этой проблемы – инкапсулирование клеток, защищающее их от холодового, кислородного стрессов и механических повреждений. Это направление является многообещающим, но пока мало исследовано для мороженого с *L. acidophilus*. Гораздо лучше изучены возможности ферментации смеси для повышения устойчивости этих бактерий к неблагоприятным условиям производства мороженого. Ферментацию можно рассматривать как способ естественной адаптации *L. acidophilus* к высокому осмотическому давлению смеси и низким значениям pH, которая может способствовать и повышению устойчивости культуры к низким температурам.



Рисунок 9 – Классификация способов получения мороженого с *L. acidophilus*

Figure 9 – Classification of ice cream with *L. acidophilus* production methods

При ферментации смеси *L. acidophilus* существенно меняются ее физико-химические и реологические свойства (снижаются рН и содержание сухих веществ, повышаются титруемая кислотность и вязкость), что может привести к снижению степени взбитости смеси, ухудшению структуры мороженого и его органолептической оценки. Особенно плохо потребитель воспринимает непривычно кислый вкус мороженого. Однако технология мороженого позволяет жестко контролировать высокую кислотообразующую способность гомоферментативных термобактерий *L. acidophilus*, т.к. резкое охлаждение и последующее замораживание смеси позволяет прекратить нарастание кислотности и предупредить постокисление в продукте. Проблема слишком кислого вкуса может быть также решена с помощью ферментации части смеси или только ее молочной части, а также путем совместного применения с другими культурами (менее активными кислотообразователями) и пищевыми добавками, обладающими буферными свойствами.

Сочетание в мороженом пробиотических штаммов *L. acidophilus* и пребиотиков позволяет решать сразу несколько задач. Добавление в смесь инулина, олигофруктозы, фруктоолигосахаридов приводит к повышению ее вязкости и взбитости, улучшению органолептических показателей и устойчивости мороженого к плавлению, а также к более высокому количеству жизнеспособных клеток пробиотиков после замораживания и хранения готового продукта. Добавление лактулозы перед фризированием дает возможность не только обогатить мороженое пребиотическим компонентом, но и частично компенсировать снижение сладости (из-за ферментации сахарозы) мороженого без увеличения его калорийности и обеспечить криозащиту *L. acidophilus*.

Учитывая растущую среди населения разных стран популярность продуктов из натурального сырья без каких-либо добавок, перспективным направлением можно считать обогащение мороженого с *L. acidophilus* ягодами, фруктами, зерновыми культурами и продуктами их переработки, являющимися естественными источниками витаминов, пребиотических олигосахаридов, пищевых волокон, минеральных веществ и антиоксидантов. Замена молочного сырья на его растительные аналоги, в частности на соевое и кокосовое молоко, позволяет получать вкусные и полезные замороженные десерты для людей с аллергией на компоненты молока и лактозной непереносимостью.

Анализ способов получения мороженого с *L. acidophilus* и другими стартерными культурами показал, что наиболее изученным является совместное применение двух штаммов – *L. acidophilus* LA-5 (регистрационный номер

DSM13241) и *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 (DSM15954). Появляются работы, посвященные применению других штаммов и видов микроорганизмов, однако оценка их влияния друг на друга и на свойства мороженого затруднена из-за сложности рецептур, содержащих различные сырьевые источники и функциональные ингредиенты.

Обобщая данные исследований мороженого с *L. acidophilus* разных авторов, можно сказать, что основными изучаемыми факторами являются концентрация сахарозы, способ внесения *L. acidophilus* (и др. культур), взбитость смеси, температура и время хранения мороженого, вид и концентрация добавок (чаще всего растительного происхождения). К наиболее важным выходным параметрам можно отнести структурно-механические, органолептические показатели мороженого и выживаемость пробиотических культур при его получении и хранении. Следует отметить, что выводы о влиянии различных факторов на взбитость смесей для мороженого и жизнеспособность *L. acidophilus* достаточно противоречивы, что можно объяснить сложностью состава смесей и разными технологическими параметрами получения мороженого, не всегда точно и подробно описанными в публикациях.

Отдельные работы были посвящены изучению влияния способов получения мороженого с *L. acidophilus* на физиологические свойства культуры, в частности на ее выживаемость в условиях кишечного тракта. Получены данные о более высокой устойчивости *L. acidophilus* из мороженого, чем из йогурта, к кислой среде и желчи, о повышении концентрации и активности клеток лактобацилл и бифидобактерий после употребления мороженого с *L. acidophilus* и одновременном снижении количества клостридий и кишечных палочек. Значительная часть таких исследований была проведена *in vitro*, однако для подтверждения пользы для здоровья и статуса пробиотического продукта необходимы также клинические исследования с участием добровольцев.

Анализ публикаций последних лет позволяет предположить, что для исследователей актуальными останутся вопросы получения пробиотического и синбиотического мороженого с *L. acidophilus* с сохранением коллоидной и структурной целостности продукта, вкуса, запаха и консистенции, приемлемых для потребителя, с необходимым уровнем жизнеспособности культуры и ее полезных физиологических свойств. Для успешного внедрения новых технологий и продвижения полезного мороженого с *L. acidophilus* необходимо также уделять внимание повышению информированности потребителей, дизайну и рекламе новых видов продуктов.

Список литературы

1. Probiotic dairy products as functional foods / D. Granato [et al.] // Food Science and Food Safety. – 2010. – Vol. 9, № 5. – P. 455–470. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x>.

2. Ice cream as a probiotic food carrier / Cruz A. G. [et al.] // Food Research International. – 2009. – Vol. 42. – P. 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.020>.
3. Functional dairy probiotic food development: trends, concepts, and products / A. Homayouni [et al.] // Probiotics / E. Rigobelo ed. – London : IntechOpen, 2012. – P. 978–953. <https://doi.org/10.5772/48797>.
4. Soukoulis, C. Ice cream as a vehicle for incorporating health-promoting ingredients: conceptualization and overview of quality and storage stability aspect / C. Soukoulis, I. D. Fisk, T. Bohn // Food Science and Food Safety. – 2014. – Vol. 13. – P. 627–655. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12083>.
5. Expert consensus document: the international scientific association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic / C. Hill [et al.] // Gastroenterology and Hepatology. – 2014. – Vol. 11, № 8. – P. 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.
6. Pandey, K. R. Probiotics, prebiotics and synbiotics—a review / K. R. Pandey, S. R. Naik, B. V. Vakil // Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 52, № 12. – P. 7577–7587. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1>.
7. Markowiak, P. Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health / P. Markowiak, K. Ślizewska // Nutrients. – 2017. – Vol. 9, № 9. – P. 897–908. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>.
8. Mind-altering with the gut: modulation of the gut-brain axis with probiotics / Kim N. [et al.] // Journal of Microbiology. – 2018. – Vol. 56, № 3. – P. 172–182. <https://doi.org/10.1007/s12275-018-8032-4>.
9. Influence of functional food components on gut health / M. L. Y. Wan [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2018. – P. 1–10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1433629>.
10. Probiotics and paraprobiotics in viral infection: clinical application and effects on the innate and acquired immune systems / O. Kanauchi [et al.] // Current Pharmaceutical Design. – 2018. – Vol. 24. – P. 1–8. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180116163411>.
11. Some current applications, limitations and future perspectives of lactic acid bacteria as probiotics / S. E. Evvie [et al.] // Food and Nutritional Research. – 2017. – Vol. 61, № 1. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1318034>.
12. The life history of *Lactobacillus acidophilus* as a probiotic: a tale of revisionary taxonomy, misidentification and commercial success / M. Bull [et al.] // FEMS Microbial Letters. – 2013. – Vol. 349, № 2. – P. 77–87. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12293>.
13. Factors influencing probiotic survival in ice cream: a review / A. Homayouni [et al.] // Dairy Science. – 2012. – Vol. 7. – P. 1–10. <https://doi.org/10.3923/ijds.2012.1.10.40>.
14. Soukoulis, C. Sensory profiling and hedonic judgement of probiotic ice cream as a function of hydrocolloids, yogurt and milk fat content / C. Soukoulis, E. Lyroni, C. Tzia // LWT-Food Science and Technology. – 2010. – Vol. 3, № 9. – P. 1351–1358. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.006>.
15. Lactic acid bacteria and Bifidobacteria with potential to design natural biofunctional health-promoting dairy foods / D. M. Linares [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2017. – Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00846>.
16. Fijan, S. Microorganisms with claimed probiotic properties: an overview of recent literature / S. Fijan // Environmental Research and Public Health. – 2014. – Vol. 11, № 5. – P. 4745–4767. <https://doi.org/10.3390/ijerph110504745>.
17. Hammes, W. P. The genera *Lactobacillus* and *Carnobacterium* / W. P. Hammes, C. Hertel // The Prokaryotes / M. Dworkin [et al.]. – Vol. 4, 3rd ed. – New York : Springer, 2006. – P. 320–403.
18. Altermann, E. Complete genome sequence of the probiotic lactic acid bacterium *Lactobacillus acidophilus* NCFM / E. Altermann, W. M. Russell, M. A. Azcarate-Peril // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2005. – Vol. 102, № 11. – P. 3906–3912. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409188102>.
19. Shah, N. P. Functional cultures and health benefits / N. P. Shah // International Dairy Journal. – 2007. – Vol. 17, № 11. – P. 1262–1277. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.01.014>.
20. Antimicrobial activity—the most important property of probiotic and starter lactic acid bacteria / J. Suskovic [et al.] // Food Technology and Biotechnology. – 2010. – Vol. 48, № 3. – P. 296–307.
21. *Lactobacillus acidophilus*: characterization of the species and application in food production / N. Anjum [et al.] // Food Science and Nutrition. – 2014. – Vol. 54, № 9. – P. 1241–1251. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.621169>.
22. Sanders, M. E. Invited review: the scientific basis of *Lactobacillus acidophilus* NCFM functionality as a probiotic / M. E. Sanders, T. R. Klaenhammer // Dairy Science. – 2001. – Vol. 84, № 2. – P. 319–331.
23. Регистр лекарственных средств России. Лактобактерии ацидофильные (*Lactobacillus acidophilus*) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rlsnet.ru/mnn_index_id_3502.htm. – Дата обращения: 03.02.2018.
24. Феклисова, Л. В. Применение лактозосодержащих пробиотиков: оценка многолетнего использования Аципола в педиатрической практике / Л. В. Феклисова // Consilium Medicum. Педиатрия (Прил.). – 2007. – № 2. – С. 123–127.
25. Ивашкина, Н. Ю. Оригинальный отечественный пробиотик аципол: молекулярно-биологические и метаболические характеристики / Н. Ю. Ивашкина, С. Г. Ботина // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. – 2009. – № 2. – С. 58–64.
26. Kneifel, W. Acidophilus milk. Encyclopedia of food sciences and nutrition / W. Kneifel, C. Bonaparte. – 2nd ed. – San Diego : Academic Press, 2003. – 6406 p.
27. Банникова, Л. А. Микробиологические основы молочного производства / Л. А. Банникова, Н. С. Королева, В. Ф. Семенихина. – М. : Агропромиздат, 1987. – 400 с.
28. Полянская, И. С. Антагонистическая активность пробиотических штаммов: факторы регулирования / И. С. Полянская, Л. Г. Стоянова, В. Ф. Семенихина // Молочная промышленность. – 2017. – № 1. – С. 42–44.
29. Грунская, В. А. Творожные продукты, обогащенные пробиотической микрофлорой / В. А. Грунская, Д. А. Конева // Молочная промышленность. – 2017. – № 8. – С. 41–43.
30. Донская, Г. А. Напитки кисломолочные, обогащенные сывороточными белками / Г. А. Донская, В. М. Дрожжин, В. В. Морозова // Молочная промышленность. – 2017. – № 6. – С. 68–70.

31. Ахмедова, В. Р. Научное обоснование способа получения кисломолочного мороженого с пребиотическими компонентами / В. Р. Ахмедова, С. А. Рябцева, М. А. Шпак // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 4. – С. 5–11.
32. Effect of type of protein-based microcapsules and storage at various ambient temperatures on the survival and heat tolerance of spray dried *Lactobacillus acidophilus* / D. Dianawati [et al.] // Food Science. – 2017. – Vol. 82, № 9. – P. 2134–2141. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13820>.
33. Barat, A. Growth of probiotic bacteria and characteristics of fermented milk containing fruit matrices / A. Barat, T. Ozcan // Dairy Technology. – 2017. – Vol. 116, № 1. – P. 174–181. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12391>.
34. Antioxidant properties of probiotic fermented milk supplemented with chestnut flour (*Castanea sativa* Mill) / T. Ozcan [et al.] // Food Processing Preservation. – 2017. – Vol. 41, № 5. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13156>.
35. Neish, A. S. Probiotics of the acidophilus group: *Lactobacillus acidophilus*, *delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *johnsonii* / A. S. Neish // The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology. – 2017. – P. 71–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804024-9.00006-9>.
36. Effect of *Lactobacillus* on body weight and body fat in overweight subjects: a systematic review of randomized controlled clinical trials / L. Crovesy [et al.] // Obesity reviews. – 2017. – Vol. 41, № 11. – P. 1607–1614. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.161>.
37. Proteomics analysis of the adhesion activity of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 upon growth in an intestine-like pH environment / Z. Wu [et al.] // Proteomics. – 2018. – Vol. 18, № 5-6. <https://doi.org/10.1002/pmic.201700308>.
38. Yang, K. Metabolomics study reveals enhanced inhibition and metabolic dysregulation in *Escherichia coli* induced by *Lactobacillus acidophilus*-fermented black tea extract / K. Yang, M. L. Duley, J. Zhu // Agricultural and Food Chemistry. – 2018. – Vol. 6. – P. 1386–1393. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04752>.
39. Complete genome sequence and genomic characterization of *Lactobacillus acidophilus* LA-1 (11869BP) / W. H. Chung [et al.] // Frontiers in Pharmacology. – 2018. – Vol. 9, № 83. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00083>.
40. A novel purified *Lactobacillus acidophilus* 20079 exopolysaccharide, LA-EPS-20079, molecularly regulates both apoptotic and NF- κ B inflammatory pathways in human colon cancer / N. M. El-Deeb [et al.] // Microbial Cell Factories. – 2018. – Vol. 17, № 29. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0877-z>.
41. Growth and survival of some probiotic strains in simulated ice cream conditions / A. Homayouni [et al.] // Applied Sciences. – 2008. – Vol. 8, № 2. – P. 379–382. <https://doi.org/10.3923/jas.2008.379.382>.
42. *In vitro* analysis of gastrointestinal tolerance and intestinal cell adhesion of probiotics in goat's milk ice cream and yogurt / R. C. Senaka [et al.] // Food Research International. – 2012. – Vol. 49, № 2. – P. 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.007>.
43. Viability of the probiotic *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in ice cream: effect of lactose hydrolysis and overrun / R. L. Chiquetti [et al.] // Food Research International. – 2016. – Vol. 23, № 6. – P. 2631–2637.
44. Chaikham, P. Combined effects of low-fat ice cream supplemented with probiotics on colon microfloral communities and their metabolites during fermentation in a human gut reactor / P. Chaikham, P. Rattanasena // Food Bioscience. – 2017. – Vol. 17. – P. 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.12.005>.
45. Nousia, F. G. Survival of *Lactobacillus acidophilus* LMGP-21381 in probiotic ice cream and its influence on sensory acceptability / F. G. Nousia, P. I. Androulakis, D. J. Fletouris // Dairy Technology. – 2011. – Vol. 64. – P. 130–136. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00645.x>.
46. Viability of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 incorporated into ice cream using three different methods / A. A. Arslan [et al.] // Dairy Science and Technology. – 2016. – Vol. 96. – P. 477–487. <https://doi.org/10.1007/s13594-016-0282-5>.
47. Application of cold-and heat-adapted *Lactobacillus acidophilus* in the manufacture of ice cream / F. Ergina [et al.] // International Dairy Journal. – 2016. – Vol. 59. – P. 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.03.004>.
48. Abghari, A. Nonfermented ice cream as a carrier for *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus* / A. Abghari, M. Sheikh-Zeinoddin, S. Soleimani-Zad // Food Science and Technology. – 2011. – Vol. 46. – P. 84–92. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02453.x>.
49. Sensory acceptance and survival of probiotic bacteria in ice cream produced with different overrun levels / J. L. Ferraz [et al.] // Food Science. – 2012. – Vol. 71. – P. 24–28. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02508.x>.
50. Арсеньева, Т. П. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 4. Мороженое // Т. П. Арсеньева. – СПб.: ГИОРД, 2002. – 184 с.
51. Влияние вида заквасочной микрофлоры на свойства смеси для кисломолочного мороженого / В. Р. Ахмедова [и др.] // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2013. – № 6. – С. 84–87.
52. Пребиотики как функциональные пищевые ингредиенты: терминология, критерии выбора и сравнительной оценки, классификация / А. Г. Храмов [и др.] // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 1. – С. 5–17.
53. *In vivo* and *in vitro* effect of *Lactobacillus acidophilus* in synbiotic ice cream enriched with whey protein concentrate / C. Pandiyan [et al.] // International Food Research Journal. – 2012. – Vol. 19, № 2. – P. 441–446.
54. Application of *Lactobacillus acidophilus* (LA-5) strain in fruit-based ice cream / S. A. Senanayake [et al.] // Food Science and Nutrition. – 2013. – Vol. 1, № 6. – P. 428–431. <https://doi.org/10.1002/fsn3.66>.
55. Greenbaum, A. Effect of honey a natural sweetener with several medicinal properties on the attributes of a frozen dessert containing the probiotic *Lactobacillus acidophilus* / A. Greenbaum, K. J. Aryana // Open Journal of Medical Microbiology. – 2013. – Vol. 3, № 2. – P. 95–99. <https://doi.org/10.4236/ojmm.2013.32015>.
56. Low, R. H. P. Effects of different levels of refined cane sugar and unrefined coconut palm sugar on the survivability of *Lactobacillus acidophilus* in probiotic ice cream and its sensory and antioxidant properties / R. H. P. Low, A. S. Baba, F. Aboufazi // Food Science and Technology Research. – 2015. – Vol. 21, № 6. – P. 857–862. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.857>.
57. Synbiotic ice cream containing yacon flour and *Lactobacillus acidophilus* NCFM LWT / G. Parussoloa [et al.] // Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 82. – P. 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.049>.

58. Hekmat, S. Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* in ice cream for use as a probiotic food / S. Hekmat, D. J. McMahon // Dairy Science. – 1992. – Vol. 75, № 6. – P. 1415–1422. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77895-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77895-3).
59. Corrales, A. Survival of probiotic microorganisms *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* in whipped ice cream / A. Corrales, M. Henderson, I. Morales // Revista Chilena de Nutrición. – 2007. – Vol. 34, № 2. – P. 157–163.
60. Akalin, A. S. Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream / A. S. Akalin, D. Erişir // Food Science. – 2008. – Vol. 73, № 4. – P. 184–188. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00728.x>.
61. Golestani, M. Comparison of three treatments (two fermented treatments and one nonfermented treatment) in production of synbiotic ice cream / M. Golestani, R. Pourahmad // Food Processing and Preservation. – 2016. – Vol. 41, № 2. – P. 128–139. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12839>.
62. Probiotic properties of ice creams produced with dietary fibres from by-products of the food industry / A. Ayar [et al.] // Dairy Technology. – 2017. – Vol. 71, № 1. – P. 174–182. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12387>.
63. Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: structural characteristics and culture viability / A. S. Akalin [et al.] // Dairy Science. – 2018. – Vol. 101, № 1. – P. 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>.
64. Innovative açai (*Euterpe oleracea*, Mart., Arecaceae) functional frozen dessert exhibits high probiotic viability throughout shelf-life and supplementation with inulin improves sensory acceptance / B. G. Vasconcelos [et al.] // Food Science and Biotechnology. – 2014. – Vol. 23, № 6. – P. 1843–1849. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0252-8>.
65. Aboufazi, F. Effect of vegetable milk on survival of probiotics in fermented ice cream under gastrointestinal conditions / F. Aboufazi, A. S. Baba // Food Science and Technology Research. – 2015. – Vol. 21, № 3. – P. 391–397. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.391>.
66. Aboufazi, F. Effects of the replacement of cow milk with vegetable milk on the count of probiotics and changes in sugar and amino acid contents in fermented ice creams / F. Aboufazi, A. B. Shori, A. S. Baba // Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 70. – P. 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.056>.
67. *In vitro* gastrointestinal resistance of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium animalis* BB-12 in soy and/or milk-based synbiotic apple ice creams / N. S. Matias [et al.] // Food Microbiology. – 2016. – Vol. 234. – P. 83–93.
68. Akin, M. B. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice cream / M. B. Akin, M. S. Akin, Z. Kirmaci // Food Chemistry. – 2007. – Vol. 104, № 1. – P. 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.030>.
69. Production of probiotic ice cream from goat's milk and effect of packaging materials on product quality / S. Ranadheera [et al.] // Small Ruminant Research. – 2013. – Vol. 112. – P. 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.020>.
70. Effect of inulin on the physicochemical properties, flow behavior and probiotic survival of frozen yogurt / R. Rezaei [et al.] // Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 51, № 10. – P. 2809–2814. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0751-7>.
71. Development of synbiotic ice cream incorporating *Lactobacillus acidophilus* and *Saccharomyces boulardii* / C. Pandiyan [et al.] // International Food Research Journal. – 2012. – Vol. 19, № 3. – P. 1233–1239.
72. Synbiotic yogurt-ice cream produced via incorporation of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* (LA-5) and fructooligosaccharide / A. Ahmadi [et al.] // Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 51, № 8. – P. 1568–1574. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0679-y>.
73. Phuapaiboon, P. Immobilization of probiotic bacteria with banana flour and effect on quality of synbiotic ice cream and survival under simulated gastrointestinal conditions / P. Phuapaiboon // Carpathian journal of food science and technology. – 2016. – Vol. 8, № 4. – P. 33–46.

References

1. Granato D., Branco G.F., Cruz A.G., Faria J.A.F., Shah N.P. Probiotic dairy products as functional foods. *Food Science and Food Safety*, 2010, vol. 9, no. 5, pp. 455–470. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x>.
2. Cruz A.G., Antunes A.E.C., Sousa A.L.O.P., Faria J.A.F., Saad S.M.I. Ice cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, 2009, vol. 42, pp. 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.020>.
3. Homayouni A., Alizadeh M., Alikhah H., Zijah V. Functional dairy probiotic food development: trends, concepts, and products. In: E. Rigobelo ed. *Probiotics*. London: IntechOpen, 2012, pp. 978–953. <https://doi.org/10.5772/48797>.
4. Soukoulis C., Fisk I.D., Bohn T. Ice cream as a vehicle for incorporating health-promoting ingredients: conceptualization and overview of quality and storage stability aspect. *Food Science and Food Safety*, 2014, vol. 13, pp. 627–655. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12083>.
5. Hill C., Guarner F., Reid G., et al. Expert consensus document: the international scientific association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Gastroenterology and Hepatology*, 2014, vol. 11, no. 8, pp. 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.
6. Pandey K.R., Naik S.R., Vakil B.V. Probiotics, prebiotics and synbiotics-a review. *Food Science and Technology*, 2015, vol. 52, no. 12, pp. 7577–7587. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1>.
7. Markowiak P., Śliżewska K. Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 2017, vol. 9, no. 9, pp. 897–908. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>.
8. Kim N., Yun M., Oh Y.J., Choi H.J. Mind-altering with the gut: modulation of the gut-brain axis with probiotics. *Journal of Microbiology*, 2018, vol. 56, no. 3, pp. 172–182. <https://doi.org/10.1007/s12275-018-8032-4>.
9. Wan M.L.Y., Ling K.H., El-Nezami H., Wang M.F. Influence of functional food components on gut health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1433629>.

10. Kanauchi O., Andoh A., AbuBakar S., Yamamoto N. Probiotics and paraprobiotics in viral infection: clinical application and effects on the innate and acquired immune systems. *Current Pharmaceutical Design*, 2018, vol. 24, pp. 1–8. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180116163411>.
11. Evivie S.E., Huo G.C., Igene J.O., Bian X. Some current applications, limitations and future perspectives of lactic acid bacteria as probiotics. *Food and Nutritional Research*, 2017, vol. 61, no. 1. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1318034>.
12. Bull M., Plummer S., Marchesi J., Mahenthalingam E. The life history of *Lactobacillus acidophilus* as a probiotic: a tale of revisionary taxonomy, misidentification and commercial success. *FEMS Microbial Letters*, 2013, vol. 349, no. 2, pp. 77–87. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12293>.
13. Homayouni A., Azizi A., Javadi M., Mahdipour S., Ejtahed H. Factors influencing probiotic survival in ice cream: a review. *Dairy Science*, 2012, vol. 7, pp. 1–10. <https://doi.org/10.3923/ijds.2012.1.10.40>.
14. Soukoulis C., Lyroni E., Tzia C. Sensory profiling and hedonic judgement of probiotic ice cream as a function of hydrocolloids, yogurt and milk fat content. *LWT - Food Science and Technology*, 2010, vol. 3, no. 9, pp. 1351–1358. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.006>.
15. Linares D.M., Gómez C., Renes E., et al. Lactic acid bacteria and Bifidobacteria with potential to design natural biofunctional health-promoting dairy foods. *Frontiers in Microbiology*, 2017, vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00846>.
16. Fijan S. Microorganisms with claimed probiotic properties: an overview of recent literature. *Environmental Research and Public Health*, 2014, vol. 11, no. 5, pp. 4745–4767. <https://doi.org/10.3390/ijerph110504745>.
17. Hammes W.P., Hertel C. The genera *Lactobacillus* and *Carnobacterium*, In: Dworkin M., Falkow S., Rosenberg E., Schleifer K.-H., Stackebrandt E. (eds) *The Prokaryotes*, Vol. 4, 3rd ed. New York: Springer, 2006, pp. 320–403.
18. Altermann E., Russell W.M., Azcarate-Peril M.A. Complete genome sequence of the probiotic lactic acid bacterium *Lactobacillus acidophilus* NCFM. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, vol. 102, no. 11, pp. 3906–3912. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409188102>.
19. Shah N.P. Functional cultures and health benefits. *International Dairy Journal*, 2007, vol. 17, no. 11, pp. 1262–1277. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.01.014>.
20. Suskovic J., Kos B., Beganovic J., et al. Antimicrobial activity—the most important property of probiotic and starter lactic acid bacteria. *Food Technology and Biotechnology*, 2010, vol. 48, no. 3, pp. 296–307.
21. Anjum N., Maqsood S., Masud T., et al. *Lactobacillus acidophilus*: characterization of the species and application in food production. *Food Science and Nutrition*, 2014, vol. 54, no. 9, pp. 1241–1251. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.621169>.
22. Sanders M.E., Klaenhammer T.R. Invited review: the scientific basis of *Lactobacillus acidophilus* NCFM functionality as a probiotic. *Dairy Science*, 2001, vol. 84, no. 2, pp. 319–331.
23. *Registr lekarstvennykh sredstv Rossii. Laktobakterii acidofil'nye (Lactobacillus acidophilus)* [Russian pharmaceutical products register. *Lactobacillus acidophilus (Lactobacillus acidophilus)*]. Available at: https://www.rlsnet.ru/mnn_index_id_3502.htm. (accessed 3 February 2018).
24. Feklisova L.V. Primeneniye laktozosoderzhashchikh probiotikov: otsenka mnogoletnego ispol'zovaniya Atsipola v pediatricheskoy praktike. [Lactose-containing prebiotics application: evaluation of Acipol long-term application in pediatrics]. *Consilium Medicum. Pediatriya (Prilozheniye)* [Consilium Medicum. Pediatrics (Appendix)], 2007, no. 2, pp. 123–127.
25. Ivashkina N.Yu., Botina S.G. Original'nyy otechestvennyy probiotik atsipol: molekulyarno-biologicheskiye i metabolicheskiye kharakteristiki [Original Russian probiotic Acipol: molecular-biologic and metabolic characteristics]. *Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii* [The Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology], 2009, no. 2, pp. 58–64.
26. Kneifel W., Bonaparte C. *Acidophilus milk*. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2003. 6406 p.
27. Bannikova L.A., Koroleva N.S., Semenišina V.F. *Mikrobiologicheskie osnovy molochnogo proizvodstva* [Microbiological basics of dairy products production]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1987. 400 p.
28. Polyanskaya I.S., Stoyanova L.G., Semenišina V.F. Antagonisticheskaya aktivnost' probioticheskikh shtammov: faktory regulirovaniya [Antagonistic activity of probiotic strains: factors of regulation]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 2017, no. 1, pp. 42–44.
29. Grunskaya V.A., Koneva D.A. Tvorozhnyye produkty, obogashchennyye probioticheskoy mikrofloroy [Curds products enriched with probiotic microflora]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 2017, no. 8, pp. 41–43.
30. Donskaya G.A., Drozhzhin V.M., Morozova V.V. Napitki kislomolochnyye, obogashchennyye syvorotochnymi belkami [Fermented milks fortified with whey proteins]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 2017, no. 6, pp. 68–70.
31. Akhmedova V.R., Ryabtseva S.A., Shpak M.A. Nauchnoye obosnovaniye sposoba polucheniya kislomolochnogo morozhenogo s prebioticheskimi komponentami [Scientific rationale for producing fermented ice cream with prebiotic components]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2015, no. 4, pp. 5–11.
32. Dianawati D., Lim S.F., Ooi Y.B., Shah N.P. Effect of type of protein-based microcapsules and storage at various ambient temperatures on the survival and heat tolerance of spray dried *Lactobacillus acidophilus*. *Food Science*, 2017, vol. 82, no. 9, pp. 2134–2141. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13820>.
33. Barat A., Ozcan T. Growth of probiotic bacteria and characteristics of fermented milk containing fruit matrices. *Dairy Technology*, 2017, vol. 116, no. 1, pp. 174–181. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12391>.
34. Ozcan T., Yilmaz-Ersan L., Akpınar-Bayazit A., Delikanlı B. Antioxidant properties of probiotic fermented milk supplemented with chestnut flour (*Castanea sativa* Mill). *Food Processing Preservation*, 2017, vol. 41, no. 5, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13156>.

35. Neish A.S. Probiotics of the acidophilus group: *Lactobacillus acidophilus*, *Delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Johnsonii*. *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology*, 2017, pp. 71–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804024-9.00006-9>.
36. Crovesy L., Ostrowski M., Ferreira D.M.T.P., Rosado E.L., Soares-Mota M. Effect of *Lactobacillus* on body weight and body fat in overweight subjects: a systematic review of randomized controlled clinical trials. *Obesity Reviews*, 2017, vol. 41, no. 11, pp. 1607–1614. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.161>.
37. Wu Z., Wang G., Wang W., et al. Proteomics analysis of the adhesion activity of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 upon growth in an intestine-like pH environment. *Proteomics*, 2018, vol. 18, no. 5-6. <https://doi.org/10.1002/pmic.201700308>.
38. Yang K., Duley M.L., Zhu J. Metabolomics study reveals enhanced inhibition and metabolic dysregulation in *Escherichia coli* induced by *Lactobacillus acidophilus*-fermented black tea extract. *Agricultural and Food Chemistry*, 2018, vol. 6, pp. 1386–1393. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04752>.
39. Chung W.H., Kang J., Lim M.Y., et al. Complete genome sequence and genomic characterization of *Lactobacillus acidophilus* LA-1 (11869BP). *Frontiers in Pharmacology*, 2018, vol. 9, no. 83. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00083>.
40. El-Deeb N.M., Yassin A.M., Al-Madboly L.A., El-Hawiet A. A novel purified *Lactobacillus acidophilus* 20079 exopolysaccharide, LA-EPS-20079, molecularly regulates both apoptotic and NF- κ B inflammatory pathways in human colon cancer. *Microbial Cell Factories*, 2018, vol. 17, no. 29. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0877-z>.
41. Homayouni A., Ehsani M.R., Azizi A., Razavi S.H., Yarmand M.S. Growth and survival of some probiotic strains in simulated ice cream conditions. *Applied Sciences*, 2008, vol. 8, no. 2, pp. 379–382. <https://doi.org/10.3923/jas.2008.379.382>.
42. Senaka R.C., Evansa C.A., Adams M.C., Baines S.K. *In vitro* analysis of gastrointestinal tolerance and intestinal cell adhesion of probiotics in goat's milk ice cream and yogurt. *Food Research International*, 2012, vol. 49, no. 2, pp. 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.007>.
43. Chiquetti R.L., Castro E.M., Valério G.D., et al. Viability of the probiotic *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in ice cream: effect of lactose hydrolysis and overrun. *Food Research International*, 2016, vol. 23, no. 6, pp. 2631–2637.
44. Chaikham P., Rattanasena P. Combined effects of low-fat ice cream supplemented with probiotics on colon microfloral communities and their metabolites during fermentation in a human gut reactor. *Food Bioscience*, 2017, vol. 17, pp. 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.12.005>.
45. Nousia F.G., Androulakis P.I., Fletouris D.J. Survival of *Lactobacillus acidophilus* LMGP-21381 in probiotic ice cream and its influence on sensory acceptability. *Dairy Technology*, 2011, vol. 64, pp. 130–136. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00645.x>.
46. Arslan A.A., Gocer E.M.C., Demir M., et al. Viability of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 incorporated into icecream using three different methods. *Dairy Science and Technology*, 2016, vol. 96, pp. 477–487. <https://doi.org/10.1007/s13594-016-0282-5>.
47. Ergina F., Atamer Z., Arslan A.A., et al. Application of cold-and heat-adapted *Lactobacillus acidophilus* in the manufacture of ice cream. *International Dairy Journal*, 2016, vol. 59, pp. 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.03.004>.
48. Abghari A., Sheikh-Zeinoddin M., Soleimani-Zad S. Nonfermented ice cream as a carrier for *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*. *Food Science and Technology*, 2011, vol. 46, pp. 84–92. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02453.x>
49. Ferraz J.L., Cruz A.G., Cadena R.S., et al. Sensory acceptance and survival of probiotic bacteria in ice cream produced with different overrun levels. *Food Science*, 2012, vol. 71, pp. 24–28. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02508.x>.
50. Arsen'yeva T.P. *Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva. Tekhnologiya i retseptury. T. 4. Morozhenoye* [Dairy production engineer reference book. Technology and recipes. Vol. 4. Ice Cream]. St.Petersburg: GIOR Publ., 2002. 184 p.
51. Akhmedova V.R., Ryabtseva S.A., Evdokimov I.A., Anisimov G.S. Vliyaniye vida zakvasochnoy mikroflory na svoystva smesi dlya kislomolochnogo morozhenogo [Influence of type starter culture on the properties of the fermented ice cream mixture]. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta* [Newsletter of North-Caucasus State Technical University], 2013, no. 6, pp. 84–87.
52. Khramtsov A.G., Ryabtseva S.A., Budkevich R.O., et al. Prebiotiki kak funktsional'nyye pishchevyye ingredienty: terminologiya, kriterii vybora i sravnitel'noy otsenki, klassifikatsiya [Prebiotics as functional food ingredients: terminology, choice and comparative evaluation criteria, classification]. *Voprosy pitaniya* [Nutricion Problems], 2018, vol. 87, no. 1, pp. 5–17.
53. Pandiyan C., Annal Villi R., Kumaresan G., Murugan B, Gopalakrishnamurthy T.R. *In vivo* and *in vitro* effect of *Lactobacillus acidophilus* in synbiotic ice cream enriched with whey protein concentrate. *International Food Research Journal*, 2012, vol. 19, no. 2, pp. 441–446.
54. Senanayake S.A., Fernando S., Bamunuarachchi A., Arsekularatne M. Application of *Lactobacillus acidophilus* (LA-5) strain in fruit-based ice cream. *Food Science and Nutrition*, 2013, vol. 1, no. 6, pp. 428–431. <https://doi.org/10.1002/fsn3.66>.
55. Greenbaum A., Aryana K.J. Effect of honey a natural sweetener with several medicinal properties on the attributes of a frozen dessert containing the probiotic *Lactobacillus acidophilus*. *Open Journal of Medical Microbiology*, 2013, vol. 3, no. 2, pp. 95–99. <https://doi.org/10.4236/ojmm.2013.32015>.
56. Low R.H.P., Baba A.S., Aboulfazli F. Effects of different levels of refined cane sugar and unrefined coconut palm sugar on the survivability of *Lactobacillus acidophilus* in probiotic ice cream and its sensory and antioxidant properties. *Food Science and Technology Research*, 2015, vol. 21, no. 6, pp. 857–862. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.857>.
57. Parussoloa G., Busatto R.T., Schmitt J., et al. Synbiotic ice cream containing yacon flour and *Lactobacillus acidophilus* NCFM LWT. *Food Science and Technology*, 2017, vol. 82, pp. 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.049>.
58. Hekmat S., McMahon D.J. Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* in ice cream for use as a probiotic food. *Dairy Science*, 1992, vol. 75, no. 6, pp. 1415–1422. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77895-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77895-3).

59. Corrales A., Henderson M., Morales I. Survival of probiotic microorganisms *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* in whipped ice cream. *Revista Chilena de Nutrición*, 2007, vol. 34, no. 2, pp. 157–163.
60. Akalin A.S., Erişir D. Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. *Food Science*, 2008, vol. 73, no. 4, pp. 184–188. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00728.x>.
61. Golestani M., Pourahmad R. Comparison of three treatments (two fermented treatments and one nonfermented treatment) in production of synbiotic ice cream. *Food Processing and Preservation*, 2016, vol. 41, no. 2, pp. 128–139. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12839>.
62. Ayar A., Sıçramaz H., Öztürk S., Öztürk Y.S. Probiotic properties of ice creams produced with dietary fibres from by-products of the food industry. *Dairy Technology*, 2017, vol. 71, no. 1, pp. 174–182. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12387>.
63. Akalin A.S., Kesenkas H., Dinkci N., et al. Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: structural characteristics and culture viability. *Dairy Science*, 2018, vol. 101, no. 1, pp. 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>.
64. Vasconcelos B.G., Martinez R.C.R., Alves de Castro I., Saad S.M.I. Innovative açai (*Euterpe oleracea*, Mart., Arecaceae) functional frozen dessert exhibits high probiotic viability throughout shelf-life and supplementation with inulin improves sensory acceptance. *Food Science and Biotechnology*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 1843–1849. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0252-8>.
65. Aboulfazli F., Baba A.S. Effect of vegetable milk on survival of probiotics in fermented ice cream under gastrointestinal conditions. *Food Science and Technology Research*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 391–397. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.391>.
66. Aboulfazli F., Shori A.B., Baba A.S. Effects of the replacement of cow milk with vegetable milk on the count of probiotics and changes in sugar and amino acid contents in fermented ice creams. *Food Science and Technology*, 2016, vol. 70, pp. 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.056>.
67. Matias N.S., Padilha M., Bedani R., Saad S.M.I. *In vitro* gastrointestinal resistance of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium animalis* BB-12 in soy and/or milk-based synbiotic apple ice creams. *Food Microbiology*, 2016, vol. 234, pp. 83–93.
68. Akin M.B., Akin M.S., Kirmaci Z. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice cream. *Food Chemistry*. 2007, vol. 104, no. 1, pp. 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.030>.
69. Ranadheera S., Evans C.A., Adams M.C., Baines S.K. Production of probiotic ice cream from goat's milk and effect of packaging materials on product quality. *Small Ruminant Research*, 2013, vol. 112, pp. 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.020>.
70. Rezaei R., Khomeiri M., Aalami M., Kashaninejad M. Effect of inulin on the physicochemical properties, flow behavior and probiotic survival of frozen yogurt. *Food Science and Technology*, 2014, vol. 51, no. 10, pp. 2809–2814. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0751-7>.
71. Pandiyan C., Annal V.R., Kumaresan G., Murugan B., Gopalakrishnamurthy T.R. Development of synbiotic ice cream incorporating *Lactobacillus acidophilus* and *Saccharomyces boulardii*. *International Food Research Journal*, 2012, vol. 19, no. 3, pp. 1233–1239.
72. Ahmadi A., Milani E., Madadlou A., et al. Synbiotic yogurt-ice cream produced via incorporation of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* (LA-5) and fructooligosaccharide. *Food Science and Technology*, 2014, vol. 51, no. 8, pp. 1568–1574. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0679-y>.
73. Phuapaiboon P. Immobilization of probiotic bacteria with banana flour and effect on quality of synbiotic ice cream and survival under simulated gastrointestinal conditions. *Carpathian journal of food science and technology*, 2016, vol. 8, no. 4, pp. 33–46.

Рябцева Светлана Андреевна

д-р техн. наук, профессор кафедры прикладной биотехнологии, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский технический университет», 355009, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, тел.: +7 (8652) 95-68-08, e-mail: info@ncfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9803-8709>

Ахмедова Валида Рафиг кызы

канд. техн. наук, инженер Центра биотехнологического инжиниринга, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский технический университет», 355009, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, тел.: +7 (8652) 95-68-08, e-mail: info@ncfu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3997-1301>

Анисимов Георгий Сергеевич

канд. техн. наук, директор Центра биотехнологического инжиниринга, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский технический университет», 355009, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, тел.: +7 (8652) 95-68-08, e-mail: info@ncfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9257-9571>

Svetlana A. Ryabtseva

Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of Applied Biotechnology, North-Caucasus Federal University, 1, Pushkina Str., Stavropol, 355009, Russia, phone: +7 (8652) 95-68-08, e-mail: info@ncfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9803-8709>

Valida R. Akhmedova

Cand.Sci.(Eng.), Engineer of the Center of Biotechnological Engineering, North-Caucasus Federal University, 1, Pushkina Str., Stavropol, 355009, Russia, phone: +7 (8652) 95-68-08, e-mail: info@ncfu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3997-1301>

Georgiy S. Anisimov

Cand.Sci.(Eng.), Director of the Center of Biotechnological Engineering, North-Caucasus Federal University, 1, Pushkina Str., Stavropol, 355009, Russia, phone: +7 (8652) 95-68-08, e-mail: info@ncfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9257-9571>

