

Научная статья/Research Article

УДК 577.1:663.674:637.344

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-274-286

Марина Васильевна Каледина^{1✉}, Дарья Александровна Шемякина²,
Надежда Павловна Шевченко³, Виктория Петровна Витковская⁴,
Сергей Александрович Чуев⁵

^{1,2,3,4,5}Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, п. Майский, Белгородская обл., Россия

¹kaledinamarina@yandex.ru

²litovkina_da@belgau.ru

³shevchenko_np@belgau.ru

⁴ropenko_vp@belgau.ru

⁵chuev_sa@belgau.ru

ВЛИЯНИЕ ПРЕБИОТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОБИОТИКОВ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕВАРИВАНИЯ *IN VITRO* ВЗБИТОГО ЗАМОРОЖЕННОГО ДЕСЕРТА НА ОСНОВЕ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ

Цель исследования – изучить влияние яблочных выжимок и пектиновых олигосахаридов на выживаемость пробиотических микроорганизмов при переваривании *in vitro* взбитого замороженного десерта на основе творожной сыворотки. В соответствии с задачами исследования подготовлены четыре вида смесей для замороженного десерта: контроль, с 5 % яблочных выжимок, с 5 % гидролизированных яблочных выжимок и с 5 % фильтрата гидролизированных яблочных выжимок. Для заквашивания использовались активизированные пробиотические культуры *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* (ООО «Пропионикс», Россия), *L. acidophilus* (Экспериментальная биофабрика ВНИИМС, г. Углич, Россия) и *L. reuteri* (ООО «Бакздрав», Россия). Процесс переваривания образцов *in vitro* осуществляли в соответствии с методом, имитирующим стадии пищеварения в желудочно-кишечном тракте: ротовая полость, желудок и тонкий отдел кишечника. Эксперимент проведен в трехкратной повторности. Сохранность пробиотических культур оценивали как соотношение жизнеспособных клеток бактерий, которые оставались на каждой стадии переваривания *in vitro*, к количеству клеток бактерий в готовом продукте. Результаты подсчета бактериальной численности после первой стадии переваривания в ротовой полости показали во всех образцах отсутствие значительных потерь жизнеспособности микроорганизмов. На кишечной стадии наблюдалось сокращение популяции относительно контроля (готового продукта) для пропионовокислых бактерий на 38 %, ацидофильной палочки – на 31 и для лактобациллы реутори – на 49,6 %. Присутствие в образцах сухих и гидролизированных яблочных выжимок повышало выживаемость культур. В образцах с *L. acidophilus* процент выживаемости по сравнению с контролем был выше с гидролизированными яблочными выжимками на 9,7 %, с сухими яблочными выжимками – на 7,2 и с пектиновыми олигосахаридами – на 6,5 %. *L. reuteri* показало лучшую выживаемость при использовании гидролизированных яблочных выжимок – на 11,1 % выше, чем в контроле. При использовании пектиновых олигосахаридов и сухих яблочных выжимок данный показатель был выше контроля на 8,8 и 5,1 % соответственно. В случае пропионовокислых бактерий процент выжившей заквасочной микрофлоры составил 68,2 % в образцах с гидролизированными яблочными выжимками, 65,1 % с пектиновыми олигосахаридами и 64,7 % с сухими яблочными выжимками. Использование в пробиотическом взбитом замороженном десерте на основе творожной сыворотки яблочных выжимок в сухом и гидролизованном виде, а также пектиновых олигосахаридов из яблочных выжимок способствовало повышению устойчивости пробиотиков *L. acidophilus*, *L. reuteri* и *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* к процессам переваривания *in vitro*.

Ключевые слова: пробиотики, пребиотики, яблочные выжимки, пектиновые олигосахариды, взбитые замороженные десерты, переваривание в желудочно-кишечном тракте *in vitro*

Для цитирования: Каледина М.В., Шемякина Д.А., Шевченко Н.П., и др. Влияние пребиотических компонентов на устойчивость пробиотиков в процессе переваривания *in vitro* взбитого замороженного десерта на основе творожной сыворотки // Вестник КрасГАУ. 2025. № 7. С. 274–286. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-274-286.

Marina Vasilievna Kaledina^{1✉}, **Daria Alexandrovna Shemyakina**², **Nadezhda Pavlovna Shevchenko**³, **Victoria Petrovna Vitkovskaya**⁴, **Sergey Alexandrovich Chuev**⁵,

^{1,2,3,4,5}Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, p. Mayskiy, Belgorod Region, Russia

¹kaledinamarina@yandex.ru

²litovkina_da@belgau.ru

³shevchenko_np@belgau.ru

⁴popenko_vp@belgau.ru

⁵chuev_sa@belgau.ru

INFLUENCE OF PREBIOTIC COMPONENTS ON PROBIOTICS STABILITY DURING *IN VITRO* DIGESTION OF WHIPPED FROZEN DESSERT BASED ON CURD WHEY

The aim of the study is to investigate the effect of apple pomace and pectin oligosaccharides on the survival of probiotic microorganisms during in vitro digestion of whipped frozen dessert based on curd whey. In accordance with the objectives of the study, four types of mixtures for frozen dessert were prepared: control, with 5 % apple pomace, with 5 % hydrolyzed apple pomace and with 5 % filtrate of hydrolyzed apple pomace. For fermentation, activated probiotic cultures of Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii (ООО Propioniks, Russia), L. acidophilus (Experimental Biofactory VNIIMS, Uglich, Russia) and L. reuteri (ООО Bakzdrav, Russia) were used. The in vitro digestion of the samples was carried out in accordance with the method simulating the stages of digestion in the gastrointestinal tract: oral cavity, stomach and small intestine. The experiment was carried out in triplicate. The safety of probiotic cultures was assessed as the ratio of viable bacterial cells that remained at each stage of in vitro digestion to the number of bacterial cells in the finished product. The results of bacterial counting after the first stage of digestion in the oral cavity showed no significant loss of microorganism viability in all samples. At the intestinal stage, a population reduction relative to the control (finished product) was observed for propionic acid bacteria by 38 %, acidophilus bacillus by 31 %, and lactobacillus reuteri by 49.6 %. The presence of dry and hydrolyzed apple pomace in the samples increased the survival rate of the cultures. In the samples with L. acidophilus, the survival rate compared to the control was higher with hydrolyzed apple pomace by 9.7 %, with dry apple pomace by 7.2 %, and with pectin oligosaccharides by 6.5 %. L. reuteri showed better survival when using hydrolyzed apple pomace – 11.1 % higher than in the control. When using pectin oligosaccharides and dry apple pomace, this indicator was higher than the control by 8.8 and 5.1 %, respectively. In the case of propionic acid bacteria, the percentage of surviving starter microflora was 68.2 % in samples with hydrolyzed apple pomace, 65.1 % with pectin oligosaccharides and 64.7 % with dry apple pomace. The use of apple pomace in dry and hydrolyzed form, as well as pectic oligosaccharides from apple pomace in a probiotic whipped frozen dessert based on curd whey, contributed to an increase in the resistance of probiotics L. acidophilus, L. reuteri and Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii to in vitro digestion processes.

Keywords: probiotics, prebiotics, apple pomace, pectic oligosaccharides, whipped frozen desserts, in vitro digestion in the gastrointestinal tract

For citation: Kaledina MV, Shemyakina DA, Shevchenko NP, et al. Influence of prebiotic components on probiotics stability during *in vitro* digestion of whipped frozen dessert based on curd whey. *Bulletin of KSAU*. 2025;(7):274-286. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-274-286.

Введение. В последнее десятилетие добавление биологически активных компонентов в продукты питания для улучшения здоровья и благополучия человека стало привычным делом. Современные потребители все больше стремятся к здоровому образу жизни, и спрос на продукты с дополнительной пищевой ценностью неуклонно растет. Это открывает широчайшие перспективы для производителей мороженого и взбитых замороженных десертов, которые могут вводить в состав своей продукции пробиотики, пребиотики, витамины, минералы, белки и другие полезные компоненты.

Важным аспектом перспективности технологии функциональных взбитых замороженных десертов является возможность создания комбинированных продуктов с новыми пищевыми свойствами, а также организации их производства на безотходной переработке молочного и растительного сырья [1, 2].

Значимым вторичным молочным сырьем является молочная сыворотка. На сегодняшний день молочная сыворотка и ее производные успешно используются при производстве мороженого и холодных молочных десертов. В натуральном виде молочная сыворотка имеет высокое содержание органических и минеральных веществ, высокую питательную ценность и множество вариантов для производства на ее основе пищевых продуктов. В то же время она используется в качестве субстрата для ферментации, производства биологически активных компонентов благодаря присутствию лактозы, белков, жиров, витаминов, минералов и т. д. Творожная молочная сыворотка относится к кислым видам сыворотки и является вторичным продуктом производства творога и кислотного казеина. Благодаря своим технологическим и биотехнологическим свойствам творожная сыворотка может быть прекрасной основой для получения синбиотических взбитых замороженных десертов.

Яблочные выжимки – побочный продукт промышленности при переработке яблок на соковую продукцию, составляющий 25–35 % сухой массы плода. Они содержат 7 % белка, 1,4 % золы, 8,3 % пектина, 58,3 % нейтральных полисахаридов (целлюлозы и гемицеллюлозы) [3]. Яблочные выжимки обладают рядом важных для здоровья полезных свойств. Они являются прекрасным источником пищевых волокон, что помогает нормализовать работу кишечника, предотвращая запоры и способствуя лучшему

пищеварению. Пектин яблочной клетчатки способствует росту и размножению полезных микробов в кишечнике, улучшая общий функционал желудочно-кишечного тракта и поддерживая баланс микрофлоры, являясь по своей сути пребиотиком. Благодаря высоким антиоксидантным свойствам яблочная клетчатка помогает защищать организм от окислительного стресса и повреждений клеток, что может снизить риск развития хронических заболеваний. Кроме того, клетчатка помогает контролировать уровень сахара в крови, замедляя усвоение углеводов и предотвращая резкие скачки глюкозы. Это особенно важно для людей с диабетом или предрасположенностью к этому заболеванию. Яблочная клетчатка также способствует ощущению сытости, что может быть полезно для поддержания нормального веса или его снижения. Регулярное употребление яблочной клетчатки поддерживает сердечно-сосудистую систему, снижая уровень холестерина и регулируя артериальное давление. Все эти свойства делают яблочную клетчатку ценным компонентом в рационе, способствующим общему оздоровлению организма. Использование яблочной выжимки при изготовлении различных видов пищевых продуктов реализуется преимущественно в качестве альтернативного источника пищевых волокон. В производстве мороженого включение яблочной выжимки в рецептуру позволяет добиться более кремообразной и однородной структуры, предотвращая образование кристаллов льда.

Пектин яблочных выжимок содержит рамногалактуронан и ксилогалактуронан – разветвленные полисахариды, способные к дальнейшему расщеплению до олигомеров желаемой длины цепи.

Олигосахариды яблочного пектина в основном представлены в форме глюкоолигосахаридов, ксило-олигосахаридов и арабиноолигосахаридов и объединены общим названием «пектиновые олигосахариды» [4].

Пектиновые олигосахариды (ПОС) представляют собой неперевариваемые углеводы, обладающие пребиотическими свойствами, которые оказывают положительное влияние на организм человека. Они избирательно стимулируют рост и активность определенных видов микроорганизмов в толстом кишечнике, преимущественно бифидобактерий и лактобактерий. Установлено, что ПОС способны эффективно подавлять активность энтеропатогенных и потенциально

вредных микроорганизмов, что делает их важным компонентом для поддержания здоровья кишечной микрофлоры. Ферментация этих пребиотиков в толстом кишечнике приводит к образованию короткоцепочечных жирных кислот, которые способствуют подавлению патогенной микрофлоры, улучшению пищеварения, смягчению запоров, снижению уровня глюкозы в крови, а также улучшают усвоение минеральных веществ [5]. Более того, они могут способствовать снижению заболеваемости раком толстого кишечника и модулировать иммунную систему, что подчеркивает их значимость в профилактике заболеваний. Экстракция нейтральных и кислых олигосахаридов из яблочных выжимок с последующим получением пектиновых олигосахаридов представляет собой многообещающий подход к созданию пребиотиков на основе вторичного сельскохозяйственного сырья. Это не только позволяет эффективно использовать сельскохозяйственные отходы, но и способствует разработке новых продуктов функционального питания с высокой биологической активностью, что может стать важным шагом в сфере здоровья и питания [6].

Использование пробиотиков в технологии молочных продуктов, в т. ч. мороженого и взбитых замороженных десертов, – наиболее популярный технологический прием для получения функционального коммерческого продукта. При этом строго регламентировано их содержание на конец срока годности, для того чтобы был оказан необходимый терапевтический эффект. К самим микроорганизмам-пробиотикам предъявляют требования по выживаемости в кислой и щелочной среде желудочно-кишечного тракта, а также колонизационной способности. Технологические процессы и производственные режимы напрямую влияют на качество пробиотического продукта и его конечные свойства. От температуры, pH среды, химического состава сырья, режимов фризирования, замораживания и хранения зависит выживание и рост пробиотиков в производстве замороженных десертов. В ряде научных работ представлены данные о лучшей выживаемости микроорганизмов-пробиотиков в замороженных и холодных молочных десертах в сравнении с ферментированными напитками [7].

Бифидобактерии и лактобактерии – наиболее популярные пробиотики, используемые в пищевых продуктах. При этом постоянно идет поиск новых видов и штаммов пробиотических

микроорганизмов для использования в функциональных продуктах питания.

Так, одним из уникальных микроорганизмов семейства *Lactobacillaceae* является *Lactobacillus reuteri*, имеющий штаммы с разным механизмом пробиотических свойств. На сегодняшний день спектр возможностей использования разных штаммов *Lactobacillus reuteri* очень широкий. Одним из основных механизмов действия *L. reuteri* является производство антибактериальных соединений – бактериоцинов, таких как резистентный лактобациллезный пептид, который может подавлять рост патогенных микроорганизмов. Микроорганизм способствует быстрой помощи при диарее, в т. ч. у детей, и уменьшению симптомов коликов у новорожденных [8]. *L. reuteri* через нормализацию микрофлоры кишечника влияет на уровень холестерина в крови и является средством профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Некоторые исследования предполагают, что пробиотик может помочь при лечении синдрома раздраженного кишечника и других воспалительных заболеваний. *Lactobacillus reuteri* способны выделять вязкие экзополисахариды, в том числе глюканы и фруктаны, которые в зарубежной литературе рассматриваются как вещества с пробиотическим потенциалом [9].

Помимо лактобактерий и бифидобактерий в качестве пробиотиков могут быть использованы также бактерии рода *Propionibacterium*. Они, помимо традиционного технологического применения, все чаще становятся предметом научных исследований благодаря своим многообещающим пробиотическим свойствам. Пропионибактерии обладают способностью преобразовывать лактат в уксусную и пропионовую кислоты, а также метаболизировать витамины, производить бактериоцины и вещества, оказывающие иммуномодулирующее и антиканцерогенное действие [10]. Вследствие этих свойств бактерии данного рода вызывают все больший интерес среди ученых. В данной работе рассматриваются *Propionibacterium freudenreichii* – пропионовокислые бактерии, которые используются в качестве закваски при производстве сыров и отличаются способностью синтезировать не только короткоцепочечные жирные кислоты, но и витамины группы B, такие как B₉ и B₁₂. Они продуцируют бифидогенные соединения, включая 1,4-дигидрокси-2-нафтоиновую кислоту. Это подчеркивает их значимость не только в технологии сыроделия, но и в области функциональ-

ного питания, что открывает перспективы для дальнейших исследований и применения в производстве продуктов для здорового питания.

Ряд исследователей [11–13] указывают, что на пробиотические микроорганизмы в пищевом продукте положительно влияет ряд веществ, объединенных термином «бифидус-фактор», в их число входят олигосахариды и некоторые пищевые волокна. Комбинация пробиотиков и пребиотиков способствует адгезии пробиотиков к слизистой оболочке кишечника и повышает устойчивую активность в желудочно-кишечном тракте [1]. Кроме того, пробиотические микроорганизмы приобретают более высокую толерантность к условиям окружающей среды, в т. ч. устойчивость к окислению, воздействию низкого pH среды и температуры. Пищевые волокна яблочных выжимок и пектиновые олигосахариды могут повлиять на выживаемость пробиотиков как при технологической переработке, так и при переваривании в желудочно-кишечном тракте.

Цель исследования – изучить влияние яблочных выжимок и пектиновых олигосахаридов на выживаемость пробиотических микроорганизмов при переваривании *in vitro* взбитого замороженного десерта на основе творожной сыворотки.

Задачи: провести гидролиз яблочных выжимок для получения пектиновых олигосахаридов; смоделировать смеси для взбитого замороженного десерта на основе творожной сыворотки с исследуемыми функциональными компонентами и выработать в лабораторных условиях образцы продукта; провести имитацию процесса переваривания *in vitro* образцов замороженного десерта; сравнить выживаемость пробиотиков в десерте с добавлением яблочных выжимок и пектиновых олигосахаридов; проанализировать полученные данные и сделать выводы о влиянии исследуемых компонентов на пробиотические микроорганизмы.

Объекты и методы. Для подготовки пробиотических компонентов (ПОС) использовали сухие яблочные выжимки, которые замачивали в творожной сыворотке (pH = 4,4–4,6) температурой 50 °С в соотношении 1 : 10 и оставляли для набухания в течение 3 ч. Далее, после охлаждения до 30 °С, вносили пектинолитический фермент Lallzyme C-Max (Lallemand Oenology) из расчета 0,01 г на 1 л. Полученную смесь тщательно перемешивали в течение 10–15 мин и оставляли на 3 ч при температуре 30 °С. Го-

товую смесь разделяли на две части. Одну часть предварительно фильтровали, и фильтрат подвергали тепловой обработке при 85 °С в течение 2 мин, вторую, нефiltroванную часть пастеризовали при тех же условиях. Фильтрат и гидролизованные яблочные выжимки охлаждали до температуры 6–8 °С и хранили в условиях бытового холодильника.

Подготовку пробиотических культур осуществляли следующим образом. В работе использовали три вида бактериальных концентратов пробиотических бактерий: *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* (ООО «Пропионикс», Россия), *L. acidophilus* (Экспериментальная биофабрика ВНИИМС, г. Углич, Россия) и *L. reuteri* (ООО «Бакздрав», Россия). Культуры активировали в обезжиренном молоке при 37 °С до pH среды 4,6–4,7 по рекомендациям производителя, что составило 10⁹–10¹⁰ КОЕ/г бактериальных клеток по окончании ферментации. Инокулянт (закваску) добавляли в смеси для взбитого замороженного десерта в количестве 5 %. До внесения заквасочной культуры смеси готовили следующим образом. Творожную сыворотку нагревали до 40 °С, вносили сахар, стабилизатор (New Pastry Lab, Россия), мальтодекстрин, сухие молочные ингредиенты по рецептуре и пребиотические компоненты (сухие яблочные выжимки, гидролизованные яблочные выжимки или их фильтрат), нагревали до 60 °С и гомогенизировали на лабораторном диспергаторе (FSH-2 MLAB), пастеризовали при 85 °С в течение 60 с и охлаждали до 37 °С. Для каждой пробиотической культуры подготовлено 4 образца смеси:

- 1) контроль без добавления пребиотических компонентов;
- 2) с гидролизованными яблочными выжимками (5 %);
- 3) с фильтратом гидролизованных яблочных выжимок (5 %);
- 4) с сухими яблочными выжимками (5 %).

После ферментации в течение 10 ч при 37 °С в термостате смеси охлаждали до 4–6 °С и выдерживали в условиях холодильника 12 ч. Готовые смеси замораживали в лабораторной морозильной камере Kitfort в течение 20 мин, раскладывали по пластиковым контейнерам по 200 г и хранили при температуре –18 °С (бытовая морозильная камера) в течение 30 дней.

Эксперимент был проведен в трехкратной повторности.

Имитация процесса переваривания *in vitro* проводилась в соответствии с методом, представленным в работах М. Ковальчук [14] и др. [15, 16]. Метод имитирует стадии пищеварения в ротовой полости, желудке и тонком кишечнике.

Для имитации ротовой полости 50 мл каждого образца переносили в стеклянную бутылку из темного стекла (50 мл) и смешивали с 5 мл раствора слюны (раствор на 1 л дистиллированной воды: 2,38 г Na_2HPO_4 , 0,19 г K_2HPO_4 , 8 г NaCl , 100 мг/л муцина и 150 мг/л α -амилазы с ферментативной активностью 200 ЕД/л). Доводили pH до $6,75 \pm 0,20$ и инкубировали на водяной бане с качалкой при 37°C и 90 об/мин в течение 10 мин.

Для имитации желудка к смеси добавляли 13,08 мг пепсина и снижали pH до 1,8–2,0 ед. (7.3M HCl) для инициирования желудочной стадии. Образец также помещали в водяную баню с качалкой при тех же условиях на 2 ч.

Для имитации тонкого кишечника в ту же смесь образца вносили 5 мл 0,4 % раствора панкреатина и 2,5 % раствора соли желчных кислот, снижали кислотность до $\text{pH} = 7,0\text{--}7,2$ ед. и продолжали инкубацию еще 2 ч, соблюдая условия, описанные выше.

Жизнеспособность пробиотических культур оценивали по соотношению жизнеспособных клеток бактерий на каждой стадии переваривания *in vitro* с количеством клеток бактерий в готовом взбитом мороженом десерте. Для этого 1 мл каждого образца разводили в 9 мл стерильного раствора пептонной воды и готовили серию разведений. Посев осуществляли глубинным способом на среде MRS агар. Количество выросших колоний определяли путем прямого подсчета через 48 ч инкубирования при 37°C в анаэробных условиях (анаэроостат Анаэробик MLAB).

Результаты и их обсуждение. В процессе фризирования и замораживания происходят специфические физико-химические процессы, которые могут привести к утрате метаболических функций заквасочной микрофлоры. Образующиеся кристаллы льда способны оказывать механическое воздействие на клеточные стенки пробиотических бактерий, нарушая оболочку клетки. Кроме того, на пробиотические организмы оказывают негативное влияние такие факторы, как кислород, который попадает в смесь во время процесса фризирования, и высокие значения окислительно-восстановительного по-

тенциала. Для снижения негативного воздействия технологических операций производства мороженого в состав смесей для замороженных десертов и мороженого можно включать вещества, обладающие избирательными защитными свойствами для уменьшения повреждения клеток в процессе замораживания. Криопротекторами могут выступать такие компоненты сырья, как сывороточные белки, лактоза, добавляемые различные сахара, пребиотики, пищевые волокна и аминокислоты. Однако на этапе переваривания продукта осмотический стресс и высокие концентрации различных компонентов, таких как водородные ионы, органические кислоты, желчь и ее соли, а также другие вещества, могут негативно влиять на применяемые пробиотические культуры.

На первом этапе проводилось определение содержания пробиотической микрофлоры в готовом продукте, а также оценивалось влияние добавленных пребиотических компонентов, таких как пектиновые олигосахариды и сухие или гидролизованные яблочные выжимки, на численность пробиотической микрофлоры. Затем, на каждой стадии имитации процесса переваривания, устанавливался уровень сохранившейся микрофлоры и оценивалось влияние добавленных компонентов на выживаемость заквасочных культур. Результаты, подтверждающие наличие жизнеспособных пробиотических бактерий, представлены в таблице. Перед началом переваривания минимальное количество бактериальных клеток было зарегистрировано в мороженом с добавлением пропионовокислых бактерий, тогда как самое большее количество наблюдалось в образцах с *Lactobacillus acidophilus*. Во всех исследованных образцах мороженого до этапа переваривания количество пробиотических клеток превышало 10^6 КОЕ/г, что позволяет отнести этот продукт к категории пробиотических и предполагает наличие определенных терапевтических свойств. Однако для точной демонстрации пробиотической активности необходимо учитывать данные о сохранности микрофлоры после прохождения через тонкий кишечник.

Согласно исследованию готовых продуктов во время процесса замораживания и хранения взбитого мороженого десерта, добавление пребиотических компонентов в некоторых случаях играет защитную роль для пробиотических культур.

**Численность бактерий (log КОЕ/см³) в образцах пробиотического замороженного
взбитого десерта на молочной сыворотке с пребиотическими компонентами**
**Bacterial counts (log CFU/cm³) in samples of probiotic whey-based frozen whipped dessert
with prebiotic components**

Образец	Количество пробиотических бактерий, КОЕ/мл				Процент выживаемости, %
	До процесса пищеварения	Стадии процесса пищеварения			
		Ротовая полость	Желудок	Тонкий кишечник	
Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii					
Контроль	9,03±0,22	8,97±0,12	6,50±0,44	5,60±0,11	62
Гидролизированные яблочные выжимки	9,06±0,13	9,01±0,26	7,52±0,23	6,17±0,10	68,2
Фильтрат	9,07±0,07	9,02±0,32	7,71±0,25	5,90±0,17	65,1
Сухие яблочные выжимки	9,03±0,42	8,99±0,35	7,56±0,23	5,79±0,03	64,1
Lactobacillus acidophilus					
Контроль	9,97±0,46	9,90±0,18	6,50±0,11	6,88±0,16	69
Гидролизированные яблочные выжимки	10,06±0,18	10,02±0,16	7,52±0,32	7,91±0,13	78,7
Фильтрат	10,01±0,15	9,95±0,28	7,71±0,05	7,55±0,25	75,5
Сухие яблочные выжимки	9,97±0,17	9,91±0,29	7,56±0,35	7,59±0,37	76,2
Lactobacillus reuteri					
Контроль	9,99±0,26	9,93±0,13	7,59±0,21	5,08±0,31	50,9
Гидролизированные яблочные выжимки	10,01±0,25	9,93±0,23	8,45±0,12	6,20±0,24	62,0
Фильтрат	10,01±0,23	9,92±0,15	8,20±0,45	5,94±0,02	59,4
Сухие яблочные выжимки	9,30±0,22	9,24±0,35	7,91±0,32	5,21±0,27	56,0

Анализ полученных данных показал, что добавление гидролизированных яблочных выжимок, фильтрата пектиновых олигосахаридов и сухих яблочных выжимок приводило к незначительному увеличению численности *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* в замороженном десерте. Внесение сухих яблочных выжимок в количестве 5 % снижало число клеток *L. reuteri* в начальной точке до начала переваривания, использование гидролизованной клетчатки и ее фильтрата практически не влияло на концентрацию пробиотика в готовом продукте в сравнении с контрольным образцом. Использование гидролизованной выжимки в образцах *Lactobacillus acidophilus* способствовало увеличению численности бактериальных клеток в готовом продукте, с фильтратом количество клеток возрастало незначительно, а сухая клетчатка на уровень содержания бактерий в готовом взбитом замороженном десерте не влияла.

Результаты подсчета бактериальной численности после первой стадии переваривания в ротовой полости показали, что в целом во всех образцах не было значительных потерь жизнеспособности микроорганизмов. Кислотность среды в ротовой полости составляет 6,5–7,0, что согласуется с оптимумом роста пробиотических бактерий – от 6,0 до 7,5. Данные исследований [17] показывают, что используемые в работе микроорганизмы также не чувствительны к ферментам слюны. Необходимо отметить, что на всем протяжении нахождения в желудочно-кишечном тракте в ротовой полости пища прибывает наиболее короткое время и практически не подвергается изменениям.

Общеизвестно, что низкая кислотность, типичная для желудочной среды, может повредить клеточные мембраны бактериальных клеток. Кислотоустойчивость является одним из важных свойств, используемых для выбора потенциально пробиотических штаммов.

Считается, что виды *Lactobacillus* по своей природе устойчивы к кислоте [18]. Хотя существуют различия между видами и штаммами, организмы обычно проявляют повышенную чувствительность при значениях pH ниже 3,0 [7]. *L. reuteri* и *L. acidophilus* относят к истинно аутохтонным видам лактобацилл желудочно-кишечного тракта человека. В многочисленных исследованиях установлена высокая адгезивная способность этих видов микроорганизмов [19]. Кроме того, оба вида имеют высокую устойчивость к воздействию соляной кислоты, желчи и пищеварительных ферментов [13].

В работе О.Э. Хаевой с соавт. [20] изучалась выживаемость пропионовых бактерий, в т. ч. *Propionibacterium freudenreichii*, при воздействии соляной кислоты в условиях выращивания пробиотика на кукурузно-глюкозной среде в значениях pH от 2,0 до 4,0. Изучаемые штаммы показывали не только хорошую устойчивость к низким значениям pH, но и способность к дальнейшему росту и размножению. Авторы работы делают вывод, что культуры пропионовых бактерий характеризуются устойчивостью к секретам желудочно-кишечного тракта. Отмечено, что значительное влияние на показатель выживаемости оказывало время воздействия и концентрация желчи.

Результаты исследований данной работы показали высокий порог выживаемости изучаемых культур при ферментации холодного сывороточного десерта на желудочной стадии во всех исследуемых образцах. Снижение популяции было в пределах 22–28 %. Наиболее толерантными к окислительному стрессу оказались *L. acidophilus* и *L. reuteri*, снизив значение выжившей микрофлоры на 22 и 24 % соответственно. А самыми восприимчивыми к кислоте были *Propionibacterium freudenreichii*, количество сохранившейся микрофлоры снизилось на 28 %.

В желудке, в зависимости от стадии процесса пищеварения, кислотность меняется от сильно-кислых значений (pH = 2,0–4,0) до и через 2–3 ч после еды к относительно невысокому уровню во время принятия пищи (pH = 5,5–6,5). В исследовании был использован минимальный показатель pH, который может вызвать повреждение мембраны, белков и ДНК бактерий. Механизм высокой толерантности к низким значениям pH у лактобактерий можно объяснить наличием постоянного градиента между внеклеточным и внутриклеточным уровнем pH. Нали-

чие у грамположительных бактерий фермента H⁺-АТФаза (АТФ-синтетаза) позволяет в качестве защитной функции повышать внутриклеточный pH при низком pH в окружающей среде.

Однако в присутствии гидролизированных яблочных выжимок и фильтрата пектиновых олигосахаридов процент выживаемости был выше на 8,9 и 6,5 % соответственно для ацидофильной палочки, 8,5 и 6 % для лактобациллы реутори, 11 и 13 % для пропионовых бактерий. С сухими яблочными выжимками выживаемость была выше на 10 % для ацидофильной палочки, на 9,1 % для лактобациллы реутори, на 11,7 % для пропионовых бактерий.

Исследованные пробиотические культуры оказались более чувствительными к желчи, чем низкому значению pH. Естественная концентрация желчных кислот в кишечном соке колеблется от 0,2 до 0,5 % и играет важную роль в эмульгировании липидов. Желчь нейтрализует соляную кислоту почти до нейтральной, повышает pH, и это в совокупности обеспечивает эмульгирование жира и активирует липазу. В то же время желчь способна нарушать клеточный гомеостаз, воздействуя на фосфолипиды клеточных мембран пробиотиков. Соли желчных кислот обладают антимикробной активностью, воздействуют на белки и липиды клеточной стенки бактерий, нарушают проницаемость мембран. Но большинство пробиотических культур проявляют достаточную устойчивость к желчи и ее солям [13, 15, 19]. Кроме того, компоненты пищи, поступающие с пробиотиками, способны несколько нейтрализовать негативное воздействие.

В исследовании на кишечной стадии наблюдалось сокращение популяции относительно готового продукта для пропионовых бактерий на 38 %, ацидофильной палочки – на 31 % и для лактобациллы реутори – на 49,6 %. Присутствие в образцах сухих и гидролизированных яблочных выжимок способствовало улучшению выживаемости культур. В образцах с *L. acidophilus* процент выживаемости по сравнению с контролем был выше с гидролизированными яблочными выжимками на 9,7 %, с сухими яблочными выжимками на 7,2 % и с пектиновыми олигосахаридами на 6,5 %. *L. reuteri* показало лучшую сохранность при использовании гидролизированных яблочных выжимок – на 11,1 % выше, чем в контроле. При этом при использовании пектиновых олигосахаридов и сухих яблочных выжимок данный пока-

затель был выше контроля на 8,8 и 5,1 % соответственно. В случае пропионовокислых бактерий процент выжившей заквасочной микрофлоры составил 68,2 % в образцах с гидролизован-ными яблочными выжимками, 65,1 % с пектиновыми олигосахаридами и 64,7 % с сухими яблочными выжимками.

В работе M. Kowalczyk et al. [14, 21] представлено исследование влияния инулина и яблочной клетчатки в мороженом на основе овечьего молока на сохранность пробиотических культур *Lactocaseibacillus casei* 431, *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Lactocaseibacillus paracasei* L-26, *Lactocaseibacillus rhamnosus*, *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* BB-12 при имитации процесса пищеварения *in vitro*. Авторами в целом установлена положительная динамика при включении яблочной клетчатки на процент выживаемости пробиотиков, что согласуется с результатами нашего исследования. Наиболее значимые результаты были отмечены в образцах с использованием инулина и яблочной клетчатки с *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* BB-12, *Lactobacillus acidophilus* LA-5 и *Lactocaseibacillus casei* 431.

В работе B.M. Corcoran et al. [17] изучалось влияние метаболизируемых сахаров на выживание пробиотических лактобактерий в кислой среде. В исследовании представлены данные, которые указывают, что молочнокислые бактерии в условиях имитации переваривания в желудке способны поглощать и утилизировать добавленные сахара. Присутствие глюкозы в среде увеличивает процент выживаемости лактобактерий, что связано с усилением процесса гликолиза, повышением концентрации АТФ в клетке и, как следствие, повышением активности фермента H⁺-АТФазы, который отвечает за удаление ионов H⁺ из бактериальной клетки, помогая сохранять гомеостаз и жизнеспособность пробиотиков.

Гидролиз яблочных выжимок сопровождается образованием пектиновых олигосахаридов средней и низкой молекулярной массы, растворимого яблочного пектина, галактуроновой кислоты, глюкозы, арабинозы и галактозы. Присутствие в гидролизате и фильтрате усвояемых лактобактериями сахаров, возможно, и в этом случае способствует сохранению уровня популяций культур в условиях переваривания в желудочно-кишечном тракте замороженного десерта. Кроме того, гидролизованные яблочные

выжимки содержат нерастворимую и растворимую клетчатку, что может служить дополнительной защитой культур от воздействия негативных факторов.

В литературе встречается значительное количество работ, подтверждающих лучшую выживаемость микрокапсулированных пробиотиков [11, 22]. В исследовании M.C. Tarifa et al. [16] показано, что *L. casei* и *L. rhamnosus*, инкапсулированные с пектином и инулином, имеют более высокую жизнеспособность в условиях желудочно-кишечного тракта по сравнению со свободными клетками. В то же время многие ученые указывают и на альтернативный метод, который заключается в объединении пробиотических клеток с пищевыми волокнами, к которым пробиотические клетки могут прилипать или даже образовывать биопленки [11, 23, 24].

Так, в работе M.Á. Rivas et al. [13] было проанализировано влияние пищевых волокон, полученных из побочных продуктов граната, томатов, винограда и брокколи, на выживаемость, рост и метаболизм шести пробиотических штаммов в условиях желудочно-кишечного транзита. Результаты данного исследования указывают на то, что пищевые волокна улучшают выживаемость, рост и метаболизм пробиотических штаммов. Но авторы также указывают, что конкретные типы волокон имеют разные эффекты на разные пробиотические штаммы. Например, некоторые волокна могут более эффективно поддерживать лактобактерии, в то время как другие могут повысить активность бифидобактерий. Это различие важно учитывать при разработке функциональных продуктов питания с добавлением пробиотиков и пребиотиков, обеспечивающих максимальную эффективность.

В нашем исследовании эксперименты *in vitro* демонстрируют, что пробиотики, окруженные матрицей из пищевых волокон или пребиотиков – пектиновых олигосахаридов, лучше справляются с условиями кислого pH и защитой от неблагоприятной среды в кишечнике. Этот эффект может впоследствии усиливаться оказанием местного благоприятного влияния на микробиоту уже в толстом кишечнике, что в свою очередь может улучшить метаболическое состояние организма и повысить общую защищенность от патогенных бактерий.

Заключение. Актуальной задачей современной пищевой промышленности является повы-

шение качества и безопасности производимой продукции. Мороженое и взбитые замороженные десерты – сладкие продукты, которые высоко ценятся среди потребителей и показывают устойчивую тенденцию к росту рынка. Использование функциональных ингредиентов, таких как пробиотики, пребиотики и пищевые волокна, позволяют сделать данную категорию продукции более полезной. Процесс ферментации молочного сырья микроорганизмами-пробиотиками помогает получать продукты с приятными органолептическими показателями, хорошей хранимоспособностью и высокой эффективностью для организма человека. Одно из важных требований к пробиотическим продуктам – это определенный уровень микрофлоры на конец срока годности, не менее 10^6 КОЕ/г. Кроме того, используемые пробиотики должны обладать устойчивостью к кислой и щелочной среде, желчи и ее солям, иметь высокую адгезивную способность, для того чтобы продукт был эффективен.

Повышение выживаемости пробиотиков в технологических процессах производства продукции, а также при переваривании в присут-

вии пищевых волокон и пребиотиков открывает новые горизонты для создания функциональных продуктов. Исследования в данной области могут привести к более эффективным стратегиям улучшения здоровья с использованием пробиотических штаммов, что имеет особое значение для профилактики и лечения различных заболеваний, связанных с желудочно-кишечным трактом и общим состоянием здоровья человека. Разработка продуктов, содержащих правильное сочетание пробиотиков и пребиотиков, не только увеличит их ценность, но и создаст новые возможности для питания и поддержки микробиома.

Проведенное исследование показало, что использование в пробиотическом взбитом мороженом десерте на основе творожной сыворотки яблочных выжимок в сухом и гидролизованном виде, а также пектиновых олигосахаридов из яблочных выжимок способствовало повышению устойчивости пробиотиков *L. acidophilus*, *L. reuteri* и *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* к процессам переваривания *in vitro*.

Список источников

1. Петреченко М.И., Полянская И.С., Габриелян Д.С. Функциональное кисломолочное мороженое // Молочная промышленность. 2021. № 5. С. 49–51. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-05-49-51.
2. Полянский К.К., Родионова Н.С., Разинкова Т.А. Низкокалорийные синбиотические замороженные десерты // Молочная промышленность. 2020. № 2. С. 58–60. DOI: 10.31515/1019-8946-2020-02-58-60
3. Донченко Л.В., Ластков Д.О., Коханный А.Ю., и др. Современные особенности пектинопрофилактики // Сахар. 2022. № 9. С. 38–42. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-9-38-43.
4. Gómez B., Yáñez R., Parajó J.C. Production of pectin-derived oligosaccharides from lemon peels by extraction, enzymatic hydrolysis and membrane filtration // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2023. V. 91. P. 234–247.
5. Gullon B., Gómez B., Martínez-Sabajanes M., et al. Pectic oligosaccharides: manufacture and functional properties // Trends Food Sci. Technol. 2013. V. 30. P. 153–161. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.01.006. EDN: RIPDIX.
6. Babbar N., Dejonghe W. Pectic oligosaccharides from agricultural by-products: production, characterization and health benefits // Crit. Rev. Biotech. 2022. V. 36. P. 594–606. DOI: 10.3109/07388551.2014.996732.
7. Гашева М.А. Подбор пробиотических заквасочных культур для производства кисломолочного мороженого с заданными функциональными свойствами // Новые технологии. 2022. Т. 18, № 3. С. 17–23. DOI: 10.47370/2072-0920-2022-18-3-17-23.
8. Захарова И.Н., Бережная И.В., Сугян Н.Г., и др. Что мы знаем сегодня о *Lactobacillus reuteri*? // Медицинский совет. 2018. № 2. С. 163–169. DOI: 10.21518.2079-701X-2018-2-163-169.
9. Buniowska M., Carbonell-Capella J.M., Frigola A., et al. Bioaccessibility of bioactive compounds after non-thermal processing of an exotic fruit juice blend sweetened with *Stevia rebaudiana* // Food Chem. 2017, V. 221, P. 1834–1842.

10. Милентьева И.С., Козлова О.В., Еремеева Н.И. Исследование пробиотических свойств бактерий рода *Propionibacterium* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9, № 2. С. 83–92. DOI: 10.14529/food210209.
11. Кистаубаева А.С. Использование сорбентов нового поколения для иммобилизации молочно-кислых бактерий. В сб.: Международная научная конференция «Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане». Алматы, 2010. С. 302–305.
12. Melchior S., Marino M., Innocente N., et al. Effect of different biopolymer-based structured systems on the survival of probiotic strains during storage and in vitro digestion // J Sci. Food Agric. 2020. Vol. 100. P. 3902–3909.
13. Rivas M.Á., Benito M.J., Ruíz-Moyano S., et al. Improving the Viability and Metabolism of Intestinal Probiotic Bacteria Using Fibre Obtained from Vegetable By-Products // Foods. 2021. Vol. 10. P. 13–21. DOI: 10.3390/foods10092113.
14. Kowalczyk M., Znamirska-Piotrowska A., Buniowska-Olejnik M., et al. Sheep Milk Symbiotic Ice Cream: Effect of Inulin and Apple Fiber on the Survival of Five Probiotic Bacterial Strains during Simulated In Vitro Digestion Conditions // Nutrients. 2022. Vol. 14. P. 44–54. DOI: 10.3390/nu14214454.
15. Singh P., Medronho B., dos Santos T., et al. On the viability, cytotoxicity and stability of probiotic bacteria entrapped in cellulose-based particles // Food Hydrocoll. 2018. Vol. 82. P. 457–465.
16. Tarifa M.C., Piqueras C.M., Genovese D.B., et al. Microencapsulation of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus rhamnosus* in pectin and pectin-inulin microgel particles: Effect on bacterial survival under storage conditions // Int. J. Biol. Macromol. 2021. Vol. 179. P. 457–465.
17. Corcoran B.M., Stanton C., Fitzgerald G.F., et al. Survival of probiotic lactobacilli in acidic environments is enhanced in the presence of metabolizable sugars // Appl Environ Microbiol. 2005. Vol. 71(6) P. 3060–3067. DOI: 10.1128/AEM.71.6.3060-3067.2005.
18. Ратникова И.А., Гаврилова Н.Н., Треножникова Л.П., и др. Устойчивость к желчи молочно-кислых, пропионово-кислых бактерий и их ассоциаций, адаптированных к низкому значению pH. // Вестник КазНУ. Серия Биологическая. 2017. Т. 56, № 4. С. 94–97.
19. Silva C.C., Silva Barros E.L., Verruck S., et al. How ice cream manufactured with concentrated milk serves as a protective probiotic carrier? An in vitro gastrointestinal assay // Food Sci. Technol. 2022. Vol. 42. P. 1–8.
20. Хаева О.Э., Икоева Л.П., Цугкиев Б.Г. Идентификация и основные биологические свойства пропионово-кислых бактерий // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5, № 3. С. 148–154.
21. Kowalczyk M., Znamirska A., Pawlos M., et al. The Use of Olkaska Sheep Milk for the Production of Symbiotic Dairy Ice Cream // Animals 2022. Vol. 12. P. 70.
22. Воловик Т.Н., Капрельянц Л.В. Оптимизация параметров процесса инкапсулирования пробиотических культур // Пищевая наука и технология. 2014. Т. 28, № 3. С. 19–22.
23. He C., Samplers I., Raes K. Dietary fiber concentrates recovered from agro-industrial by-products: Functional properties and application as physical carriers for probiotics // Food Hydrocoll. 2021. Vol. 111. P. 106–175.
24. Hu M.X., Li J.N., Guo Q., et al. Probiotics biofilm-integrated electrospun nanofiber membranes: A new starter culture for fermented milk production // J. Agr. Food Chem. 2019. Vol. 67. P. 3198–3208.

References

1. Petrechenko MI, Poljanskaja IS, Gabrieljan DS. Funkcional'noe kislomolochnoe morozhenoe. *Moloch-naja promyshlennost'*. 2021;5:49-51. (In Russ.). DOI: 10.31515/1019-8946-2021-05-49-51.
2. Poljanskij KK, Rodionova NS, Razinkova TA. Nizkokalorijnye sinbioticheskie zamorozhennye deserty. *Moloch-naja promyshlennost'*. 2020;2:58-60. (In Russ.). DOI: 10.31515/1019-8946-2020-02-58-60.
3. Donchenko LV, Lastkov DO, Kohannyj AJu, et al. Sovremennye osobennosti pektinoprofilaktiki. *Sugar*. 2022;9:38-42. (In Russ.). DOI: 10.24412/2413-5518-2022-9-38-43.

4. Gómez B, Yáñez R, Parajó JC. Production of pectin-derived oligosaccharides from lemon peels by extraction, enzymatic hydrolysis and membrane filtration. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2023;91:234-247.
5. Gullon B, Gómez B, Martínez-Sabajanes M, et al. Pectic-oligosaccharides: manufacture and functional properties. *Trends Food Sci. Technol.* 2013;30:153-161.
6. Babbar N, Dejonghe W. Pectic oligosaccharides from agricultural by-products: production, characterization and health benefits. *Crit. Rev. Biotech.* 2022;36:594-606. DOI: 10.3109/07388551.2014.996732.
7. Gasheva MA. Podbor probioticheskikh zakvasochnykh kul'tur dlja proizvodstva kislomolochnogo morozhenogo s zadannymi funkcional'nymi svojstvami. *New technologies*. 2022;18(3):17-23. (In Russ.). DOI: 10.47370/2072-0920-2022-18-3-17-23.
8. Zaharova IN, Berezhnaja IV, Sugjan NG, et al. Chto my znaem segodnja o Lactobacillus reuteri? *Medicinskij sovet*. 2018;2:163-169. (In Russ.). DOI: 10.21518.2079-701X-2018-2-163-169.
9. Buniowska M, Carbonell-Capella JM, Frigola A, et al. Bioaccessibility of bioactive compounds after non-thermal processing of an exotic fruit juice blend sweetened with Stevia rebaudiana. *Food Chem.* 2017;221:1834-1842.
10. Milent'eva IS, Kozlova OV, Ereemeeva NI. Issledovanie probioticheskikh svojstv bakterij roda Propionibacterium. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Pishhevye i biotekhnologii*. 2021;9(2):83-92. (In Russ.). DOI: 10.14529/food210209.
11. Kistaubaeva AS. Ispol'zovanie sorbentov novogo pokolenija dlja immobilizacii molochnokislykh bakterij. In: *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Innovacionnoe razvitie i vostrebovannost' nauki v sovremennom Kazahstane»*. Almaty, 2010. P. 302–305. (In Russ.).
12. Melchior S, Marino M, Innocente N, et al. Effect of different biopolymer-based structured systems on the survival of probiotic strains during storage and in vitro digestion. *J Sci. Food Agric.* 2020;100:3902-3909.
13. Rivas MÁ, Benito MJ, Ruíz-Moyano S, et al. Improving the Viability and Metabolism of Intestinal Probiotic Bacteria Using Fibre Obtained from Vegetable By-Products. *Foods*. 2021;10:13-21. DOI: 10.3390/foods10092113.
14. Kowalczyk M, Znamirska-Piotrowska A, Buniowska-Olejnik M, et al. Sheep Milk Symbiotic Ice Cream: Effect of Inulin and Apple Fiber on the Survival of Five Probiotic Bacterial Strains during Simulated *In Vitro* Digestion Conditions. *Nutrients*. 2022;14:44-54. DOI: 10.3390.nu14214454.
15. Singh P, Medronho B, dos Santos T, et al. On the viability, cytotoxicity and stability of probiotic bacteria entrapped in cellulose-based particles. *Food Hydrocoll.* 2018;82:457-465.
16. Tarifa MC, Piqueras CM, Genovese DB, et al. Microencapsulation of Lactobacillus casei and Lactobacillus rhamnosus in pectin and pectin-inulin microgel particles: Effect on bacterial survival under storage conditions. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021;179:457-465.
17. Corcoran BM, Stanton C, Fitzgerald GF, et al. Survival of probiotic lactobacilli in acidic environments is enhanced in the presence of metabolizable sugars. *Appl Environ Microbiol.* 2005;71(6):3060-3067. DOI: 10.1128/AEM.71.6.3060-3067.2005.
18. Ratnikova IA, Gavrilova NN, Trenzchnikova LP, et al. Uстойчивost' k zhelchi molochnokislykh, propionovokislykh bakterij i ih asociacij, adaptirovannykh k nizkomu znacheniju pH. *Vestnik KazNU. Serija Biologicheskaja*. 2017;56(4):94-97. (In Russ.).
19. Silva CC, Silva Barros EL, Verruck S, et al. How ice cream manufactured with concentrated milk serves as a protective probiotic carrier? An *in vitro* gastrointestinal assay. *Food Sci. Technol.* 2022;42:1-8.
20. Haeva OJ, Ikoeva LP, Cugkiev BG. Identifikacija i osnovnye biologicheskie svojstva propionovokislykh bakterij. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biologija. Himija*. 2019;5(3):148-154. (In Russ.).
21. Kowalczyk M, Znamirska A, Pawlos M, et al. The Use of Olkaska Sheep Milk for the Production of Symbiotic Dairy Ice Cream. *Animals*. 2022;12:70.
22. Volovik TN, Kaprel'janc LV. Optimizacija parametrov processa inkapsulirovanija probioticheskikh kul'tur. *Pishhevaja nauka i tehnologija*. 2014;28(3):19-22. (In Russ.).

23. He C, Sampers I, Raes K. Dietary fiber concentrates recovered from agro-industrial by-products: Functional properties and application as physical carriers for probiotics. *Food Hydrocoll.* 2021;111:106-175.
24. Hu MX, Li JN, Guo Q, et al. Probiotics biofilm-integrated electrospun nanofiber membranes: A new starter culture for fermented milk production. *J. Agr. Food Chem.* 2019;67:3198-3208.

Статья принята к публикации 12.05.2025 / The article accepted for publication 12.05.2025.

Информация об авторах:

Марина Васильевна Каледина¹, доцент кафедры технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции, кандидат технических наук, доцент

Дарья Александровна Шемякина², ассистент кафедры технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции

Надежда Павловна Шевченко³, доцент кафедры технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции, кандидат технических наук, доцент

Виктория Петровна Витковская⁴, старший преподаватель кафедры технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции, кандидат сельскохозяйственных наук

Сергей Александрович Чуев⁵, доцент кафедры технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Marina Vasilievna Kaledina¹, Associate Professor at the Department of Production and Processing Technologies of Agricultural Products, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Daria Alexandrovna Shemyakina², Assistant Professor, Department of Agricultural Production and Processing Technologies

Nadezhda Pavlovna Shevchenko³, Associate Professor at the Department of Production and Processing Technologies of Agricultural Products, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Victoria Petrovna Vitkovskaya⁴, Senior Lecturer, Department of Agricultural Production and Processing Technologies, Candidate of Agricultural Sciences

Sergey Alexandrovich Chuev⁵, Associate Professor at the Department of Production and Processing Technologies of Agricultural Products, Candidate of Biological Sciences

