

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-410-419>



Поступила 19.08.2024

Поступила после рецензирования 12.09.2024

Принята в печать 16.09.2024

© Сорокина Н. П., Кучеренко И. В., Бруцкая А. Л., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

ЛАКТОБАЦИЛЛЫ КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КУЛЬТУРЫ В СЫРОДЕЛИИ

Сорокина Н. П.*, Кучеренко И. В., Бруцкая А. Л.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

сыр, лактобациллы, таксономия, бактериальные закваски, дополнительные культуры, пробиотики

Выработка сыров из термически обработанного молока в промышленных масштабах невозможна без использования коммерческих бактериальных заквасок, включающих ограниченное количество видов и штаммов микроорганизмов. Это приводит к тому, что сенсорные показатели сыров массового производства практически не различаются. Традиционные сыры из непастеризованного молока отличаются более выраженным и разнообразным вкусом. Научная литература описывает значительное таксономическое разнообразие микробиоты традиционных сыров, в том числе лактобацилл незаквасочного происхождения. Органолептические показатели и безопасность сыров напрямую зависят от состава этой микробиоты. В данной работе рассмотрены основные моменты таксономической реформы лактобацилл, в результате которой объединены два семейства *Lactobacillaceae* и *Leuconostocaceae*, а род лактобацилл разделен на 25 родов. Приведено новое описание семейства и некоторых видов молочнокислых палочек, использующихся в заквасках. Продемонстрирована сложная вариабельная автохтонная микробиота сыров и возможность за счет внесения отобранных автохтонных дополнительных культур стабилизировать ферментацию при изготовлении сыров из сырого молока и улучшить их качество без потери индивидуальности. При производстве сыров из пастеризованного молока эти культуры улучшают сенсорные показатели продукта и придают ему оригинальные вкусовые оттенки. В ряде работ показано, что пробиотические бактерии интенсивно развиваются и долго сохраняют жизнеспособность в сырах даже длительного созревания. Такие сыры могут быть носителями живых пробиотиков и их метаболитов, полезных для здоровья потребителей. В данном обзоре обобщены сведения о перспективных направлениях расширения видового спектра дополнительных культур для разработки отечественных заквасок для сыроделия. Учитывая, что микробиология сыроделия представляет собой весьма обширную и до конца не изученную область, обзор не претендует на исчерпывающий анализ всех существующих подходов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено за счет гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (Проект № 075-15-2024-483).

Received 19.08.2024

Accepted in revised 12.09.2024

Accepted for publication 16.09.2024

© Sorokina N. P., Kucherenko I. V., Bruckaya A. L., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

LACTOBACILLI AS ADDITIONAL CULTURES IN CHEESE MAKING

Ninel P. Sorokina*, Irina V. Kucherenko, Anastasiya L. Bruckaya

All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheesemaking, Uglich, Yaroslavl Region, Russia

KEY WORDS:

cheese, lactobacilli, taxonomy, bacterial starter cultures, additional cultures, probiotics

ABSTRACT

Production of cheeses from thermally processed milk at an industrial scale is impossible without using commercial bacterial starter cultures that include a limited number of species and strains of microorganisms. This leads to the fact that sensory indicators of mass-produced cheeses practically do not differ. Traditional cheeses from unpasteurized milk are distinguished by more pronounced and diverse tastes. Scientific literature describes the significant taxonomic variety of microbiota of traditional cheeses, including non-starter lactobacilli. Sensory indicators and safety of cheeses directly depend on the composition of this microbiota. This study examines the main moments of the taxonomic reform of lactobacilli, which resulted in union of two families *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*, and division of the genus *Lactobacillus* into 25 genera. New description of the family and several species of lactobacilli used in starter cultures is given. The authors demonstrate the complex autochthonous microbiota of cheeses and a possibility of stabilization of fermentation upon cheese making from raw milk and improvement of their quality without losing individuality due to the introduction of selected autochthonous additional cultures. When cheeses are made from pasteurized milk, these cultures improve sensory characteristics of a product and impart the original flavor to them. Several studies show that probiotic bacteria intensively develop and maintain viability for a long time even in long-ripened cheeses. Such cheeses can be carriers of live probiotics and their metabolites that are beneficial for the consumer health. This review summarizes information about promising directions of extension of the species spectrum of additional cultures for creation of domestic starter cultures for cheese making. Taking into consideration that microbiology of cheese making is quite a wide field that is not fully studied, the review does not claim to be the comprehensive analysis of all existing approaches.

FUNDING: This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for large scientific projects in priority areas of scientific and technological development (Grant No. 075-15-2024-483).

1. Введение

Сыр представляет собой сложный пищевой продукт, в котором непрерывно протекают микробиологические и биохимические процессы. При этом состав и активность микробиоты сыра зависят от технологических приемов, от режимов и от условий его производства.

Современное индустриальное изготовление сыров из термически обработанного молока базируется на использовании коммерческих бактериальных заквасок. Таксономический состав заквасок весьма ограничен и включает молочнокислые бактерии: лактококки, лейконостоки, термофильный стрептококк и лактобациллы. Заквасочные микроорганизмы играют первостепенную роль в преобразовании

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сорокина, Н. П., Кучеренко, И. В., Бруцкая, А. Л. (2024). Лактобациллы как дополнительные культуры в сыроделии. *Пищевые системы*, 7(3), 410–419. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-410-419>

FOR CITATION: Sorokina, N. P., Kucherenko, I. V., Bruckaya, A. L. (2024). Lactobacilli as additional cultures in cheese making. *Food Systems*, 7(3), 410–419. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-410-419>

молока в сыр за счет интенсивного метаболизма лактозы и продуцирования молочной кислоты, которое приводит к росту кислотности, обеспечивает контролируемый процесс ферментации, микробиологическую безопасность в результате ингибирования посторонней микрофлоры. Другим важным последствием жизнедеятельности молочнокислых бактерий в молоке и сырной массе является накопление различных протеолитических и липолитических ферментов, определяющих в совокупности с энзимами молока и молокосвертывающими препаратами направленность биохимических процессов созревания сыров [1].

Коммерческие закваски на чистых культурах обладают рядом преимуществ перед самопроизвольной ферментацией и использованием природных заквасок неопределенного состава. Их хорошо изученные и контролируемые свойства положительно сказываются на технологических, органолептических и диетологических характеристиках сыров [2]. В соответствии с техническим регламентом ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», в нашей стране пастеризация молока является обязательной технологической операцией при производстве молочных продуктов для реализации. В связи с этим сыры из термически необработанного молока не производятся, что исключает практику использования природных заквасок. В зарубежных странах многие виды традиционных сыров изготавливаются из сырого молока. Микробиологические процессы в таких сырах протекают под воздействием автохтонной микрофлоры, характерной для конкретных молочных ферм и сыроварен [3,4].

В то же время промышленное применение заквасок с определенным видовым и штаммовым составом приводит к определенной унифицированности органолептических показателей, делает различные виды сыров близкими по вкусу и аромату. Очевидно, это обусловлено снижением разнообразия сырной микробиоты, поскольку пастеризация выдерживает весьма незначительная часть микроорганизмов сырого молока, а состав коммерческих заквасок четко регламентирован. Общеизвестно, что сыры из непастеризованного молока отличаются более выраженным и разнообразным вкусом. Микробные ферменты вспомогательных культур принимают активное участие в протекании протеолиза и липолиза при созревании сыров. Поэтому в последние годы наблюдается тенденция к расширению разнообразия вторичных заквасок за счет новых видов и штаммов автохтонных микроорганизмов [5–9].

К началу 21 века сформировалось разделение бактериальных заквасок на две группы — основные (первичные) и дополнительные (вторичные, вспомогательные) закваски. Основные закваски обеспечивают интенсивное молочнокислое брожение, а дополнительные закваски выполняют целый ряд других функций, таких как ускорение созревания, формирование определенных органолептических характеристик, ингибирование развития посторонней технической вредной микрофлоры [2,10]. Молочная кислота — это нелетучее химическое соединение, практически не имеющее запаха, и ее прямой вклад в органолептику сыров ограничивается приданием продукту кислого вкуса в той или иной степени выраженности.

К основным закваскам относят заквасочные культуры, обеспечивающие активное сбраживание лактозы: в сыроделии это особенно важно на начальных стадиях выработки. Кислообразующей микрофлорой являются лактококки, термофильный стрептококк и термофильные молочнокислые палочки [2]. Разные виды лактобацилл существенно отличаются по энергии кислотообразования. Термофильные палочки характеризуются высокой скоростью кислотообразования и являются необходимым компонентом для сыров с высокими температурами второго подогревания. Для группы сыров с низким температурным уровнем второго нагревания молочнокислые палочки не являются основной микрофлорой, а, как правило, используются в дополнение к лактококковым закваскам в виде моновидовых культур или в составе поливидовых консорциумов. В зависимости от свойств выделяют две основные группы вспомогательных заквасок: созревательные и защитные. Созревательные закваски направлены на регулирование протеолиза, на сокращение сроков созревания и на формирование специфических вкусоароматических характеристик сыра [11,12]. Защитные закваски, в свою очередь, ингибируют развитие нежелательной и патогенной микрофлоры [13–16].

Вторичная микрофлора сыров отличается от первичной большим разнообразием выполняемых ею функций и таксономией. В эту группу входят лактобациллы незаквасочного происхождения различных родов и видов, пропионовокислые бактерии, плесневые грибы, представители поверхностной микрофлоры — бревибактерии, дрожжи и стафилококки [2]. Нередко в сыроделии используются и пробиотические микроорганизмы, например, лактобациллы и бифидобактерии, которые также относят к дополнительным культурам [8,17].

Такое разделение заквасок весьма условно, поскольку представители микрофлоры основных заквасок обладают и другими технологически важными свойствами: они способны метаболизировать цитраты и лактозу с образованием диацетил и углекислого газа, обладают протеолитической и липолитической активностью, продуцируют антибиотические вещества, т. е. обеспечивают весь комплекс микробиологических и биохимических процессов в сырах. Многие виды сыров высокого качества возможно выработать и без дополнительных культур. В то же время обязательным компонентом микробиоты отдельных видов сыров являются пропионовокислые бактерии, формирующие их идентификационные показатели — рисунок и специфический вкус и аромат [2,18,19]. Следовательно, пропионовокислые бактерии в таких сырах являются основными наряду с активными кислотообразователями. Также широко используются поливидовые закваски, включающие кислотообразующие лактококки, термофильный стрептококк, цитратсбраживающие лактококки, лейконостоки, молочнокислые палочки [20]. Такие комплексные закваски невозможно строго отнести к основным или дополнительным.

На наш взгляд, понятия «основные» и «дополнительные» (или «первичные» и «вторичные») в большей мере определяют группы микробиоты сыра по характеру их развития и по роли в формировании сыра как продукта, нежели типы заквасок. Для заквасок более приемлемы другие классификации: по числу видов микроорганизмов, по температурному оптимуму заквасочных бактерий, по физической форме и т. д.

В настоящее время ассортимент отечественных дополнительных заквасок остается немногочисленным. На нашем российском рынке представлены закваски различных зарубежных компаний. Учитывая стремительное увеличение ассортимента сыров, выпускаемых в нашей стране, представляется актуальным расширение видового разнообразия заквасочной микрофлоры за счет скрининга новых культур молочнокислых палочек, перспективных для сыроделия, в т. ч. с целью импортозамещения.

2. Материалы и методы

Объектами изучения являлись нормативные и технические документы, научные публикации российских и зарубежных авторов, посвященные видовому составу микрофлоры сыров, типу бактериальных заквасок, современной таксономии и номенклатуре лактобацилл и их роли в сыроделии с целью расширения видового спектра отечественных дополнительных заквасок для сыров. Поиск осуществлялся на платформах eLibrary.ru, Scopus, PubMed, ResearchGate и в открытых интернет-источниках. Был проведен поиск публикаций с использованием нескольких ключевых слов: сыр, лактобациллы, молочнокислые палочки, таксономия, идентификация, бактериальные закваски, дополнительные культуры, пробиотики. Из найденных публикаций исключили источники, не содержащие полные тексты статей.

Основные проанализированные публикации (более 70%) охватывали временной интервал с 2016 по 2024 годы, но были использованы и более ранние источники для оценки значимости и эволюции вопроса применения лактобацилл в сыроделии.

3. Таксономия и основные свойства лактобацилл

Для производства ферментированных пищевых продуктов, в т. ч. сыров, используют молочнокислые палочки семейства *Lactobacillaceae* Winslow et al. 1917, которое в соответствии с «Определителем бактерий Берги» (1997 г.) входило в группу «Грамположительные неспорообразующие палочки правильной формы». Вплоть до 2020 года молочнокислые палочки являлись представителями рода *Lactobacillus*, который подразделялся по характеру метаболизма углеводов на два таксона: гомоферментативные палочки (17 видов и разновидностей) и гетероферментативные палочки (11 видов); исходя из температурных интервалов роста лактобациллы подразделялись на мезофильные и термофильные.

Представители рода *Lactobacillus* — это грамположительные, неспорообразующие палочки правильной формы с высокой ферментативной активностью, в результате которой продуцируется молочная кислота. В зависимости от способа сбраживания глюкозы (лактозы) молочнокислые палочки подразделялись на 3 подгруппы:

1. Строго-гомферментативные лактобациллы подрода *Thermobacterium*, включающего 19 видов и подвидов;
2. Факультативно-гетероферментативные лактобациллы подрода *Streptobacterium*, к которому относятся 16 видов и подвидов;
3. Строго-гетероферментативные лактобациллы подрода *Betabacterium*, включающего 18 видов и подвидов.

Современная иерархическая структура лактобацилл представлена следующими таксономическими категориями: отдел — *Firmicutes* (Прокариоты); класс — *Bacilli* (Бациллы); порядок — *Lactobacillales*; семейство — *Lactobacillaceae*.

Одна из первых классификаций лактобацилл — фенотипическая классификация Orla-Jensen, сформированная в 1919 году и основанная на определении температурного диапазона роста, спектра сбраживаемых углеводов и продуктов их метаболизма. В ней не учитываются филогенетические связи между молочнокислыми бактериями [21], однако термины «мезофильные молочнокислые палочки» (стрептобактерии) и «термофильные молочнокислые палочки» (термобактерии) до сих пор используются в технической микробиологии. Они обозначают бактерии с оптимальной температурой роста и развития 30 °C и 40 °C соответственно [22].

До разработки молекулярно-генетических методов исследований микроорганизмов их идентификация проводилась по культуральным, морфологическим и физиолого-биохимическим свойствам. Современный подход к определению таксономического положения микроорганизмов основывается на идентичности нуклеотидной последовательности ДНК. Начиная с 1983 г. сходство нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК используется в бактериальной таксономии для создания филогенетических схем в качестве основы для классификации и номенклатуры [22]. В течение последних десятилетий полногеномное секвенирование стало более доступным, а средние значения нуклеотидной идентичности (ANI) генов, общие для двух сравниваемых геномов микроорганизмов, признаны золотым стандартом для описания новых видов.

По данным автора Ботинной и др. [23], при комплексном исследовании 13 производственных штаммов пробиотических лактобацилл из коллекции МНИИЭМ им. Габричевского, ранее идентифицированных по фенотипическим признакам, видовое положение 9 культур было изменено по результатам сравнения последовательностей 16S рРНК: 4 штамма *L. acidophilus* отнесены к виду *L. helveticus*, 1 штамм *L. acidophilus* — к виду *L. casei*, 1 штамм *L. fermentum* — к виду *L. plantarum*, 1 штамм *L. brevis* — к виду *L. casei*, 1 штамм *L. plantarum* — к виду *L. rhamnosus* и 1 штамм *L. delbrueckii* к виду *L. fermentum*.

За последние 40 лет число видов рода *Lactobacillus* значительно увеличилось: с 35, числившихся в утвержденных списках прокариот 1980 года [24], до 261 к 2020 году [25]. Такой рост обусловлен систематическим выделением и описанием новых видов благодаря применению современных методов генетической идентификации. В результате род *Lactobacillus* стал чрезвычайно гетерогенным. Отдельные виды входили в группы, которые не соответствовали их метаболизму, среде обитания и строению генома. Опубликованные в 2018 году Salvetti с соавторами результаты полногеномного секвенирования 269 видов бактерий из семейств *Lactobacillaceae* и *Leuconostocaceae* доказали наличие весомых разногласий в филогении и классификации этих видов и необходимость их устранения [26]. Разработанные технологии секвенирования, биоинформационного анализа и применение полифазного подхода позволили создать в 2020 г. новую, более надежную классификацию лактобацилл, которую считают глобальной таксономической реформой [27]. Впервые в истории микробиологии объединили два семейства *Lactobacillaceae* и *Leuconostocaceae*, а род *Lactobacillus* реклассифицировали на 25 новых родов.

Кроме этого, внесены коррективы в дифференциацию лактобацилл по способу метаболизма 6-атомных углеводов. Упразднена подгруппа «факультативно-гетероферментативных» лактобацилл, к которой относили виды, метаболизирующие гексозы гомоферментативно, а пентозы гетероферментативно. Сохранены 2 группы: гомоферментативные, сбраживающие гексозы путем Эмбдена-Мейерхоффа (гликолиз) с образованием пирувата как промежуточного метаболита, и гетероферментативные, сбраживающие гексозы через окислительный фосфокетотазный путь с образованием промежуточных метаболитов — пирувата и ацетилфосфата в качестве ключевых промежуточных продуктов [26]. Это изменение обусловлено тем, что сбраживание пентоз является непостоянным признаком не только на уровне штаммов, но и на уровне видов [27].

Представляется целесообразным привести в данной статье новое описание семейства *Lactobacillaceae*, а также тех видов молочнокислых палочек, которые наиболее часто используются в сыроделии.

4. Новое описание семейства *Lactobacillaceae* [27]

После внесенных обширных изменений объединенное семейство включает все без исключения роды, ранее входившие в оба семейства *Lactobacillaceae* Winslow et al. 1917 (утвержденные списки 1980) и *Leuconostocaceae* Schleifer 2010 [27].

Лактобациллы окрашиваются по Граму положительно, не способны к спорообразованию, по отношению к кислороду являются факультативными или строгими анаэробами. Форма клеток кокковидная или палочковидная, могут формировать пары, цепочки или тетрады (педиококки). Конечный продукт метаболизма — лактат, но лактобациллы могут образовывать ацетат, формиат или сукцинат, этанол, углекислый газ. Имеют сложные трофические потребности, нуждаются в аминокислотах, пептидах, производных нуклеиновых кислот, витаминах, солях жирных кислот. Примечательно, что среди многочисленных семейств в порядке *Lactobacillales* только *Lactobacillaceae* содержит и гомоферментативные и гетероферментативные бактерии. Типовой род: *Lactobacillus* Beijerinck 1901.

Для всех видов в [27] приведены номера типовых штаммов, депонированных и хранящихся в коллекциях микроорганизмов разных стран (в том числе типовые штаммы нескольких видов хранятся во Всероссийской коллекции микроорганизмов ВКМ), идентификационные номера последовательности генома и идентификационные номера гена 16S рРНК.

4.1. Гомоферментативные виды семейства *Lactobacillaceae*

4.1.1. Исправленное описание рода *Lactobacillus*

Современный род *Lactobacillus* включает виды бактерий, ранее входившие в группу *L. delbrueckii*. Все виды адаптированы к позвоночным хозяевам, за исключением *Lactobacillus melliventris*, который приспособлен к пчелам. Эти бактерии утилизируют довольно большое число углеводов, при этом способность к ферментации фруктанов, крахмала или гликогена варьируется в зависимости от штамма. Многие виды ферментируют маннит. Способность сбраживать лактозу палочками вида *L. delbrueckii* объясняет его присутствие в йогуртах и сырах [27]. Бактерии рода *Lactobacillus* присутствуют в различных средах обитания, в т. ч. в ферментированных молочных и зерновых продуктах, входят в состав заквасочной микробиоты многих кисломолочных продуктов.

Ниже приведены краткие описания важных для сыроделия родов и видов и их свойств.

4.1.2. Исправленное описание рода *Lactobacillus delbrueckii*

Род *Lactobacillus delbrueckii* (*Bacillus delbrückii*) (назван по имени немецкого бактериолога М. Delbrück) является типовым видом рода *Lactobacillus*. Из-за высокого фенотипического и генотипического сходства между *L. delbrueckii*, *L. leichmannii*, *L. lactis* и *L. bulgaricus* обособленным видом является только *L. delbrueckii*, а остальные классифицируются как подвиды, причем *L. lactis* и вид *L. leichmannii* объединены в один вид — *L. delbrueckii* subsp. *lactis*. Характерной особенностью является то, что все штаммы сбраживают лактозу до D(–) — молочной кислоты.

4.1.3. Вид *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

Раньше имел наименование *L. bulgaricus* (болгарская палочка).

L. delbrueckii subsp. *bulgaricus* сбраживает лактозу, фруктозу, маннозу, не метаболизирует сахарозу. Он подвергся сокращению генома, что, в частности, связано с потерей или глушением генов, кодирующих метаболизм углеводов. Размер генома составляет 1,76 Mbp, а содержание G±C в ДНК составляет 49,9 мол. *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* выделен из йогурта и сыра, являясь важной составляющей заквасочных культур при производстве этих продуктов. Также данный подвид обнаружен в составе микробиоты кишечника поросят.

Типовой штамм ATCC 11842^T=CCUG 41390^T и др., в том числе хранящийся во Всероссийской коллекции микроорганизмов ВКМ В-1923^T.

4.1.4. Вид *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*

Вид получил свое название в связи с происхождением из молока. Сбраживает сахарозу, фруктозу, маннозу, мальтозу, трегалозу. Размер генома — 1,87 Mbp, содержание G±C — 49,9 мол.%. Выделен из молока, сыров, прессованных дрожжей и зерна.

4.1.5. Вид *Lactobacillus acidophilus*

Название вида образовано от греческих слов, обозначающих «молоко», «палочка» и «любящий кислоту». *L. acidophilus* продуцирует DL-молочную кислоту из целлобиозы, галактозы, лактозы, мальтозы, маннозы, сахарозы и трегалозы, но не из маннита. Ряд штаммов относится к пробиотикам. Размер генома составляет 1,95 Mbp, а содержание G±C в ДНК — 34,6 мол.%. *L. acidophilus* заселяет кишечный тракт человека и животных, ротовую полость человека, выделяется из заквасок и вина.

4.1.6. Вид *Lactobacillus helveticus*

Название получил из-за получения типового штамма из швейцарского сыра. Сбраживает галактозу, глюкозу, маннозу, лактозу и трегалозу с образованием DL-молочной кислоты. Не способен ферментировать маннит, целлобиозу, сахарозу и рафинозу. *L. helveticus*

является синонимом *Lactobacillus suntoryeus*. Размер генома типового штамма составляет 1,83 Мбп, а содержание G±C в ДНК составляет 36,8 мол.%. Является компонентом микробиома курицы, но также был выделен из кислого молока, заквасок и сыров, в частности сыров Эменталь и Грюйер, а также из томатного жмыха и силоса.

Далее приведена информация о новых родах, выделенных из рода *Lactobacillus*.

4.1.7. Описание нового рода *Lacticaseibacillus* gen. nov.

Род *Lacticaseibacillus* (молочная палочка из группы *Lactobacillus casei*).

Штаммы *Lacticaseibacillus*, ранее считавшиеся факультативно-гетероферментативными, ныне являются гомоферментативными; но некоторые виды ферментируют пентозы. Содержание G±C в ДНК — от 46 до 58,0 мол.%, размер генома — от 1,93 до 3,14 Мбит/с. Способны продуцировать L(+) и D(–)-молочную кислоту. Температурный диапазон роста у разных видов от 10 °C до 45 °C. Один подвиж способен выдерживать прогревание при температуре 70 °C в течение 40 секунд. Несколько видов этого рода входят в состав заквасок для молочных продуктов, а отдельные штаммы являются пробиотиками.

Типовой вид — *Lacticaseibacillus casei* nov.; ранее упоминался как группа *Lacticaseibacillus casei*.

4.1.6. Вид *Lacticaseibacillus casei* comb. nov.

Видовое название происходит от латинского слова «caseus», что означает «сыр». Basonym: *Lactobacillus casei* (Orla Jensen, 1916, Hansen and Lessel, 1971, 71), (*Streptobacterium casei*, Orla-Jensen, 1919, 166) [24]. В него вошли и штаммы, ранее считавшиеся *Lactobacillus zeae*. В отличие от других молочнокислых палочек, *Lactobacillus casei* имеет каталазную активность. Размер генома типового штамма составляет 2,83 Мбп. Содержание G±C в ДНК составляет 46,5 мол.%. Изоляты были получены из разных источников, в том числе из пищевых продуктов (традиционный китайский рассол, кукурузный ликер, овсяный силос, коммерческие пищевые добавки), а также из биологических образцов (детские фекалии, мочрота, носоглотка). Информация об образе жизни *Lactobacillus casei* за последние десятилетия характеризуется нечеткой таксономией; вместо этого большинство геномов, обозначенных как *L. casei* в базе данных NCBI, следует классифицировать как *L. paracasei*.

4.1.7. Вид *Lacticaseibacillus paracasei* nov.

Lacticaseibacillus paracasei (*Paracasei*, напоминающий *L. casei*). Basonym: *Lactobacillus paracasei* Collins et al. 1989, 107^{VP}

Штаммы этого вида раньше назывались *L. casei* subsp. *alactosus*, а подвида *L. casei* subsp. *pseudopantarum* и *L. casei* subsp. *tolerans* были перенесены в этот вид из *L. casei*. Обладают супероксиддисмутазной активностью, представляют собой палочки, довольно часто имеющие квадратные концы, расположенные одиночно или в цепочках. Рост наблюдается между 10 °C и 40 °C. Некоторые штаммы растут при температуре 5 и 45 °C. Размер генома типового штамма составляет 2,88 Мбп. Содержание в ДНК G±C составляет 46,5 мол.%. Штаммы этого вида широко распространены в окружающей среде. Они были выделены из различных источников, включая ротовую полость человека, ферментированные злаки, овощи, мясо, молочные продукты и организм беспозвоночных.

Определены два подвида: *L. paracasei* subsp. *paracasei* и *L. paracasei* subsp. *tolerans*.

4.1.8. Вид *Lacticaseibacillus rhamnosus* comb. nov.

Видовое название *Lacticaseibacillus rhamnosus* указывает на способность этих бактерий сбраживать рамнозу. Basonym *Lactobacillus rhamnosus* (Hansen 1968, Collins et al. 1989, 108^{VP} (*Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* Hansen 1968). Размер генома типового штамма составляет 2,95 Мбп. Содержание в ДНК G±C составляет 46,7 мол.%. Этот вид обнаружен в разнообразных экологических нишах, включая организм человека и беспозвоночных, а также такие среды обитания, как сточные воды и различные ферментированные продукты (молочные, рыбные, мясные, растительные).

4.1.9. Описание нового рода *Lactiplantibacillus* gen. nov.

Род *Lactiplantibacillus* (получен из молока, группа *Lactobacillus plantarum*).

Виды рода *Lactiplantibacillus* метаболизируют широкий круг сахаров, а многие виды способны трансформировать фенольные кислоты под действием ферментов эстеразы, декарбоксилазы и редуктазы. *Lactiplantibacillus plantarum* характеризуется псевдокаталазной активностью и способностью снижать содержание нитратов. Два подвида *L. plantarum* возможно различить только генетическими методами путем секвенирования генов *crp60* и *gcsA*. Содержание G±C в ДНК составляет от 42,9 и 48,7 мол.%.

Виды этого рода встречаются в различных ферментированных продуктах, в местах обитания насекомых, в кишечнике животных, т. е. отличаются кочевым поведением. Широко используются во многих пищевых ферментациях и в качестве пробиотических микроорганизмов.

Типовым видом является *Lactiplantibacillus plantarum* nov.

4.1.10. Вид *Lactiplantibacillus plantarum* nov.

Lactiplantibacillus plantarum (из растений). Basonym: *Lactobacillus plantarum* Bergey et al. 1923, 250 [24].

Ранее имел название *Streptobacterium plantarum*. Имеет клетки палочковидной формы, одиночные, парные или в коротких цепочках. Отдельные штаммы могут уменьшать концентрацию нитратов при дефиците глюкозы и pH 6,0 или выше. У некоторых штаммов имеется псевдокаталаза и даже истинная каталаза, но только в присутствии гема. Отличаются потребностью в пантотенате кальция и ниацине для роста и развития. Преобладает в микрофлоре самоквасных овощей, олив, при ферментации молока и мяса. Относится к возбудителям порчи вина и пива. Является также частью микробиоты насекомых и изолирован из микробиоты насекомых, кишечного тракта человека, в том числе из ротовой полости.

Распознаются два подвида: *L. plantarum* subsp. *plantarum* и *L. plantarum* subsp. *argenteorantis*.

4.2. Гетероферментативные виды *Lactobacillaceae*

4.2.1. Описание нового рода *Lentilactobacillus* gen. nov.

Lentilactobacillus (прилагательное «lentus» — «медленный, вялый»; ссылка на медленный рост видов рода с образованием лактата или пропандиола в качестве конечного продукта; медленно растущая лактобацилла).

Грамположительные палочки, каталазоотрицательные, гетероферментативные. У многих штаммов наблюдается рост при температуре 15 °C, некоторые растут при температуре 45 °C, диапазон активной кислотности варьирует, но оптимум обычно ниже уровня pH 6,0. Размер генома — от 1,57 Мбит до 4,91 Мбит, содержание G±C в ДНК — в пределах от 39,1 до 45,2 мол.%. *Lentilactobacillus* Получены из силоса, ферментированных овощей, испорченных вин и зерновых жмыхов. Как правило, штаммы этого вида не имеют четко определенных экологических ниш. Виды *Lentilactobacillus* сбраживают большой спектр пентоз, гексоз и дисахаридов. Большинство видов обладают свойством ферментировать лактаты в 1,2-пропандиол, а также 1,2-пропандиол в пропанол и пропионат; эти пути почти не встречаются у гетероферментативных лактобацилл и среди них наиболее распространены у лентиллактобацилл. Большинство видов *Lentilactobacillus* также превращают агматин, продукт бактериального декарбоксилирования аргинина, по пути агматиндеиминазы; у лактобацилл этот путь связан со свободным образом жизни. Виды *Lentilactobacillus* используются в коммерческих целях в качестве закваски для силосования, а также в небольшом количестве в молочных и зерновых продуктах.

Типовой вид рода *Lentilactobacillus buchneri* comb. nov. Ранее *Lentilactobacillus* упоминался как группа *L. buchneri*.

4.2.2. Вид *Lentilactobacillus buchneri* nov.

Назван именем немецкого микробиолога Бюхнера. Basonym: *Lactobacillus buchneri* (Bacillus buchneri Henneberg 1903, 163) Bergey et al. 1923, 251 [24].

Биохимические характеристики были описаны как сходные с *L. brevis*, но он отличается в отношении продуцирования 1,2 пропандиола из лактата. Размер генома типового штамма составляет 2,45 Мбп. Содержание в ДНК G±C составляет 44,4 мол.%. Изолирован из прессованных дрожжей, молока, сыра, сброженного растительного материала и ротовой полости человека. Используется в промышленности в качестве закваски для силоса.

4.2.3. Описание нового рода *Limosilactobacillus* gen. nov.

Видовой эпитет «limosus», означающий «слизистый», отражает способность большинства штаммов данного рода синтезировать экзополисахариды из сахарозы, что и обуславливает название рода — *Limosilactobacillus* (слизистая лактобацилла).

Бактерии *Limosilactobacillus* имеют палочко- или кокковидную форму, являются анаэробными или аэротолерантными. Оптимальная температура роста для этих микроорганизмов составляет 37 °C. Многие виды способны расти при 45 °C, но не растут при 15 °C. Геномы маленького размера — от 1,6 до 2,25 Мбит. Содержание G±C — в диапазоне от 38,6,1 до 53,4 мол.%. Сбраживают широкий спектр углеводов, но некоторые виды не способны утилизировать глюкозу. Экспрессируют уреазы, глутаминазы, глутаматдекарбоксилазы, а также наличие аргининдеиминазной активности обуславливают кислото-

устойчивость. Адаптированы к кишечнику позвоночных животных. *Limosilactobacillus reuteri* и другие виды образуют экзополисахариды из сахарозы. В естественной среде обитания виды *Limosilactobacillus* обычно сосуществуют в симбиозе с другими видами лактобацилл.

Типовой вид рода — *Limosilactobacillus fermentum* nov.; ранее род *Limosilactobacillus* упоминался как группа *Lactobacillus reuteri*.

4.2.4. Вид *Limosilactobacillus fermentum* nov.

Limosilactobacillus fermentum (означает «вызывающий ферментацию»). Basonym: *Lactobacillus fermentum* Beijerinck 1901, 233 [24]. К виду отнесены штаммы и *Lactobacillus cellobiosus*.

L. fermentum, в отличие от других видов этого рода, не адаптирован к кишечнику позвоночных животных. Размер генома типового штамма — 1,90 Mbp. Содержание G+C в ДНК — 52,4 мол.%. *L. fermentum* распространен в самопроизвольно ферментированных злаках и в других растительных субстратах, в молочных продуктах, в навозе, в сточных водах, а также в фекалиях человека [27].

Таким образом, из представленной информации следует, что используемые в сыроделии молочнокислые палочки, в соответствии с новой таксономией, находятся в разных родах и группах семейства *Lactobacillaceae*.

Зарубежные ученые считают, что долгосрочная неизменность новой номенклатуры чрезвычайно важна для обеспечения корректного включения новых выделяемых и идентифицируемых бактерий [25]. Столь значительное изменение таксономии и номенклатуры лактобацилл вносит определенные трудности и противоречия. Постоянная общепринятая номенклатура важна для четкой коммуникации между различными структурами. Таксономические изменения имеют значительные правовые и коммерческие последствия, влияя на различные сферы, включая патентное право, регулирование пищевых продуктов (состав, маркировка), международную торговлю (сертификация импорта и экспорта) и даже информирование потребителей. Реализация изменений номенклатуры лактобацилл может занять значительное количество времени. Так, в частности в нашей стране еще не внесены изменения в целый ряд нормативных документов и стандартов, касающиеся наименований молочнокислых палочек.

5. Роль лактобацилл в сыроделии

Довольно большую группу дополнительных культур составляют лактобациллы разных родов и видов, которые выпускаются в виде коммерческих заквасок и широко используются в промышленном сыроделии. Научный интерес к молочнокислым палочкам как к перспективным компонентам микробиоты сыров существенно возрос в последние два десятилетия у отечественных и иностранных исследователей.

Начало исследований микроорганизмов сыров, вырабатываемых из сырого молока, было положено в работах ученых Московской бактериолого-агрономической станции и Вологодской молочно-хозяйственной академии [29,30], в 1930-е годы исследования свойств молочнокислых палочек для ускорения созревания сыров продолжили специалисты ВНИМИ [31]. Целым рядом исследований с 1903 по 1938 г. было установлено присутствие мезофильных молочнокислых палочек *L. casei* в разных видах сыров, но на практике они не использовались, несмотря на явное ускорение созревания при добавлении этого микроорганизма. Рунов Е. В. в 1947 г. выдвинул идею о перспективности использования в качестве закваски обогащенных культур молочнокислых бактерий, полученных непосредственно из сыра, поскольку такие культуры наиболее полно отражают состав микрофлоры сыра [32]. Но этот способ не дал стабильных результатов из-за постепенного снижения количества молочнокислых палочек в процессе пересевов. Работы по изучению лактобацилл в 1960-е годы активизировались и проводились российскими и армянскими учеными [33–35]. До практического внедрения были доведены исследования Гудкова А. В. с соавторами [36], которые были направлены на создание антагонистической закваски для подавления развития маслянокислых бактерий в сырах. В 1971 г. производственная лаборатория заквасок ВНИИМС организовала серийный выпуск этой закваски. Таким образом, многолетние отечественные исследования лактобацилл привели к целому направлению в отечественном заквасочном деле — в разработке биологических методов борьбы с технически вредными микроорганизмами. В наше время такие закваски называются защитными.

До начала 21 века в отечественном сыроделии использовались бактериальные закваски с ограниченным числом видов молочнокислых палочек: мезофильные культуры *L. plantarum*, *L. casei*; термофильные культуры *L. helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*,

Lactobacillus delbrueckii subsp. *bulgaricus* и *Lactobacillus acidophilus*. В настоящее время видовое разнообразие лактобацилл существенно увеличилось за счет использования импортных дополнительных культур [11,12]. Обусловлено это существенным расширением ассортимента выпускаемых сыров, для изготовления которых необходимо использование более разнообразной микрофлоры [37,38].

5.1. Видовое разнообразие лактобацилл в сырах

Современные исследования микробиоты различных видов сыров свидетельствуют о присутствии молочнокислых палочек незаквасочного происхождения практически во всех изученных образцах не только сыров из сырого молока, но и в большинстве случаев в сырах из пастеризованного молока [7,39,40]. Это обусловлено тем, что мезофильные лактобациллы обладают довольно высокой термостойкостью, способны выдерживать нагрев до температуры 65 °C с выдержкой до 30 минут и даже кратковременную пастеризацию при 72–76 °C в течение 20 секунд, принятую в сыроделии [10,41]. Клетки этих микроорганизмов инактивируются, но в процессе выработки сыров восстанавливаются. В связи с тем, что при изготовлении сыров с низкотемпературным вторым нагреванием температура не превышает 42 °C, развитие мезофильных палочек не только не тормозится, но может и продолжаться, так как верхняя температурная граница их роста составляет 40–45 °C [26]. Так, в частности, при изучении развития штаммов *L. rhamnosus* установлено, что они способны расти как в температурном диапазоне от 15 °C до 45 °C, так и при снижении температуры до 8–11 °C; но 2 из 6 штаммов не развивались при температуре 52 °C, и все исследованные культуры не росли при температуре 58 °C [42]. Лактобациллы не прекращают своего развития и в процессе созревания сыров, поскольку температурный режим созревания большинства сыров (10–14) °C совпадает с их нижней границей роста.

Кроме молока источником лактобацилл в сырах может быть окружающая среда, с которой контактирует продукт — оборудование, инвентарь, трубопроводы, рассол, т. е. автохтонная микрофлора предприятия. Степень обсемененности сыров лактобациллами из этих источников зависит от многих факторов: от количества и от термостойкости культур, присутствующих в сыром молоке, от уровня санитарии и от гигиены на предприятии [10,43]. Бразильские ученые исследовали образцы молока на различных этапах цепи поставок: от охлажденного сырого молока на ферме до пастеризованного продукта. Было обнаружено, что популяция незаквасочных лактобацилл увеличивалась на всех этапах, даже после пастеризации. Так, в процессе транспортировки количество бактерий возросло на 1,5 порядка (с 2,1 log КОЕ/мл до 3,6 log КОЕ/мл), достигая 4,4 log КОЕ/мл в заводских танках хранения. Авторы предполагают, что сохранение высокой концентрации бактерий после термической обработки может быть обусловлено вторичной контаминацией из-за недостаточной гигиены оборудования или терморезистентностью микрофлоры сырого молока [44].

Незаквасочные молочнокислые палочки развиваются и в полутвердых, и в твердых сырах с высокой температурой второго нагревания. Так, в итальянском сыре Parmigiano Reggiano популяция незаквасочных лактобацилл в основном представлена *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus rhamnosus* и *Pediococcus acidilactici*. Также на разных стадиях созревания были обнаружены *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Обзор Gatti и др. [45], обобщающий данные об элитных итальянских сырах, свидетельствует о преобладании в них мезофильных бактерий, в том числе *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus harbinensis* и *Pediococcus acidilactici*. Авторы исследования изучали динамику развития незаквасочных молочнокислых бактерий из сырого молока и их влияние на характеристики сыров.

Однако разнообразие видов и штаммов незаквасочных молочнокислых палочек в сырах и их влияние на органолептические показатели сыров непредсказуемо. Но отобранные автохтонные культуры с изученными свойствами демонстрируют позитивное влияние на качество и безопасность сыров. В процессе производства опытных партий сыра Pecorino Crotonese применялись автохтонные мезофильные молочнокислые палочки *L. casei* и *L. plantarum*, предварительно выделенные из этого сыра, идентифицированные и отобранные по ферментативной активности. Использование таких культур положительно повлияло на общее качество сыра в сравнении с контрольными образцами, выработанными с применением коммерческой мезо-термофильной закваски. Сыры отличались по концентрации свободных аминокислот и некоторых летучих компонентов: 2-метил-1-пропанола, 2-метил-1-бутанола, изомасляной,

изовалериановой и изокапроновой кислот. Плотность популяции добавленных культур в сырах практически не изменялась в течение 120 дней созревания и находилась на уровне от 7,55 до 7,94 log КОЕ в 1 г [46].

Изучение влияния культуры *L. rhamnosus* на протеолиз в сыре Эдам [47] также подтвердило усиление протеолиза и пептидолиза в процессе созревания сыра, в котором уровень растворимых в трихлоруксусной кислоте азотистых соединений в общем азоте через 10 недель созревания был практически в 2 раза выше и составил 11,87% по сравнению с 6,24% в контрольном сыре без внесения этой дополнительной культуры.

В результате изучения технологически важных свойств аборигенных молочнокислых бактерий, выделенных из итальянских и бразильских сыров, были выбраны 3 штамма, идентифицированные как *L. lactis*, *L. delbrueckii* и *L. rhamnosus*, для включения в состав вспомогательных культур с учетом совокупности таких свойств, как солеустойчивость, низкой кислотообразующая и липолитическая активности, образованию диацетила и активности аминопептидазы. Высокая активность аминопептидазы N и X, обнаруженная у этих штаммов, способна улучшить органолептические показатели сыров, а синергетический эффект аминопептидаз N и X этих штаммов может привести к восстановлению горьких пептидов, образующихся при участии монокосвертывающих ферментов при выработке и созревании сыров [48]. Авторы планируют подтвердить выявленное в экспериментальных условиях улучшение качества сыров с использованием полученных штаммов в пилотном и промышленном масштабе.

В стремлении сохранить уникальные характеристики традиционного горного сыра (Mountain cheese) и избежать стандартизации органолептических свойств, привносимой коммерческими заквасками, авторы Сага и др. [49] использовали автохтонные штаммы. В качестве основной закваски были выбраны *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 68 и *Streptococcus thermophilus* 93, а в качестве дополнительной культуры — *Lacticaseibacillus rhamnosus* BT68. Эти штаммы были предварительно выделены из данного сыра и всесторонне исследованы, в том числе на предмет полезных для здоровья свойств. Традиционный горный сыр производится из сырого молока на небольших фермах (называемых Malga) в альпийских районах региона Трентино (Северо-Восточная Италия) без внесения коммерческих заквасок, процесс ферментации осуществляется микроорганизмами сырого молока и окружающей среды Malga. В связи с этим сыр отличается переменчивым составом микрофлоры, процесс изготовления вариативен, и очень часто посторонние бактерии способствуют порче сыра, что приводит к экономическим убыткам. Авторы отмечают, что сыроделы хотели бы использовать коммерческие закваски, чтобы лучше контролировать процесс брожения, подчеркивая эффективность коммерческих заквасок с точки зрения обеспечения безопасности, но в то же время существует большой риск утраты уникальности Горного сыра и превращения его в стандартный продукт. Используемая комбинация автохтонных культур ускоряла молочнокислый процесс в течение первых суток, снижала содержание энтеробактерий по сравнению с контрольным сыром без добавленных культур, усиливала выработку конъюгированной линолевой кислоты и улучшала общую органолептическую оценку продукта [49].

В связи с потенциальной угрозой безопасности и качеству сыров, производимых из непастеризованного молока, ученые Araújo-Rodrigues и др. исследовали производственные и защитные свойства 11 штаммов молочнокислых бактерий. Эти штаммы были выделены из традиционного португальского сыра Serra (PDO), изготавливаемого из сырого овечьего молока. Целью исследования являлась разработка автохтонной закваски, предназначенной специально для этого сорта сыра, что позволило бы сохранить его уникальные характеристики [50]. Авторы полагают, что решение проблем качества и безопасности сыров может заключаться в добавлении автохтонной закваски, которая обеспечит оптимизацию процесса выработки сыра и доминирование отобранной полезной микрофлоры. Результаты исследования биохимических процессов в опытных сырах позволили отобрать два штамма *Lactiplantibacillus plantarum* PL1 и PL4 и один штамм *Lacticaseibacillus paracasei*, проявлявшие протеолитическую и липолитическую активность, устойчивость к соли и температурным режимам выработки и созревания, а также антимикробный эффект в отношении опасных микроорганизмов. Этот традиционный сыр имеет большое экономическое и культурное значение в Португалии благодаря долгой истории производства. Применение коммерческих заквасок для сыров PDO запрещено португальским законодательством, поэтому исследователи считают, что специальная закваска из автохтонных культур позволит вывес-

ти на рынок новые сыры с органолептическими характеристиками, приближенными к показателям сыра Serra, но улучшенными с точки зрения безопасности.

Разнообразные молочнокислые палочки были выделены из итальянского сыра Nicastrese, вырабатываемого из сырого козьего молока без добавления заквасок [51]. Из образцов молока и сыров с четырех ферм были выделены и идентифицированы 720 изолятов, отнесенных в основном к *Lactococcus lactis*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lacticaseibacillus casei*, *Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc mesenteroides* и *Enterococcus faecalis*. Результаты выявили высокую вариабельность между образцами в составе микробиоты, в содержании летучих органических соединений и в органолептических характеристиках. Анализ летучих органических соединений позволил идентифицировать 36 веществ, среди которых свободные жирные кислоты и кетоны были основными, за ними следовали спирты и сложные эфиры. Статистический анализ выявил достоверную зависимость между концентрацией сложных эфиров, спиртов и альдегидов с лактобациллами незаквасочного происхождения, доказывающую влияние развивающихся в сырах видов *L. casei*, *L. plantarum* и *L. brevis* на образование летучих органических соединений в зрелых сырах.

Представляет интерес и информация о возможности контроля роста опасного микроорганизма *Listeria monocytogenes* во время хранения свежего сыра, изготовленного в лабораторных условиях с использованием шести штаммов *Lactococcus lactis* и семи штаммов *Lactiplantibacillus plantarum*, выделенных из кустарных молочных продуктов Сардинии, в качестве защитных культур. Перед использованием была проведена оценка антимикробной активности штаммов и их технологических характеристик. Установлено, что три штамма *Lactococcus lactis* и 2 штамма *Lactiplantibacillus plantarum* снижают количество клеток листерий в опытных сырах на 3–4 порядка по сравнению с контрольными, и авторы сочли их перспективными для использования в виде вспомогательных культур для обеспечения безопасности сыров [52]. Кроме того, эти автохтонные штаммы, используемые в качестве биоконсервантов, могут представлять собой полезный инструмент для защиты микробного биоразнообразия, присутствующего на территории Сардинии. По мнению исследователей, изученные автохтонные культуры можно рассматривать и как способ защиты, и для сохранения микробного биоразнообразия, существующего на территории Сардинии.

Основной целью многочисленных исследований автохтонной микрофлоры традиционных сыров из сырого молока является сохранение практики их производства как важных национальных продуктов. Только во Франции представлено почти 1000 различных сортов сыра, в том числе 45 сортов, зарегистрированных в рамках Защищенного наименования по происхождению (PDO) — европейской программы охраны, которая охватывает традиционные методы производства сыра. Одной из основных характеристик сыров PDO, вырабатываемых из сырого или пастеризованного молока, является то, что они содержат уникальный, характерный для конкретных условий, сложный микробный консорциум. Именно метаболическая активность сформировавшейся микробиоты приводит к получению оригинальных узнаваемых продуктов, которые высоко ценят во всем мире. Но после изучения влияния новых выделенных культур лактобацилл практически все авторы высказывают мнение о возможности их использования в составе коммерческих заквасок для разных ферментированных молочных продуктов.

Благодаря широкому распространению лактобацилл в природных и производственных средах обитания [26] и в связи с отсутствием промышленного или кустарного производства сыров из сырого молока отечественные ученые используют другие источники выделения лактобацилл. Перспективными источниками для выделения лактобацилл являются самоквасные кисломолочные продукты, сырое молоко, растения [54–56]. Следует отметить, что хорошим источником для получения чистых культур молочнокислых палочек, перспективных для использования при производстве сыров, являются сыры высокого качества, выработанные из пастеризованного молока, при выработке которых не использовались поливидовые бактериальные закваски с лактобациллами или дополнительные лактобациллы. В таких сырах незаквасочные лактобациллы проходят селекционный отбор под влиянием условий технологического процесса *in situ*. Так, штамм *Lactiplantibacillus plantarum*, обладающий антагонистическим действием на маслянокислые бактерии из коллекции микроорганизмов ВНИИМС и использующийся до настоящего времени в составе серийно выпускаемых заквасок для сыроделия, был выделен в 1960-е годы Алексеевой и др. [36] из высококачественного Костромского сыра.

5.2. Лактобациллы в низкожирных сырах

Следует рассмотреть еще один перспективный вариант применения лактобацилл и других представителей заквасочной микрофлоры — улучшение сенсорных характеристик низкожирных сыров. Эта группа сыров востребована потребителями, ведущими здоровый образ жизни и контролирующими количество поступающих с пищей калорий. Но сыры с пониженной жирностью существенно уступают в качестве жирным сырам с содержанием молочного жира 45% и 50%. Они, как правило, имеют слабовыраженный сырный, кислый, иногда с горечью вкус и аромат, плотную грубоватую текстуру. Считается, что проблемы вкуса и аромата, а также консистенции нежирных сыров обусловлены именно пониженным содержанием молочного жира. При этом такие сыры могут с большой пользой для здоровья дополнить сбалансированный рацион питания [57]. Одним из способов повышения потребительских качеств низкожирных сыров является использование при их производстве специально отобранных дополнительных культур, обладающих повышенной протеолитической и липолитической активностью.

В работе Вахрушевой выявлено положительное влияние двух дополнительных культур *Lactocaseibacillus casei* и *Lactobacillus helveticus* из коллекции микроорганизмов экспериментальной биофабрики ВНИИМС на органолептические показатели сыра с массовой долей жира 30% в пересчете на сухое вещество [58]. В ходе исследования было выявлено, что скорость отмирания лактококков основной закваски в контрольном сыре без лактобацилл была выше, чем в опытных образцах, начиная с 30 суток созревания. При этом в опытных сырах наблюдалось более высокое содержание низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот, что свидетельствует о более интенсивном протеолизе в присутствии *Lactobacillus helveticus* по сравнению с *Lactocaseibacillus casei*. Добавление обоих видов лактобацилл привело к снижению условной твердости сыров по сравнению с контролем. Экспериментальные сыры имели более высокие органолептические показатели, но автор отметила, как недостаток наличие пряного привкуса в сыре с дополнительной культурой *Lactobacillus helveticus*, хотя такой оттенок во вкусовом букете сыра можно позиционировать как отличительный нюанс.

Исследованиями Свириденко и др., проведенными при выработке сыров с массовой долей жира 20% в пересчете на сухое вещество, также установлено увеличение глубины протеолиза при использовании вспомогательных культур мезофильных лактобацилл вида *Lactocaseibacillus casei* и пропионовых бактерий вида *Propionibacterium freudenreichii*, которое привело к образованию выраженного сырного вкуса и аромата, к улучшению вкусоароматического профиля экспериментальных сыров [59]. По мнению авторов, дополнительные культуры в совокупности с технологическими приемами приближают потребительские свойства сыра с массовой долей жира 20% к показателям сыра с жирностью 45%.

Целенаправленный скрининг культур мезофильных и термофильных лактобацилл из республиканской коллекции промышленных штаммов заквасочных культур (Республика Беларусь) путем определения биохимической активности для применения при выработке сыров пониженной жирности позволил отобрать 2 штамма *Lactocaseibacillus paracasei*, по 1 штамму *Lactocaseibacillus rhamnosus* и *Lactocaseibacillus casei*, а также 3 штамма *Lactobacillus helveticus* с высокой протеолитической активностью, сохраняющейся при низких температурах созревания сыров [60]. Эти культуры не проявили липолитическую активность *in vitro*, определяемую методом диффузии в агар с глицерин трибутиратом. Однако, возможно, в условиях *in situ*, складывающихся при созревании сырной массы, культуры проявят способность гидролизовать молочный жир. Высокая протеолитическая активность обнаружена и Китаевской и др. [61] при изучении протеолитической активности лактобацилл, причем два штамма *Lactocaseibacillus casei* и один штамм *Limosilactobacillus fermentum* обладали широким диапазоном внеклеточной протеолитической активности при различных уровнях активной кислотности и эффективно гидролизовали не только модельные субстраты (казеин, альбумин и гемоглобин), но и белки молока и мясного сырья.

5.3. Пробиотические свойства лактобацилл

Проведение масштабных исследований лактобацилл обусловлено не только их высокой протеолитической активностью и положительным влиянием на качество сыров, включая формирование разнообразных вкусовых оттенков, но и их признанием в качестве пробиотических микроорганизмов. Доказано, что лактобациллы способствуют укреплению здоровья человека и животных. Потребление ферментированных продуктов, обогащенных пробиотическими бактериями, оказывает благотворное влияние на здоровье человека

благодаря нескольким механизмам: прямому воздействию живых микробных клеток (пробиотический эффект), косвенному влиянию через вторичные метаболиты с полезными свойствами, продуцируемые бактериями в процессе ферментации (постбиотический эффект), а также комплексному воздействию, обусловленному синергическим действием живых бактерий и их метаболитов [53,62,63].

Многие микроорганизмы, отнесенные в настоящее время к пробиотикам, являются молочнокислыми бактериями. Очевидно, это обусловлено тем, что лактобациллы входят в состав микрофлоры желудочно-кишечного тракта человека и животных. Пробиотические молочнокислые бактерии являются нормальной микрофлорой молока, кисломолочных, молочных продуктов и сыра. В молочных продуктах широко распространено использование пробиотических лактобацилл видов *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactocaseibacillus casei*, *Lactocaseibacillus paracasei*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus johnsonii*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactocaseibacillus rhamnosus*, *Limosilactobacillus reuteri*, *Lactobacillus salivarius*.

За последние 20 лет в разных странах мира проведено невероятное количество исследований о влиянии лактобацилл на здоровье человека. Установлено, что лактобациллы обладают разнообразными биологическими свойствами, подавляют развитие патогенных микроорганизмов, принимают участие в различных процессах метаболизма в организме людей и животных. Этой теме посвящено много исследовательских и обзорных статей, например, обзоры Coelho и др. [63], Загайновой и др. [64], Petrova и др. [65]. В данной статье мы не ставили целью подробное рассмотрение этого вопроса. Считаем целесообразным отметить, что в ряде работ, посвященных изучению микрофлоры сыров и дополнительных, в т. ч. автохтонных культур молочнокислых палочек и других видов бактерий, показано, что сыры могут квалифицироваться как функциональные продукты, доставляющие в организм человека живые полезные бактерии и продукты их метаболизма, а также подавлять рост патогенов [8,17,47,53].

Так, в рассольных, свежих и твердых сырах и в кисломолочных продуктах, отобранных в домохозяйствах Сербии, Хорватии, Словении, Боснии и Герцеговины, Черногории и Северной Македонии, выявлено большое разнообразие лактобацилл: выделено 28 видов и 3000 штаммов, относящихся к родам *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* и *Weissella*. Культуры исследованы и по пробиотическим свойствам, включая продуцирование бактериоцинов, подавление патогенных бактерий, агрегационную способность, а также иммуномодулирующий эффект. Многие штаммы обладали комплексом ценных свойств, представляющих научный и практический интерес для создания новых заквасок функциональных кисломолочных продуктов [67].

Использование при производстве сыра Эдам в промышленных условиях пробиотических культур *Lactobacillus acidophilus* NCFM и *Lactobacillus rhamnosus* HN001 привело к небольшим изменениям в его химическом составе. Среднее количество лактобацилл незаквасочного происхождения в контрольных сырах составило 3,16 log КОЕ/г и было значительно ниже, чем в экспериментальных, в которых количество лактобацилл выросло до 8,3 log КОЕ/г. Количество жизнеспособных клеток пробиотиков к концу созревания сыра сократилось незначительно (примерно на 1 порядок) и составило около 7,0 log КОЕ/г. Для подтверждения принадлежности лактобацилл к видам *L. rhamnosus* и *L. acidophilus* после посева на селективные среды были выделены по пять колоний, идентификация которых методом ПЦР подтвердила принадлежность к исходным видам. С учетом низкого содержания незаквасочных лактобацилл в сырах это доказывает развитие и высокую концентрацию именно пробиотических культур. Было сделано предположение, что ежедневное употребление 80–100 г такого продукта может быть полезным для здоровья [47].

В связи с доказанным широким спектром полезных свойств молочнокислых бактерий во всем мире ведется поиск перспективных штаммов для разработки функциональных продуктов питания и пробиотических препаратов, предполагающих исследование микрофлоры традиционных сыров из непастеризованного молока и других ферментированных пищевых продуктов, а также из различных природных источников и микрофлоры человека, в которых присутствуют молочнокислые бактерии.

6. Заключение

Одной из проблем в отечественном сыроделии является определенная унифицированность сенсорных показателей сыров из пастеризованного молока с использованием коммерческих бактериальных заквасок определенного штаммового состава и узкий видовой спектр дополнительных культур лактобацилл. Многочисленные

зарубежные исследования микробиоты традиционных сыров из сырого молока показывают неоспоримую зависимость индивидуальных особенностей разнообразных сортов сыра от состава, от свойств и от активности автохтонной микробиоты, формирующейся в терруарах в разных регионах и странах. Сыры из непастеризованного молока характеризуются вариабельностью качества, однако представляют собой богатый источник разнообразных микроорганизмов. В частности, из них выделено множество штаммов лактобацилл и других видов, обладающих технологически ценными свойствами: протеолитической и липолитической активностью, протективным действием против микроорганизмов порчи и патогенных бактерий, а также пробиотическим потенциалом. Продемонстрирована возможность использования сыров в качестве источника пробиотиков

и их метаболитов. Перспективным направлением в развитии отечественного промышленного сыроделия, в улучшении органолептических показателей и расширении ассортимента выпускаемых сыров является поиск новых видов и штаммов лактобацилл для разработки новых отечественных дополнительных заквасок. Следует отметить, что глобальное изменение таксономии лактобацилл в 2020 году, существенно затронувшее их номенклатуру, имеет принципиальное значение для исследований свойств лактобацилл, а также для выбора и использования бактериальных заквасок в производстве сыра. В результате реформы было объединено два семейства *Lactobacillaceae* и *Leuconostocaceae*, а род *Lactobacillus* разделен на 23 рода. Требуется внесение изменений в целый ряд нормативных документов и стандартов, в которых упоминаются лактобациллы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Лепилкина, О. В., Григорьева, А. И. (2023). Ферментативный протеолиз при преобразовании молока в сыр. *Пищевые системы*, 6(1), 36–45. [Lepilkina O. V., Grigorieva A. I. (2023). Enzymatic proteolysis during the conversion of milk into cheese. *Food Systems*, 6(1), 36–45. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-36-45>
2. McSweeney, P.L.N., Cotter, P.D., Everett, D.W. (2017). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Academic Press, 2017.
3. Chessa, L., Paba, A., Daga, E., Dupré, I., Piga, C., Di Salvo, R. et al. (2021). Autochthonous natural starter cultures: A chance to preserve biodiversity and quality of Pecorino Romano PDO Cheese. *Sustainability*, 13(15), Article 8214. <https://doi.org/10.3390/su13158214>
4. Rozos, G., Voudarou, C., Stavropoulou, E., Skoufos, I., Tzora, A., Alexopoulos, A. et al. (2018). Biodiversity and microbial resistance of lactobacilli isolated from the traditional greek cheese kopanisti. *Frontiers in Microbiology*, 9, Article 517. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00517>
5. Tsisaryk, O., Slyvka I., Musiy, L. (2017). Screening of technological properties of natural strains of lactic acid bacteria. *Scientific Messenger LNUVMB*, 19(80), 88–92.
6. Vos, P., Garrity, G. M., Jones, D., Krieg, N. R., Ludwig, W., Rainey, F. A. et al. (2009). *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Springer New York, NY, 2009.
7. Abarquero, D., Duque, D., Bodelón, R., López, I., Muñoz, J., María Fresno, J. et al. (2024). Autochthonous cultures to improve the quality of PGI Castellan cheese: Impact on proteolysis, microstructure and texture during ripening. *Food Research International*, 186, Article 114306. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114306>
8. Margalho, L. P., Jorge, G. P., Noletto, D. A. P., Silva, C. E., Abreu, J. S., Piran, M. V. F. et al. (2021). Biopreservation and probiotic potential of a large set of lactic acid bacteria isolated from Brazilian artisanal cheeses: From screening to in product approach. *Microbiological Research*, 242, Article 126622. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126622>
9. Çetin, B., Usal, M., Aloglu, H. Ş., Busch, A., Dertli, E., Abdulmajid, A. (2024). Characterization and technological functions of different lactic acid bacteria from traditionally produced Kırklareli white brined cheese during the ripening period. *Folia Microbiologica*, 5. <https://doi.org/10.1007/s12223-024-01141-8>
10. Гудков, А.В. (2004). Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. М.: ДеЛи принт, 2004. [Gudkov, A.V. (2004). *Cheese making: Technological, biological and physico-chemical aspects*. Moscow: Dely print, 2004. (In Russian)]
11. Елисева, Т. (2020). Бактериальные культуры «Crealat» и натуральные ферменты «Creapren» — ваш успех в производстве сыров. *Сыроделие и маслоделие*, 2, 28–29. [Eliseeva, T. (2020). Bacterial cultures “Crealat” and natural enzymes “Creapren” — your success in cheese production. *Cheese- and Buttermaking*, 2, 28–29. (In Russian)]
12. Кашина, Е. Д. (2020). Возможности расширения горизонтов. *Сыроделие и маслоделие*, 3, 33–35. [Kashina, E.D. (2020). Opportunities for expanding horizons. *Cheese- and Buttermaking*, 3, 33–35. (In Russian)]
13. Siedler, S., Rau, M. H., Bidstrup, S., Vento, J. M., Aunsbjerg, S. D., Bosma, E. F. et al. (2020). Competitive exclusion is a major bioprotective mechanism of lactobacilli against fungal spoilage in fermented milk products. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(7), Article e02312–19. <https://doi.org/10.1128/AEM.02312-19>
14. Chr. Hansen. (2021). Chr. Hansen представляет новое поколение защитных культур FreshQ® для молочных продуктов. *Молочная промышленность*, 6, 30–31. [Chr. Hansen. (2021). Chr. Hansen presents a new generation of protective crops FreshQ® for dairy products. *Dairy Industry*, 6, 30–31. (In Russian)]
15. Жданеева, Н. П., Рыбченко, Т. В. (2019). Защитные культуры «Crealat» для сохранения качества молочных продуктов. *Молочная промышленность*, 12, 44–45. [Zhdaneeva, N.P., Rybchenko, T.V. (2019). Protective cultures “Crealat” to preserve milk products quality. *Dairy Industry*, 12, 44–45. (In Russian)]
16. Келяшова, Ю. (2017). Опыт применения защитных культур в производстве полутвердых сыров. *Сыроделие и маслоделие*, 4, 38–39. [Kelyashova, Yu. (2017). Experience of applying protective cultures in the semi-hard cheese production. *Cheese- and Buttermaking*, 4, 38–39. (In Russian)]
17. Hadeef, S., Idoui, T., Sifour, M., Genay, M., Dary-Mourrot, A. (2023). Screening of wild lactic acid bacteria from Algerian traditional cheeses and goat butter to develop a new probiotic starter culture. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 15(2), 387–399. <https://doi.org/10.1007/s12602-022-10000-2>
18. Мордвинова, В. А., Свириденко, Г.М. (2015). Факторы, влияющие на качество сыров типа «Маасдам». *Сыроделие и маслоделие*, 3, 28–30. [Mordvinova, V.A., Sviridenko, G.M. (2015). The factors affecting quality of the cheese of the “Maasdam” type. *Cheese- and Buttermaking*, 3, 28–30. (In Russian)]
19. Орлова, Т.Н., Функ, И.А., Отт, Е.Ф., Дорофеев, Р.В. (2020). Пропионовые кислоты бактерии и их значение. *Сыроделие и маслоделие*, 1, 28–29. [Orlova, T.N., Funk, I.A., Ott, E.F., Dorofeev, R.V. (2020). Propionic acid bacteria and their significance. *Cheese- and Buttermaking*, 1, 28–29. (In Russian)] <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2020-1-28-29>
20. Сорокина, Н.П., Кураева, Е.В., Шпак, А.В. (2021). Состав и свойства заквасочной микрофлоры для полутвердых сыров. *Сыроделие и маслоделие*, 3, 42–46. [Sorokina, N.P., Kuraeva, E.V., Shpak, A.V. (2021). Composition and properties of starter microflora for semi-hard cheeses. *Cheese- and Buttermaking*, 3, 42–46 (In Russian)] <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2021-3-42-46>
21. Леванова, Г.Ф., Ефимов, Е.И. (2009). Фенотаксономия и геносистематика лактобацилл. Н. Новгород: изд. Ю. А. Николаев, 2009. [Levanova, G.F., Efimov, E.I. (2009). Phenotaxonomy and genosystematics of lactobacilli. Nizhny Novgorod: Publishing house of Yu. A. Nikolaev, 2009.]
22. Mattarelli, P., Holzapfel, W., Franz, C. M. A. P., Endo, A., Felis, G. E., Hammes, W. et al. (2014). Recommended minimal standards for description of new taxa of the genera *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* and related genera. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(4), 1434–1451. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.060046-0>
23. Ботина, С. Г. Климина, К. М., Коробан, Н.В., Америкханова, А. М., Зинченко, В.В., Даниленко, В.Н. (2010). Реклассификация отечественных пробиотических культур рода *Lactobacillus*. *Генетика*, 46(11), 1485–1492. [Botina, S.G., Klimina, K.M., Danilenko, V.N., Koroban, N.V., Zinchenko, V.V., Amerkhanova, A.M. (2010). Revised classification of native probiotic strains of lactobacillus used in Russian Federation. *Russian Journal of Genetics*, 46(11), 1485–1492. (In Russian)]
24. Skerman, V. B. D., Sneath, P. H. A., McGowan, V. (1980). Approved lists of bacterial names. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 30(1), 225–420. <https://doi.org/10.1099/00207713-30-1-225>
25. Oberg, T. S., McMahon, D. J., Culumber, M. D., McAuliffe, O., Oberg, C. J. (2022). Invited review: Review of taxonomic changes in dairy-related Lactobacilli. *Journal Dairy Sciences*, 105(4), 2750–2770. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21138>
26. Salvetti, E., Harris, H. M. B., Felis, G. E., O'Toole, P. W. (2018). Comparative genomics of the genus *Lactobacillus* reveals robust phylogroups that provide the basis for reclassification. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(17), Article e00993–18.
27. Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M. A. P., Harris, H. M. B., Mattarelli, P. et al. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.004107>
28. Pot, B., Salvetti, E., Mattarelli, P., Felis, G. E. (2019). The potential impact of the *Lactobacillus* name change: The results of an expert meeting organised by the Lactic Acid Bacteria Industrial Platform (LABIP). *Trends in Food Science and Technology*, 94, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.006>
29. Будинов, Л.Т. (1908). Сравнительное изучение бактериального населения сыров русско-швейцарского и эментальского. *Вестник Бактериолого-агрономической станции*, 14, 43–97. [Budinov, L.T. (1908). Comparative study of the bacterial population of Russian-Swiss and Emmental cheeses. *Herald of the Bacteriological and Agronomic Station*, 14, 43–97. (In Russian)]
30. Королёв, С.А. (1924). Микрофлора процесса созревания русского бакштейна. *Труды Вологодского Молочно-Хозяйственного Института*, 2(4), 111–126. [Korolev, S. A. Korolev, S.A. (1924). Microflora of the ripening process of Russian Backstein. *Proceedings of the Vologda Dairy Farming Institute*, 2(4), 111–126. (In Russian)]
31. Богданов, В. (1935). Применение протеолитически активных рас молочнокислых микробов (типа *Bact. casei*) для ускорения созревания сыров. *Молочная промышленность*, 2(5), 15–18. [Bogdanov, V. (1935). The use of proteolytically active races of lactic acid microbes (*Bact. casei* type) for acceleration of cheese ripening. *Dairy Industry*, 2(5), 15–18. (In Russian)]
32. Рунов, Е.В. (1947). Подбор бактериальных заквасок для голландского сыра. М.: Пищепромиздат, 1947. [Runov, E.V. (1947). Selection of bacterial starter cultures for Dutch cheese. Moscow: Pischepromizdat, 1947. (In Russian)]
33. Бударина, М.Н., Калинина, Г.А., Трофимова, Т.И. (1967). Применение молочнокислых палочек при выработке сыра с низкой температурой второго нагревания. *Молочная промышленность*, 9, 23–25. [Budarina, M.N., Kalinina, G.A., Trofimova, T.I. (1967). The use of lactobacilli in production of cheeses with low temperature of the second heating. *Dairy Industry*, 9, 23–25. (In Russian)]

34. Дьяченко, П.Ф., Шидловская, В.П. (1966). Исследование казеинолитической активности молочнокислых бактерий. *Прикладная биохимия и микробиология*, 2(3), 239–247. [D'yachenko, P.F., Shidlovskaya, V.P. (1966). Study of the caseinolytic activity of lactic acid bacteria. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2(3), 239–247. (In Russian)]
35. Диланян, З.Х., Туманян, В.А. (1968). Накопление свободных аминокислот протеолитически активными молочнокислыми палочками. *Биологический журнал Армении*, 21(8), 37–42. [Dilanyan, Z.H., Tumanyan, V. A. (1968). Accumulation of free amino acids by proteolytically active lactobacilli. *Biological Journal of Armenia*, 21(8), 37–42. (In Russian)]
36. Гудков, А.В., Алексеева, К.П. (1970). Взаимодействие молочнокислых палочек и маслянокислых бактерий, вызывающих порчу сыра. *Молочная промышленность*, 1, 25–28. [Gutkov, A.V., Alekseeva, K.P. (1970). Interaction of lactobacilli and butyric acid bacteria causing cheese spoilage. *Dairy Industry*, 1, 23–29. (In Russian)]
37. Шетинин, М.П. (2021). Развитие отечественного сыроделия в условиях санкционной политики Евросоюза. *Сыроделие и маслоделие*, 5, 4–7. [Shchetin, M.P. (2021). Development of domestic cheese making in the context of the EU sanctions policy. *Cheese- and Buttermaking*, 5, 4–7. (In Russian)] <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2021-5-4-7>
38. Мордвинова, В.А. (2021). Актуальные вопросы ассортиментной политики сыродельного предприятия. *Сыроделие и маслоделие*, 5, 8–9. [Mordvinova, V.A. (2021). Actual questions of assortment policy of a cheese making enterprise. *Cheese- and Buttermaking*, 5, 8–9. (In Russian)] <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2021-5-8-9>
39. Markusková, B., Lichvariková, A., Szemes, T., Koreňová, J., Kuchta, T., Drahovská, H. (2018). Genome analysis of lactic acid bacterial strains selected as potential starters for traditional Slovakian bryndza cheese. *FEMS Microbiology Letters*, 365(23), Article 15257. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny257>
40. Choi, J., In Lee, S., Rackerby, B., Frojen, R., Goddik, L., Ha, S.-D. et al. (2020). Assessment of overall microbial community shift during Cheddar cheese production from raw milk to aging. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(14), 6249–6260. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10651-7>
41. Wilbey, R.A. (2014). Heat treatment of foods. Principles of Pasteurization. Chapter in book: *Encyclopedia of Food Microbiology* (Second Edition). Academic Press, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00159-2>
42. Кирик, И.В., Казак, А.Н., Василенко, С.Л., Фурик, Н.Н. (2016). Изучение физиолого-биохимических свойств бактерий *Lactobacillus rhamnosus* и *Lactobacillus fermentum* для обеспечения их промышленного культивирования. *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*, 10, 86–100. [Kirik, I., Kazak, A., Vasylenko, S., Furik, N. (2016). Studies of the physiological and biochemical properties of *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus fermentum* bacteria to ensure their industrial cultivation. *Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials*, 10, 86–100. (In Russian)]
43. Gobetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., Mancini, L., Fox, P. F. (2015). Pros and cons for using non-starter lactic acid bacteria (NSLAB) as secondary/adjunct starters for cheese ripening. *Trends in Food Science and Technology*, 45(2), 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.016>
44. de Souza, M. T. P., Fagnani, R., Aragon Alegro, L. C., de Santana, E. H. W. (2024). Non-starter lactic acid bacteria and citrate fermenting bacteria in milk supply chain: Are they easily controlled? *International Dairy Journal*, 149, Article 105839. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105839>
45. Gatti, M., Bottari, B., Lazzi, C., Neviani, E., Mucchetti, G. (2014). Invited review: Microbial evolution in raw-milk, long-ripened cheeses produced using undefined natural whey starters. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 573–591. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-17187>
46. De Pasquale, I., Di Cagno, R., Buchin, S., De Angeli, S. M., Gobetti, M. (2019). Use of autochthonous mesophilic lactic acid bacteria as starter cultures for making Pecorino Crotonese cheese: Effect on compositional, microbiological and biochemical attributes. *Food Research International*, 116, 1344–1356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.024>
47. Aljewicz, M., Cichosz, G., Nalepa, B., Kowalska, M. (2014). Influence of probiotics on proteolysis of edam cheese. *Food Technology and Biotechnology*, 52(4), 439–447. <https://doi.org/10.17113/ftb.52.04.14.3659>
48. Nicosia, F.D., Pino, A., Maciel, G.L.R., Sanfilippo, R.R., Caggia, C., de Carvalho, A.F. et al. (2023). Technological characterization of lactic acid bacteria strains for potential use in cheese manufacture. *Foods*, 12(6), Article 1154. <https://doi.org/10.3390/foods12061154>
49. Carafa, I., Stocco, G., Franceschi, P., Summer, A., Tuohy, K.M., Bittante, G. et al. (2019). Evaluation of autochthonous lactic acid bacteria as starter and non-starter cultures for the production of Traditional Mountain cheese. *Food Research International*, 115, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.069>
50. Araújo-Rodrigues, H., dos Santos, M. T. P. G., Ruiz-Moyano, S., Tavaría, F. K., Martins, A. P. L., Alvarenga, N. et al. (2021). Technological and protective performance of LAB isolated from Serpa PDO cheese: Towards selection and development of an autochthonous starter culture. *LWT*, 150, Article 112079. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112079>
51. Pino, A., Liotta, L., Randazzo, C.L., Todaro, A., Mazzaglia, A., De Nardo, F. et al. (2018). Polyphasic approach to study physico-chemical, microbiological and sensorial characteristics of artisanal Nicastrese goat's cheese. *Food Microbiology*, 70, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.09.005>
52. Pisano, M.B., Fadda, M.E., Viale, S., Deplano, M., Mereu, F., Blažič, M. et al. (2022). Inhibitory effect of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lactococcus lactis* autochthonous strains against *Listeria monocytogenes* in a laboratory cheese model. *Foods*, 11(5), Article 715. <https://doi.org/10.3390/foods11050715>
53. Behera, S. S., Ray, R. C., Zdolec, N. (2018). *Lactobacillus plantarum* with functional properties: An approach to increase safety and shelf-life of fermented foods. *BioMed Research International*, 2018, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2018/9361614>
54. Сорокина, Н.П., Кучеренко, И.В., Бруцкая, А.Л. (2022). Выделение и идентификация молочнокислых палочек, перспективных для сыроделия. *Сыроделие и маслоделие*, 5, 38–41. [Sorokina, N.P., Kucherenko, I.V., Brutskaia, A.L. (2022). Isolation and identification of lactic acid sticks promising for cheesemaking. *Cheese- and Buttermaking*, 5, 38–41. (In Russian)] <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2022-5-38-41>
55. Кабисов, Р.Г., Козонова, С.Т., Рамонова, Э.В., Рехвиашвили, Э.И., Ваниев, А.Г. (2020). Выделение молочнокислых бактерий из растительных субстратов. *Известия Горского государственного аграрного университета*, 57(2), 145–151. [Kabisov, R.G., Kozonova, S.T., Ramonova, E.V., Rekhviashvili, E.I., Vaniev, A.G. (2020). Isolation of lactic acid bacteria from vegetal substrates. *Proceedings of Gorskoy State Agrarian University*, 57(2), 145–151. (In Russian)]
56. Барейко, А.А., Сидоренко, А.В., Новик, Г.И. (2016). Выделение и характеристика молочнокислых бактерий из растительных источников. Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Сборник научных трудов. Минск: Издательский дом Белорусская наука, 2016. [Bareika, A.A., Sidorenko, A.V., Novik, G.I. (2016). Isolation and characterization of lactic acid bacteria from plant sources. Minsk: Publishing House "Belorusskaya Nauka", 2016. (In Russian)]
57. Келишова, Ю. (2016). Низкожирные сыры: актуальный тренд российского рынка. *Сыроделие и маслоделие*, 2, 36–37. [Kelyashova, Yu. (2016). Low fat cheese: An actual trend of the russian market. *Cheese- and Buttermaking*, 2, 36–37. (In Russian)]
58. Вахрушева, Д. С. (2021). Влияние лактобацилл на формирование органолептического профиля сыров пониженной жирности. *Пищевые системы*, 4(3S), 31–36. [Vakhrusheva, D.S. (2021). Effect of lactobacillus on the formation organoleptic profile of low fat cheeses. *Food Systems*, 4(3S), 31–36. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-31-36>
59. Свириденко, Г.М., Вахрушева, Д.С., Свириденко Ю. Я., Мордвинова В. А. (2022). Низкожирный сыр в фокусе диетического питания. *Вопросы питания*, 91(5), 105–115. [Sviridenko G. M., Vakhrusheva D. S., Sviridenko Yu. Ya., Mordvinova V. A., Delitskaya I. N. Low-fat cheese in the focus of dietary nutrition. *Voprosy Pitaniia*, 91(5), 105–115. (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-105-115>
60. Двоеженкова, Е.А., Жабанос, Н.К., Муха, Д.В., Фурик Н. Н. (2022). Биохимическая активность культур молочнокислых бактерий, перспективных для использования при изготовлении сыров с пониженным содержанием жира. *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*, 17, 129–139. [Dvoezhenkova, E.A., Zhabanos, N.K., Mukha, D.V., Furik, N.N. (2022). Biochemical activity of lactic acid bacteria promising for use in the production of reduced-fat cheese. *Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials*, 17, 129–139. (In Russian)]
61. Китаевская, С. В., Пономарев, В. Я., Решетник, О. А. (2022). Оценка протеолитической активности новых штаммов лактобацилл с криореистентными свойствами. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 12(1), 76–86. [Kitaevskaya, S.V., Ponomarev, V.Y., Reshetnik, O.A. (2022). Evaluation of the proteolytic activity of new cryoresistant lactobacillus strains. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 12(1), 76–86. (In Russian)] <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-76-86>
62. Albano, C., Morandi, S., Silvetti, T., Casiraghi, M. C., Manini, F., Brasca, M. (2018). Lactic acid bacteria with cholesterol-lowering properties for dairy applications: In vitro and in situ activity. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 10807–10818. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15096>
63. Coelho, M. C., Malcata, F. X., Silva, C. G. (2022). Lactic acid bacteria in raw-milk cheeses: From starter cultures to probiotic functions. *Foods*, 11(15), Article 2276. <https://doi.org/10.3390/foods11152276>
64. Загайнова, А.В., Федец, З.Е., Панькова, М.Н., Новожилов, К.А., Грицюк, О. В. Курбатова, И.В. (2022). Лактобациллы как составная часть микробиоты кишечника и их значение в физиологическом состоянии человека. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*, 4, 12–25. [Zagaynova, A.V., Fedets, Z.E., Pankova, M.N., Novozhilov, K.A., Gritsyuk, O.V., Kurbatova, I.V. (2022). Lactobacilles as a component of the intestinal microbiota and their significance in the physiological state of humans. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*, 4, 12–25. (In Russian)]
65. Petrova, P., Ivanov, I., Tsigoriyna, L., Valcheva, N., Vasileva, E., Parvanova-Mancheva, T. et al. (2021). Traditional Bulgarian dairy products: Ethnic foods with health benefits. *Microorganisms*, 9(3), Article 480. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030480>
66. Функ, И. А., Отт, Е. Ф., Дорофеев, П. В. (2019). Пробиотический полутвердый сыр. *Ползуновский вестник*, 3, 29–32. [Funk, I.A., Ott, E.F., Dorofeev, P.V. (2019). Probiotic semi-hard cheese. *Polzunovskiy Vestnik*, 3, 29–32. (In Russian)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.03.006>
67. Terzić-Vidojević, A., Veljović, K., Tolinački, M., Živković, M., Lukić, J., Lozo, J. et al. (2020). Diversity of non-starter lactic acid bacteria in autochthonous dairy products from Western Balkan Countries — Technological and probiotic properties. *Food Research International*, 136, Article 109494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109494>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Сорокина Нинель Петровна — кандидат технических наук, Руководитель Экспериментальной биофабрики, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, ул. Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-32-9-82-05 E-mail: n.sorokina@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1108-3695 * автор для контактов	Ninel P. Sorokina, Candidate of Technical Sciences, Head of the Experimental Biofabrics, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-32-9-82-05 E-mail: n.sorokina@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1108-3695 * corresponding author
Кучеренко Ирина Валентиновна — старший научный сотрудник, участник коллекции микроорганизмов и бактериофагов, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, ул. Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-329-82-21 E-mail: i.kucherenko@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8251-992X	Irina V. Kucherenko, Senior Researcher, Collection Area of Microorganisms and Bacteriophages, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-329-82-21 E-mail: i.kucherenko@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8251-992X
Бруцкая Анастасия Леонидовна — инженер контроля качества, Лаборатория контроля качества бактериальных препаратов, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, ул. Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-329-82-68 E-mail: n.sorokina@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0009-0005-4070-8227	Anastasiya L. Bruckaya, Quality Control Engineer, Laboratory for Quality Control of Bacterial Preparations, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-329-82-68 E-mail: n.sorokina@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0009-0005-4070-8227
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.