https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-4-5

УДК 637.3.056

Обзорная статья

# Использование лактобацилл в качестве дополнительной микрофлоры для сыров пониженной жирности*

**Галина Михайловна Свириденко**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, руководитель направления микробиологических исследований молока и молочной продукции
E-mail: g.sviridenko@fncps.ru
**Дарья Сергеевна Вахрушева**, канд. техн. наук, младший научный сотрудник
E-mail: d.vakhrusheva@fncps.ru
**Ольга Михайловна Шухалова**, канд. техн. наук, младший научный сотрудник
E-mail: o.shukhalova@fncps.ru
**Татьяна Валентиновна Комарова**, младший научный сотрудник
E-mail: t.komarova@fncps.ru
Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, г. Углич

В данном обзоре приведены сведения об использовании мезофильных и термофильных молочнокислых палочек в качестве дополнительных культур, как одного из биотехнологических подходов улучшения органолептических показателей сыров пониженной жирности. Отмечено, что использование дополнительных заквасочных культур при производстве сыров данной группы является довольно эффективным и перспективным направлением. Мезофильные и термофильные лактобациллы отличаются разнообразным метаболизмом и способны корректировать вкусоароматический профиль и реологические характеристики сыров пониженной жирности, приближая их органолептические показатели к показателям жирных сыров. Широкое распространение в технологии сыров пониженной жирности получили мезофильные лактобациллы *Lacticaseibacillus casei* благодаря выраженной протеолитической активности, в частности их уникальной аминопептидазной системе. Использование данной культуры обеспечивает не только улучшение потребительских характеристик сыров, но и сокращение их сроков созревания. Применение мезофильной культуры палочек *Lactobacillus rhamnosus*, как правило, связано с усилением сливочного вкуса и формированием нежной консистенции сыров пониженной жирности. Отмечено, что мезофильные лактобациллы *Lactiplantibacillus plantarum* могут влиять на интенсивность вторичного протеолиза, тем самым меняя аминокислотный состав сыра и улучшая его органолептические характеристики. Из термофильных лактобацилл наибольшее распространение в производстве сыров пониженной жирности в качестве дополнительных культур получили *Lactobacillus helveticus*. Данные микроорганизмы за счет своей специфической ферментативной активности обладают способностью расщеплять гидрофобные пептиды и снижать выраженность горького и посторонних вкусов, которые являются наиболее часто встречающимися недостатками и пороками сыров пониженной жирности. Кроме того, данная культура может использоваться для формирования оригинальных оттенков вкуса и аромата сыров. В целом, применение дополнительных культур целевого назначения позволяет совершенствовать технологию производства сыров пониженной жирности и удовлетворять потребности современного рынка.

**Ключевые слова**: сыр, дополнительная культура, протеолиз, *Lactobacillus*, органолептические показатели, заквасочная микрофлора, метаболизм

**Для цитирования**: Использование лактобацилл в качестве дополнительной микрофлоры для сыров пониженной жирности / Г. М. Свириденко, Д. С. Вахрушева, О. М. Шухалова, Т. В. Комарова // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 4. С. 10–17. https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-4-5

## Введение

Сыры обладают высокой пищевой и биологической ценностью, являясь источником полноценного белка, жира, витаминов и минералов, таких как кальций и фосфор. Благодаря уникальному химическому составу и высоким потребительским качествам, сыры завоевали популярность по всему миру и стали неотъемлемой частью рациона питания многих людей.

Сыры фактически являются концентратом молочного белка и жира. С точки зрения нутрициологии, продукты с высоким содержанием насыщенных жирных кислот, доля которых в молочном жире по различным оценкам варьируется от 46,9 до 70,1 %, часто считаются нежелательными в питании человека [1, 2]. Их связывают с ростом уровня липопротеинов низкой плотности в крови, что считается маркером риска сердечно-сосудистых заболеваний. Ряд научных исследований подтверждают связь между потреблением жирных молочных продуктов и повышенным риском развития сердечно-сосудистых заболеваний [3, 4]. Из-за растущего интереса к здоровому питанию наблюдается рост потребительского спроса на сыры пониженной жирности. Данная группа охватывает полужирные и низкожирные сыры с массовой долей жира в сухом веществе менее 44,9 и более 10,0 % согласно ГОСТ Р 52686-2023[1].

*Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019-0011 ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН

[1]ГОСТ Р 52686-2023 «Сыры. Общие технические условия». – М.: Российский институт стандартизации, 2023. – 21 с.

В зарубежной и отечественной практике существует множество видов сыров с пониженным содержанием жира, в том числе мягких, полутвердых и твердых. Однако они не получили широкого распространения из-за низкого спроса, связанного с несоответствием желаемым потребительским свойствам. Так, снижение содержания жира негативно сказывается на формировании внешнего вида, текстуры, вкуса и аромата сыра и является причиной возникновения различных отклонений и пороков. В целом, более высокое содержание жира коррелирует с интенсивностью вкусового букета сыров, что, в свою очередь, повышает их покупательскую привлекательность [5].

Рост интереса потребителей к здоровому образу жизни требует обоснованного, но в то же время инновационного подхода к разработке и усовершенствованию технологий сыров с улучшенными органолептическими характеристиками. Для повышения качества низкожирных сыров исследователи во всем мире применяют чаще всего технологический подход, включая изменение параметров технологического процесса и использование пищевых добавок. Однако научно-практический опыт отечественных и зарубежных ученых показывает, что использование только технологических приемов недостаточно эффективен и не обеспечивает комплексного решения проблемы сыров пониженной жирности. Последние достижения в улучшении вкуса, аромата, текстуры и функциональности сыров с низким содержанием жира связаны с биотехнологическими решениями, в частности, использованием дополнительных культур целевого назначения, позволяющих достичь желаемых характеристик сыра.

В этой связи **целью данной статьи** являлся анализ эффективности использования в мировой практике дополнительных заквасочных культур в качестве основного биотехнологического приема улучшения органолептических показателей сыров пониженной жирности.

## Объекты и методы исследования

Для достижения поставленной цели проведен анализ научно-технической литературы отечественных и зарубежных авторов, касающейся использования мезофильных и термофильных заквасочных культур для улучшения потребительских характеристик сыров пониженной жирности. Обзор литературы осуществлялся через библиографические базы данных, такие как Google Scholar, PubMed, Scopus, Web of Science, ResearchGate и Научная электронная библиотека (eLIBRARY.RU), а также поисковые системы в интернете. Анализ включал как обзорные, так и экспериментальные статьи, главы книг и патенты на изобретения, изданные на русском и английском языках в промежутке с 2002 по 2024 год. Все материалы тщательно проанализированы с целью обеспечения наиболее полного и разностороннего отражения проблемы. При выборе публикаций отдавалось предпочтение наиболее цитируемым работам.

Источник изображения: freepik.com

Источник изображения: freepik.com

## Результаты и их обсуждение

Биотехнологический способ корректировки органолептических показателей сыров с использованием дополнительных заквасочных культур наряду с основной кислотообразующей микрофлорой является технологичным и одновременно эффективным перспективным направлением. Дополнительные культуры представляют собой различные штаммы микроорганизмов, включающие в себя более широкий спектр таксономических групп, чем основные заквасочные микроорганизмы. Дополнительная микрофлора разнообразна не только по видовому составу, но и особенностям метаболизма, что позволяет корректировать вкусоароматический профиль и реологические характеристики продукта. Дополнительные культуры позволяют разнообразить вкус и создавать новые виды сыров пониженной жирности, и тем самым расширить существующую ассортиментную линейку продукции. В отличие от основной кислотообразующей микрофлоры дополнительные культуры не оказывают существенного влияния на ферментативные процессы во время выработки сыра, а обуславливают направленное регулирование процессов гидролиза лактозы, газо-ароматообразования, протеолиза казеина и липолиза молочного жира во время созревания.

Сбраживание лактозы – основополагающий процесс производства сыров, в том числе пониженной жирности. Известно, что молочнокислое брожение осуществляется, по большей части, основной кислотообразующей заквасочной микрофлорой, однако некоторые заквасочные культуры целевого назначения за счет либо гетероферментативного пути разложения лактозы, либо способности сбраживать цитраты, могут служить инструментом обогащения сыра различными продуктами метаболизма лактозы и цитратов [6, 7]. Протеолиз выступает наиболее важным биохимическим процессом при созревании сыров пониженной жирности, и в значительной степени отвечает, как за формирование сырного вкуса, так и порока – горечь. Множество исследований посвящено изучению влияния дополнительных культур на формирование необходимого вкуса сыров различных категорий за счет изменения направленности и интенсивности протеолиза [8, 9, 10]. Одним из ключевых ферментативных путей формирования вкуса и аромата сыра является липолиз – гидролиз триглицеридов молока, протекающий при участии ферментных систем заквасочных микроорганизмов, до свободных жирных кислот и продуктов их метаболизма [11]. Заквасочные микроорганизмы преимущественно обладают слабой липолитической активностью [12]. Поэтому, анализируя пути возможного улучшения органолептических показателей низкожирных сыров, в первую очередь, следует при выборе дополнительных культур обращать внимание на углубление процессов протеолиза, изменение направленности гликолиза и усиление газо- и ароматообразования при сбраживании цитратов.

Опыт зарубежных исследователей демонстрирует преимущественно положительный результат использования мезофильных и термофильных лактобацилл для ускорения созревания и придания желаемых вкусовых свойств низкожирным сырам. Использование мезофильных лактобацилл

*Lacticaseibacillus casei* в качестве дополнительных культур обусловлено их протеолитической системой, характеризующейся высокой пептидазной и аминопептидазной активностью [13, 14]. Их влияние на протеолиз было продемонстрировано изменениями профилей растворимых пептидов и свободных аминокислот в сырах [15, 16] Сообщается, что мезофильные лактобациллы *L. casei* обладают ключевыми ферментами для катаболизма аминокислот, что положительно влияет на формирование вкуса и аромата [17, 18], а также ускорение созревания сыров [19]. С другой стороны, ряд исследований показывают, что некоторые штаммы *L. casei* могут вызывать пороки вкуса за счет увеличения образования горьких гидрофобных пептидов во время созревания [20, 21].

Fenelon M. A., Beresford T. P. и др. в своих исследованиях показали, что использование лактобацилл, включая *L. casei*, способствует развитию насыщенного сырного вкуса в низкожирном сыре Чеддер. Опытные образцы сыров содержат значительно больше низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот, чем контрольные образцы [22].

Греческими исследователями Katsiari M. C., Voutsinas L. P. было изучено влияние мезофильных палочек *L. casei* на органолептических характеристики низкожирного сыра Kefalograviera, изготовленного из овечьего молока [23]. Авторы данного исследования объясняют свой выбор дополнительной культуры ее уникальной системой аминопептидаз, способностью увеличивать интенсивность аромата сыра, выделяя желаемые важные вкусовые ноты и подавляя посторонние запахи и привкусы. По результатам органолептической оценки, опытные сыры, выработанные с добавлением культуры *L. casei*, получили значительно более высокие оценки за вкус и консистенцию по сравнению с контрольными сырами к концу срока созревания. Кроме того, опытные сыры с низким содержанием жира, выработанные с дополнительной культурой, получили оценки за вкус и аромат, аналогичные показателям сыра с высоким содержанием жира, но значительно уступали по консистенции. В последующих работах [24, 25] авторы сообщают, что низкожирные сыры, выработанные с дополнительными культуры *L. casei*, содержали больше ацетона, диацетила, ацетоина и других летучих соединений, и, в целом, оценены выше, чем контрольные низкожирные сыры, выработанные без дополнительных культур.

Норвежские исследователи Skeie S., Alseth G. M. и соавторы описали технологию производства низкожирного сыра Norvegia, используя комплексный подход с добавлением пахты, микропартикулята сывороточных белков и мезофильных бактерий *L. casei*. Используемые добавки способствовали улучшению текстуры сыра, однако их воздействие на вкус оказалось неоднозначным [26].

Учитывая результаты исследований покупательских предпочтений и желание потребителей приобретать сыры со сливочным вкусом и ароматом, которые ассоциируются с полножирными сырами, специалистами отрасли непрерывно проводится работа в этом направлении. Так, специалистами Chr. Hansen запатентован композиционный состав закваски, включающий дополнительную культуру *Lactobacillus rhamnosus*, способную придавать низкожирным молочным продуктам, в том числе сырам, сливочный вкус, не влияя на реологию, или пост-окисление молочного продукта[2]. По мнению авторов, технологически ценным свойством культуры *L. rhamnosus* является способность продуцировать значительное количество диацетила, придающего маслянистый вкус молочным продуктам.

Исследователями Ramzan M., Nuzhat H. и коллегами [27] было предложено использовать *L. rhamnosus* в качестве дополнительной культуры для производства сыра Чеддер. Результаты эксперимента с различными вариантами сыра показали, что *L. rhamnosus* способствует улучшению вкуса, уменьшает горечь и ускоряет протеолиз сыра.

Австралийскими учеными [28] получены положительные результаты по улучшению органолептических характеристик сливочного сыра с пониженным содержанием жира, обогащенного *β*-глюканом, фитостеролами и культурой *L. rhamnosus*. Были выявлены значительные различия во вкусовых характеристиках между контрольными образцами и опытными вариантами сливочного сыра с добавлением культуры, при этом последний имел более насыщенный маслянистый вкус, подтверждая эффективность дополнитель-

[2]Patent US 10,653,161 B2. Flavor - enhancing Lactobacillus rhamnosus : May 19, 2020 / Jimenez, L., Oeregaard, G., Trihaas, J [et al.]. – 15 p.

ной культуры *L. rhamnosus* в улучшении вкуса сливочного сыра с пониженным содержанием жира и приобретения им ощущения маслянистости.

Мезофильные лактобациллы *Lactiplantibacillus plantarum*, в дополнение к широко известному применению в сыроделии в качестве защитной культуры за счет выраженных антагонистических свойств, все больше привлекают внимание ученых в качестве дополнительной культуры для корректировки органолептических характеристик.

Аргентинскими исследователями Milesi M. M., Wolf I. V. и др. [29] был проанализирован вклад мезофильных *L. plantarum* в формирование вкуса и аромата мягкого сыра за счет их участия в процессе вторичного протеолиза. Опытные сыры, выработанные с дополнительными культурами лактобацилл, отличались более высоким содержанием свободных аминокислот и обладали насыщенным вкусовым букетом по сравнению с контрольными.

Ученые из Китая Zhang, X., Hao, X. и др. [30] исследовали влияние мезофильных палочек *L. plantarum* и инулина на физико-химические и органолептические свойства низкожирного сыра Чеддер. Добавление культуры *L. plantarum* и инулина не привело к изменению физико-химических свойств сыра, однако способствовало интенсификации вторичного протеолиза и образованию свободных аминокислот. Авторы отметили положительное влияние комплекса дополнительной культуры и добавки инулина на органолептические свойства сыра.

Учеными из Италии и Франции также отмечен положительный вклад дополнительных культур *L. plantarum* в формирование насыщенного вкуса, аромата и необходимой пластичной консистенции низкожирного сыра Качотта [31].

Среди термофильных палочек, используемых в сыроделии в качестве заквасочных микроорганизмов, чаще всего применяют *Lactobacillus helveticus* в производстве сыров с высокой температурой второго нагревания *L. helveticus* представляет собой важный кислотообразующий компонент бактериальной закваски, а для других групп сыров представляет интерес как вспомогательная культура, усиливающая вкус и аромат. Основные метаболические пути *L. helveticus*, ответственные за вкус и аромат сыра, включают метаболизм лактозы, а также протеолиз и последующий катаболизм аминокислот. *L. helveticus* широко известен своей способностью уменьшать горечь и улучшать вкус сыров пониженной жирности за счет разнообразной ферментативной активности, включающей протеиназы, связанные с клеточной оболочкой, и внутриклеточные пептидазы, которые после лизиса клеток выделяются в матрицу сыра и усиливают протеолиз [32]. Французскими учеными [33] описан механизм действия протеолитической системы *L. helveticus* и ее роль в предупреждении развития нежелательного вкуса в сырах, в первую очередь, горького. Сообщается о способности большинства штаммов вида *L. helveticus* расщеплять гидрофобные пептиды, в частности, горький пептид $\beta$-CN (193–209) и значительно уменьшать горький вкус в сыре.

Европейские исследователи Zaravela A., Kontakos S. изучили влияние термофильной палочки *L. helveticus* в технологии рассольного сыра из козьего молока с пониженным содержанием жира. Использование данной культуры в качестве дополнительной культуры привело к углублению протеолиза, что улучшило вкус, аромат и структурно-механические свойства сыра [34].

Иранскими учеными [35] проведены исследования влияния *L. helveticus* на протеолиз и формирование потребительских характеристик сыров Чеддер пониженной жирности. Обнаружен повышенный уровень свободных аминокислот и небелкового азота в сырах, изготовленных с использованием дополнительной культуры. По концентрации таких аминокислот, как глютаминовая кислота, метионина и лейцин, которые вносят существенный вклад в формирование насыщенного вкуса и аромата сыров, опытные сыры с *L. helveticus* превосходили сыры, выработанные с использованием *L. casei*, и даже сыры с высоким содержанием жира, выработанные на основе традиционный мезофильной лактококковой закваски. Авторы объясняют высокую протеолитическую активность *L. helveticus* наличием аминопептидаз, необходимой для гидролиза пептидов и высвобождения комплекса аминокислот. Кроме того, сыры, произведенные с использованием дополнительной культуры *L. helveticus*, содержали значительно более высокие концентрации свободных жирных кислот по сравнению с контрольным жирным сыром Чеддер.

Некоторые литературные источники сообщают, что *L. helveticus* может придавать сырам оригинальные вкусовые ноты: ореховый, сладкий, пряный, фруктовый и т. д. за счет образования ими широ-

кого разнообразия метаболитов, включая кетоны, эфиры, альдегиды, спирты, кислоты, а также вещества с ароматическими кольцами. Так, в сырах с *L. helveticus*, как правило, обнаруживаются метилкетоны, которые в литературе описываются как придающие сыру «фруктовые», «цветочные» или «плесневелые» ноты [36]. Данная способность является полезной в сыроделии с точки зрения моделирования вкуса и аромата сыров с целью удовлетворения нестандартных ожиданий потребителей.

В последние годы значительный интерес к сырам пониженной жирности проявляют отечественные потребители. Специалистами ВНИИМС проведены комплексные исследования по разработке линейки сыров с массовой долей жира 20 и 30 % в сухом веществе с гармоничным вкусовым букетом, выраженным сырным вкусом и эластично-пластичной консистенцией. Положительные результаты получены за счет биотехнологических приемов, включающих использование, наряду с основной кислотообразующей заквасочной микрофлорой, различных комбинаций дополнительных культур, в том числе мезофильных и термофильных лактобацилл. Показано, что в сырах, выработанных с использование производственной закваски, включающей 60 % лактококков и 40 % мезофильных лактобацилл *L. casei*, закономерно наблюдается углубление процесса протеолиза, что приводит к улучшению их органолептических показателей и сокращению сроков созревания сыров. Установлено, что в экспериментальных сырах количество водорастворимого белка увеличивается в среднем на 0,5 %, а степень протеолиза – на 1,5 %. Результаты хроматографического анализа молекулярно-массового распределения продуктов протеолиза показывает увеличение доли свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов относительно высокомолекулярных пептидов и в целом белковой фракции [37].

Хроматографический анализ показал, что в паровой фазе сыров пониженной жирности с *L. casei* в составе летучих вкусоароматических соединений количество уксусного альдегида достигает 92 % от их общего количества. Остальная часть идентифицированных соединений представлена метилэтилкетонами, спиртами – гексанол-1 (гексиловый), пропанол-1 (пропиловый), пентанол-2 (метилбутиловый), и органическими кислотами (уксусной и масляной). В целом, сыры пониженной жирности, выработанные с *L. casei*, по общему содержанию летучих соединений превосходили полножирные сыры, выработанные из той же партии молока-сырья по единой технологии, приблизительно в 2 раза, что обеспечивает формирование более богатого сырного вкуса [37, 38, 40].

Добавление к основной кислотообразующей лактококковой закваске термофильных лактобацилл *L. helveticus* в количестве 10 % дает возможность получать сыры пониженной жирности с выраженным сырным вкусом и пряными нотами. Данный результат получен за счет еще более значительного, чем при использовании *L. casei*, протеолиза (>3,0 %), накопления свободных аминокислот, а также особенностей метаболизма *L. helveticus*. Преобладающим летучим вкусоароматическим соединением в паровой фазе сыров, выработанных с использованием *L. helveticus*, аналогично сырам с *L. casei*, является уксусный альдегид (до 77 %). Также идентифицируются альдегиды (бутаналь, бутеналь-2, пентаналь); спирты (метиловый, гептиловый, пропиловый) и кетоны (метилэтилкетон, метилпропилкетон), являющиеся причиной формирования специфического пряного вкуса [37, 39, 40].

Как отмечалось выше, основная проблема сыров пониженной жирности связана с излишне плотной, крошливой или резинистой консистенцией. Добав-

Источник изображения: freepik.com

ление в состав закваски как *L. casei*, так и *L. helveticus*, способствовало размягчению и получению эластично-пластичной консистенции, что характерно для полножирных сыров. Полученный результат подтверждается данными исследований структурно-механических показателей сыров во время созревания. Так, в экспериментальных сырах удалось снизить условную твердость сыра к концу срока созревания с 42 кПа до 24 кПа, т. е. практически в 2 раза [40].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о целесообразности использования дополнительных культур *L. casei* и *L. helveticus* в оптимальных дозах не только для формирования улучшенных органолептических характеристик сыров пониженной жирности, но и для ускорения их созревания.

## Заключение

Обзор имеющихся в свободном доступе результатов научных исследований позволяет сделать вывод о перспективности использования дополнительных культур мезофильных и термофильных лактобацилл в производстве сыров пониженной жирности с целью усовершенствования их потребительских характеристик. Управление микробиологическими и биохимическими процессами во время созревания за счет обогащения видового состава заквасок культурами целевого назначения позволяет создавать сыры пониженной жирности с высокими органолептическими характеристиками, дает производителям широкие возможности для создания продуктов, удовлетворяющих возрастающий спрос потребителей. ■

## Lactobacilli as Additional Microflora in Low-Fat Cheeses

**Galina M. Sviridenko, Daria S. Vakhrusheva, Olga M. Shukhalova, Tatiana V. Komarova**
All-Russian Research Institute of Butter and Cheese Production, Gorbatov Federal Scientific Center of Food Systems, Uglich

Mesophilic and thermophilic lactic acid bacteria are an effective biotechnological means of improving the sensory properties of low-fat cheeses. These additional starter cultures are an effective and promising direction in cheese production. Mesophilic and thermophilic lactobacilli possess a diverse metabolism that allows them to approximate the flavor and rheological profile of low-fat cheeses to those of fatty cheeses. Mesophilic lactobacilli *Lacticaseibacillus casei* are a popular component in low-fat cheeses due to their proteolytic activity and unique aminopeptidase system. This culture improves the consumer properties of low-fat cheeses and reduces their ripening time. Mesophilic rods *Lactobacillus rhamnosus* are responsible for creamy taste and soft texture. Mesophilic lactobacilli *Lactiplantibacillus plantarum* affect the secondary proteolysis, thereby changing the amino acid composition of cheese and improving its sensory properties. Lactobacillus helveticus are the most common thermophilic lactobacilli used in low-fat cheeses. Due to their specific enzymatic activity, they break down hydrophobic peptides and reduce bitterness or other unwanted flavors, which low-fat cheeses are notorious for. In addition, this culture gives low-fat cheeses original shades of taste and aroma. Functional cultures improve the technology of low-fat cheese production and adjust their sensory profile to the high demands of the modern market.

**Keywords:** cheese, additional culture, proteolysis, *Lactobacillus*, sensory properties, starter microflora, metabolism

**Список литературы**

1. **Wang, F.** Fatty acid profiles of milk from Holstein cows, Jersey cows, buffalos, yaks, humans, goats, camels, and donkeys based on gas chromatography–mass spectrometry / F. Wang [et al.] // Journal of dairy science. 2022. Vol. 105 № 2. P. 1687–1700. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20750

2. **Mach, F.** 2019 ESC/EAS guidelines for the management of dyslipidaemias: Lipid modification to reduce cardiovascular risk / F. Mach [et al.] // Atherosclerosis. 2019. Vol. 290. P. 140–205. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.08.014

3. **Ference, B. A.** Association of triglyceride-lowering LPL variants and LDL-C–lowering LDLR variants with risk of coronary heart disease / B. A. Ference [et al.] // Jama. 2019. Vol. 321. № 4. P. 364–373. https://doi.org/10.1001/jama.2018.20045

4. **Jakobsen, M. U.** Intake of dairy products and associations with major atherosclerotic cardiovascular diseases: a systematic review and meta-analysis of cohort studies / M. U. Jakobsen [et al.] // Scientific reports. 2021. Vol. 11. № 1. 1303. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79708-x

5. **Childs, J. L.** Consumer perception of fat reduction in cheese / J. L. Childs, M. Drake // Journal of Sensory Studies. 2009. Vol. 24. № 6. P. 902–921. https://doi.org/10.1111/j.1745-459x.2009.00243.x

6. **Wilkinson, M. G.** Invited review: Starter lactic acid bacteria survival in cheese: New perspectives on cheese microbiology / M. G. Wilkinson, G. LaPointe // Journal of dairy science. 2020. Vol. 103. № 12. P. 10963–10985. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18960

7. **Nugroho, A. D. W.** Growth, dormancy and lysis: the complex relation of starter culture physiology and cheese flavour formation / A. D. W. Nugroho, M. Kleerebezem, H. Bachmann // Current Opinion in Food Science. 2021. 39. P.22-30. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.005

8. **Gu, Y.** Screening and Characterization of novel umami peptides in Cheddar cheese using peptidomics and bioinformatics approaches / Y. Gu [et al.] // LWT. 2024. Vol. 194. 115780. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115780

9. **Andersen, L. T.** Study of taste-active compounds in the water-soluble extract of mature Cheddar cheese / L. T. Andersen, Y. Ardö, W. L. Bredie // International Dairy Journal. 2010. Vol. 20. № 8. P. 528–536. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.02.00943

10. **Ganesan, B.** Amino Acid Catabolism and Its Relationship to Cheese Flavor Outcomes // Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology / B. Ganesan, Bart C. Weimer. – UK: Academic Press, 2017. – P. 483–516. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00019-3

11. **Budak, Ş. Ö.** Role of microbial cultures and enzymes during cheese production and ripening // Microbial cultures and enzymes in dairy technology / Ş. Ö. Budak [et al]. IGI Global, 2018. – P. 182–203. https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5363-2.ch010

12. **Mazguene, S.** Lactic acid bacteria metabolism: Mini-review / S. Mazguene // Current Nutrition & Food Science. 2023. Vol. 19. № 2. P. 94–104. https://doi.org/10.2174/1573401318666220527124256

13. **Broadbent, J. R.** Influence of adjunct use and cheese microenvironment on nonstarter bacteria in reduced-fat Cheddar-type cheese / J. R. Broadbent [et al.] // Journal of Dairy Science. 2003. Vol. 86. № 9. P. 2773–2782. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73874-0

14. **Ahmed, M. E.** Influence of probiotic adjunct cultures on the characteristics of low-fat Feta cheese / M. E. Ahmed [et al.] // Food Science & Nutrition. 2021. Vol. 9. № 3. P. 1512–1520. https://doi.org/10.1002/fsn3.2121

15. **Bergamini, C. V.** Influence of probiotic bacteria in the proteolysis profile of a semi-hard cheese / C. V. Bergamini, E. Hynes, C. A. Zalazar // International Dairy Journal. 2006. Vol. 16. P. 856–866. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.09.004

16. **Ong, L.** Proteolytic pattern and organic acid profiles of probiotic Cheddar cheese as influenced by probiotic strains of *Lactobacillus acidophilus*, *Lb. paracasei*, *Lb. casei* or *Bifidobacterium* sp. / L. Ong, A. Henriksson, N. P. Shah // International Dairy Journal. 2007. Vol. 17. P. 67–78. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.12.009

17. **Thage, B. V.** Aroma development in semi-hard reduced-fat cheese inoculated with *Lactobacillus paracasei* with different aminotransferase profiles / B. V. Thage [et al.] // International Dairy Journal. 2005. Vol. 15. P. 795–805. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.026

18. **Stefanovic, E.** Genetic, enzymatic and metabolite profiling of the *Lactobacillus casei* group reveals strain biodiversity and potential applications for flavour diversification / E. Stefanovic [et al.] // Journal of Applied Microbiology. 2017. Vol. 122. № 5. P. 1245–1261. https://doi.org/10.1111/jam.13420

19. **Bancalari, E.** *Lactobacillus paracasei* 4341 as adjunct culture to enhance flavor in short ripened Caciotta-type cheese / E. Bancalari [et al.] // Food research international. 2020. Vol. 135. 109284. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109284

20. **Antonsson, M.** *Lactobacillus* strains isolated from Danbo cheese as adjunct cultures in a cheese model system / M. Antonsson, G. Molin, Y. Ardö // International Journal of Food Microbiology. 2003. Vol. 85. № 1-2. P. 159–169. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00536-6

21. **Liu, S. Q.** Practical implications of lactate and pyruvate metabolism by lactic acid bacteria in food and beverage fermentations / S. Q. Liu // International journal of Food Microbiology. 2003. Vol. 83. № 2. P. 115–131. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00366-5

22. **Fenelon, M. A.** Comparison of different bacterial culture systems for the production of reduced-fat Cheddar cheese / M. A. Fenelon [et al.] // International Journal of Dairy Technology. 2002. Vol. 55. № 4. P. 194–203. https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00067.x

23. **Katsiari, M. C.** Improvement of sensory quality of low-fat Kefalograviera-type cheese with commercial adjunct cultures / M. C. Katsiari, L. P. Voutsinas, E. Kondyli // International Dairy Journal. 2002. Vol. 12. № 9. P. 757–764. https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00066-3

24. **Kondyli, E.** Free fatty acids and volatile compounds in low-fat Kefalograviera-type cheese made with commercial adjunct culture / E. Kondyli [et al.] // International Dairy Journal. 2003. Vol. 13. № 1. P. 47–54. https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00144-9

25. **Kondyli, E.** Lipolysis and volatile compounds in low-fat Kefalograviera-type cheese made with commercial special starter cultures / E. Kondyli [et al.] // Food Chemistry. 2003. Vol. 82. № 2. P. 203–209. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00513-7

26. **Skeie, S.** Improvement of the quality of low-fat cheese using a two-step strategy / S. Skeie [et al.] // International Dairy Journal. 2013. Vol. 33. № 2. P. 153–162. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.04.003

27. **Ramzan, M.** Evaluation of volatile flavouring compounds in Cheddar cheese, manufactured by using *Lactobacillus rhamnosus* as an adjunct culture / M. Ramzan [et al.] // Journal of Agroalimentary Processes and Technologies. 2010. Vol. 16. № 2. P. 188–195.

28. **Ningtyas, D. W.** Flavour profiles of functional reduced-fat cream cheese: Effects of *β*-glucan, phytosterols, and probiotic *L. rhamnosus* / D. W. Ningtyas [et al.] // LWT. 2019. Vol. 105. P. 16–22. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.063

29. **Milesi, M. M.** Two strains of nonstarter lactobacilli increased the production of flavor compounds in soft cheeses / M. M. Milesi [et al.] // Journal of Dairy Science. 2010. Vol. 93. № 11. P. 5020–5031. https://doi.org/10.3168/jds.2009-3043

30. **Zhang, X.** The effects of *Lactobacillus plantarum* combined with inulin on the physicochemical properties and sensory acceptance of low-fat Cheddar cheese during ripening / X. Zhang, [et al.] // International Dairy Journal. 2021. Vol. 115. 104947. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104947

31. **Di Cagno, R.** Use of microparticulated whey protein concentrate, exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus*, and adjunct cultures for making low-fat Italian Caciotta-type cheese / R. Di Cagno [et al.] // Journal of Dairy Science. 2014. Vol. 97. № 1. P.72–84. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7078

32. **Zhang, H.** The enzyme gene expression of protein utilization and metabolism by *Lactobacillus helveticus* CICC 22171 / H. Zhang [et al.] // Microorganisms. 2022. Vol. 10. № 9. 1724. https://doi.org/10.3390/microorganisms10091724

33. **Sadat-Mekmene, L.** Simultaneous presence of PrtH and PrtH2 proteinases in *Lactobacillus helveticus* strains improves breakdown of the pure *αs*1-casein / L. Sadat-Mekmene [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. 2011. Vol. 77. № 1. P. 179–186. https://doi.org/10.1128/AEM.01466-10

34. **Zaravela, A.** Effect of adjunct starter culture on the quality of reduced fat, white, brined goat cheese: part I. Assessment of chemical composition, proteolysis, lipolysis, texture and sensory attributes / A. Zaravela [et al.] // European Food Research and Technology. 2021. Vol. 247. P. 2211–2225. https://doi.org/10.1007/s00217-021-03780-4

35. **Nateghi, L.** Effects of different adjunct starter cultures on proteolysis of reduced fat Cheddar cheese during ripening / L. Nateghi // African Journal of Biotechnology. 2012. Vol. 11. № 61. 12491. https://doi.org/10.5897/AJB11.3359

36. **Cuffia, F.** Characterization of volatile compounds produced by *Lactobacillus helveticus* strains in a hard cheese model / F. Cuffia [et al.] // Food Science and Technology International. 2018. Vol. 24. № 1. P.67–77. https://doi.org/10.1177/1082013217728628

37. **Sviridenko, G. M.** Improvement of the organoleptic profile of cheeses with reduced calorie content by biotechnological means / G. M. Sviridenko [et al.] // International Journal of Dairy Technology. 2022. Vol. 75. № 2. P. 393–404. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12846

38. **Свириденко, Г. М.** Улучшение органолептических показателей сыров пониженной жирности за счет использования в составе закваски *Lactobacillus casei* / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, Д. С. Вахрушева // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 1. С. 19–21. https://elibrary.ru/ppqpyv

39. **Свириденко, Г. М.** Влияние *Lactobacillus helveticus* на формирование потребительских показателей сыров с редуцированной калорийностью / Г. М. Свириденко, В. А. Мордвинова, И. Н. Делицкая, Д. С. Вахрушева // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 1. С. 29–31. https://elibrary.ru/hxhhrf

40. **Вахрушева, Д. С.** Влияние лактобацилл на формирование органолептического профиля сыров пониженной жирности / Д. С. Вахрушева // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 3S. С. 31–36. https://doi.org/10.21323/2618–9771- 2021-4-3S-31-36; https://elibrary.ru/bqwxjb