

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-512-518>

Поступила 19.07.2023

Поступила после рецензирования 05.12.2023

Принята в печать 07.12.2023

© Свириденко Г. М., Шухалова О. М., Данилова Е. С., 2023

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

Научная статья

Open access

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И МЕТАБОЛИЗМА ШТАММОВ *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS* В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ГЛУБИННОГО ЖИДКОФАЗНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Свириденко Г. М.*, Шухалова О. М., Данилова Е. С.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

модельные молочные
среды, штаммы
Streptococcus
thermophilus,
количество клеток,
кислотообразующая
активность,
гликолиз, протеолиз,
липолиз, образование
вкусоароматических
веществ

Микрофлора большинства ферментируемых молочных продуктов, в том числе сыров, полностью состоит из молочнокислых бактерий, т. е. специально вносимых в смесь бактериальных заквасок с различным видовым и штаммовым составом. Видовой состав закваски должен обеспечить интенсивность и направленность микробиологических и биохимических процессов вырабатываемого продукта и гарантировать его безопасность, качество и хранимостепособность. В частности, молочнокислые бактерии осуществляют преобразование основных компонентов молока (белка, молочного жира, лактозы) во вкусовые, ароматические, биологически активные вещества, участвующие в формировании идентификационных и органолептических показателей ферментируемых молочных продуктов. Количество заквасочных микроорганизмов в ферментируемых молочных продуктах, в том числе и сырах, значительно превышает содержание любой посторонней микрофлоры и может стать причиной появления таких органолептических пороков, как кислота, горечь, неспецифический посторонний привкус или избыточное газообразование. Способность микроорганизмов к образованию тех или иных продуктов метаболизма определяется как их видовыми и штаммовыми свойствами, так и условиями культивирования. К таковым относятся, прежде всего, состав среды развития и температурные режимы культивирования. Комбинируя состав закваски и подбирая благоприятные режимы культивирования микроорганизмов, можно добиться оптимального развития заквасочной микрофлоры, получив продукты с искомыми качественными характеристиками. В данной статье представлены результаты сравнительной оценки свойств производственных штаммов *Streptococcus thermophilus* в процессе их развития в молочных средах при оптимальных температурах (41 ± 1) °C, имитирующих условия производства кисломолочных продуктов, а также в режимах, имитирующих условия созревания сыров (11 ± 1) °C и концентрации поваренной соли 4%. Также проводилась оценка характера ферментативных процессов гликолиза, протеолиза, липолиза и вкусообразования в результате метаболизма данных культур.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019-0010 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 19.07.2023

Accepted in revised 05.12.2023

Accepted for publication 07.12.2023

© Sviridenko G. M., Shukhalova O. M., Danilova E. S., 2023

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

Original scientific article

Open access

PECULIARITIES OF DEVELOPMENT AND METABOLISM OF *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS* STRAINS UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF DEEP LIQUID PHASE CULTIVATION

Galina M. Sviridenko*, Olga M. Shukhalova, Ekaterina S. Danilova

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

KEY WORDS:

model dairy
media, strains
of *Streptococcus*
thermophilus,
cell number,
acid-forming activity,
glycolysis, proteolysis,
lipolysis, formation
of flavoring substances

ABSTRACT

The microflora of most fermented dairy products, including cheeses, consists entirely of lactic acid bacteria, i. e., bacterial starter cultures with different species and strain composition that are specially introduced into the mixture. The species composition of the starter must ensure the intensity and direction of the microbiological and biochemical processes of the produced product and guarantee its safety, quality and storability. In particular, lactic acid bacteria transform the main components of milk (protein, milk fat, lactose) into taste, aromatic, and biologically active substances involved in the formation of identification and organoleptic characteristics of fermented dairy products. The number of starter microorganisms in fermented dairy products, including cheeses, significantly exceeds the content of any foreign microflora and can cause the appearance of organoleptic defects such as acid, bitterness, non-specific off-taste or excessive gas formation. The ability of microorganisms to form certain metabolic products is determined both by their species and strain properties, and by cultivation conditions. These include, first of all, the composition of the development environment and temperature conditions of cultivation. By combining the composition of the starter and selecting favorable modes for cultivating microorganisms, it is possible to achieve optimal development of the starter microflora, obtaining products with the desired quality characteristics. This article presents the results of a comparative assessment of the properties of production strains of *Streptococcus thermophilus* during their development in dairy environments at optimal temperatures (41 ± 1) °C, simulating conditions for the production of fermented milk products, as well as in modes simulating cheese ripening conditions (11 ± 1) °C and 4% table salt concentration. The nature of the enzymatic processes of glycolysis, proteolysis, lipolysis, and flavor formation as a result of the metabolism of these cultures was also assessed.

FUNDING: The article was prepared as part of the research under the state assignment No. FNEN-2019-0010 of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Свириденко, Г. М., Шухалова, О. М., Данилова, Е. С. (2023). Особенности развития и метаболизма штаммов *Streptococcus thermophilus* в разных условиях глубинного жидкофазного культивирования. Пищевые системы, 6(4), 512-518. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-512-518>

FOR CITATION: Sviridenko, G. M., Shukhalova, O. M., Danilova, E. S. (2023). Peculiarities of development and metabolism of *streptococcus thermophilus* strains under different conditions of deep liquid phase cultivation. Food Systems, 6(4), 512-518. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-512-518>

1. Введение

Основой бактериальных заквасок, используемых при производстве ферментированной молочной продукции, являются кислотообразующие заквасочные микроорганизмы. Их главная функция — сбраживание лактозы и обеспечение необходимого уровня молочнокислого процесса, регламентируемого технологическими инструкциями по производству конкретного вида продукта [1]. В работах [2,3] описываются функциональные характеристики заквасочных микроорганизмов как необходимых компонентов производства ферментированной молочной продукции.

Вещества, образующиеся в результате сбраживания лактозы, не только играют важную роль в формировании вкуса, аромата, консистенции и рисунка сыров, но и в значительной степени определяют направленность физико-химических, биохимических и микробиологических процессов во время созревания сыров. Steele с соавторами [4] в своем обзоре подробно рассматривают формирование вкуса и аромата сыров под действием заквасочной микрофлоры. Группой ученых под руководством Nayaloglu [5] проведены исследования турецкого сыра, изготовленного с использованием заквасочных микроорганизмов и без них. Было установлено, что применение заквасочных культур положительно повлияло на физико-химические, биохимические и органолептические свойства сыра, в том числе на уровень растворимого азота, трихлоруксусной кислоты и накопления свободных аминокислот. Сыры, изготовленные без использования закваски, получили более низкие органолептические оценки [5].

В результате накопления молочной кислоты и снижения активной кислотности, по данным Гудкова А. В. [6], создаются условия, подавляющие развитие микрофлоры порчи. Источником энергии для такой микрофлоры служат углеводы, а также инактивирующие щелочные протеазы, которые осуществляют неспецифический для сыра протеолиз, изменяющий структуру сырной массы.

Кислотообразующие молочнокислые бактерии, входящие в состав заквасок, преимущественно включают в себя виды *Lactococcus lactis* и *Streptococcus thermophilus* [6]. Термофильный стрептококк имеет большое значение для молочной промышленности, так как широко используется для производства ферментируемых молочных продуктов, в том числе сыров [7,8]. В публикациях [9,10] дается представление о микробиоте молока и сыра, а также об их структурной и функциональной динамике в связи с различными технологиями сыроделия и влияющими на них переменными.

Бактерии рода *Streptococcus*, в соответствии с «Определителем бактерий Берджи», относятся к группе 17 «Грамположительные кокки» и являются гомоферментативными грамположительными факультативно анаэробными каталазаотрицательными молочнокислыми микроорганизмами. С точки зрения конструктивного и энергетического метаболизма *Streptococcus thermophilus* относится к хеноорганогетеротрофным бактериям, т. е. для роста и развития нуждается в средах, богатых органическими веществами и в первую очередь углеводами и белками. Для данного вида молочнокислых микроорганизмов характерен энергетический метаболизм бродильного типа, а конечными продуктами сбраживания лактозы являются лактаты, при этом процесс гликолиза проходит без газообразования [11]. Температурный диапазон роста *Streptococcus thermophilus* составляет от 15 до 55 °C, а предельная кислотность при развитии в молоке не превышает 100–140 °T. Наиболее активные кислотообразующие штаммы *Streptococcus thermophilus* при оптимальной температуре 40–42 °C свертывают молоко за 6–8 часов. Есть данные о чувствительности термофильного стрептококка к повышенным концентрациям соли (более 4,0%) [6].

Streptococcus thermophilus традиционно используется в сочетании с *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* или *Lactobacillus helveticus* для производства йогурта и сыров с высокой температурой второго нагревания, таких как эмменталь, грюйер и др. Включение термофильного стрептококка в состав закваски для изготовления сыров с чеддеризацией и термомеханической обработкой сырной массы ускоряет процессы сбраживания лактозы во время выработки продукта. Однако для полутвердых созревающих сыров с низкой температурой второго нагревания, таких как костромской, голландский, российский и др., основой бактериальных заквасок являются мезофильные лактококки вида *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и *Lactococcus cremoris* [12]. Использование в составе заквасок для этих сыров *Streptococcus thermophilus* приводит к излишнему повышению уровня молочнокислого процесса, к ухудшению их качества, к появлению таких пороков, как кислый пустой вкус, щелевидный или сетчатый рисунок, мажущая или грубая консистенция [13].

Многие штаммы термофильного стрептококка вызывают свертывание молока с появлением вязких, иногда тягучих сгустков. Это связано с их способностью образовывать полисахариды в молоке, ко-

торые содержат галактозу и глюкозу, а также небольшие количества ксилозы, арабинозы, рамнозы и маннозы [14]. Поэтому при подборе штаммов термофильного стрептококка в состав заквасок для производства определенных видов ферментируемых молочных продуктов их необходимо дифференцировать на «вязкие» и «невязкие» штаммы. Так, благодаря способности вязких штаммов влиять на состояние сгустка, термофильный стрептококк часто используют в составе заквасок для кисломолочных продуктов, в том числе для йогуртов и сметаны с целью улучшения консистенции. Применение вязких штаммов в составе закваски для производства сыра недопустимо [15].

Способность микроорганизмов накапливать те или иные продукты метаболизма во многом определяется как их свойствами, так и условиями культивирования. Комбинируя видовой и штаммовый составы заквасочной микрофлоры с учетом условий развития при производстве конкретного вида ферментируемой молочной продукции, можно добиться высокого качества и искомых органолептических показателей.

Научный интерес к проведению многочисленных исследований, направленных на раскрытие значимых аспектов физиологии конкретных штаммов термофильного стрептококка, вызван видовыми особенностями *Streptococcus thermophilus*: термостабильностью и высокой скоростью кислотообразования, особенностями метаболизма сахаров, а также способностью стрептококка продуцировать ряд важных метаболитов, влияющих на потребительские свойства ферментированных молочных продуктов [16,17]. Кроме того, на сегодняшний день наблюдается растущий спрос на качественную молочную продукцию.

Цель данной работы заключается в проведении сравнительных исследований особенностей развития и метаболизма производственных штаммов *Streptococcus thermophilus* в процессе их развития в молочных средах в оптимальных условиях, имитирующих условия производства кисломолочных продуктов, и в режимах, имитирующих условия созревания сыров.

В задачи исследований входили:

- сравнительная оценка динамики развития производственных штаммов *Streptococcus thermophilus* в молочных средах при оптимальных температурах культивирования (41 ± 1) °C, а также в режимах созревания сыров при (11 ± 1) °C и с концентрацией поваренной соли 4%;
- оценка интенсивности и направленности ферментативных процессов (таких как гликолиз, протеолиз, липолиз) и изучение накопления вкусоароматических веществ в результате метаболизма данных культур в условиях глубинного жидкофазного культивирования в молочных средах при разных температурных режимах.

2. Объекты и методы

Для исследований выбрано три производственных штамма заквасочных микроорганизмов *Streptococcus thermophilus* (223₁₅, 742₃, 115₄), регулярно включаемых в состав бактериальных заквасок. Динамику развития микроорганизмов и накопления продуктов метаболизма изучали, культивируя штаммы в стерильном молоке при заражении 1% активной культуры. При проведении эксперимента исходили из того, что разные штаммы при культивировании в молоке при оптимальных условиях и в условиях, имитирующих процесс созревания сыра, могут по-разному развиваться и метаболизировать углеводы, белки и жиры молока.

Для проведения экспериментов цельное сырое молоко стерилизовали при (121 ± 1) °C с выдержкой 15 мин, что исключает наличие остаточной микрофлоры и ее влияние на результат. Культивирование штаммов термофильного стрептококка в стерилизованном молоке осуществляли в течение 10 суток, как при оптимальной температуре развития (41 ± 1) °C и при отсутствии поваренной соли, так и при технически значимой температуре (11 ± 1) °C и с концентрацией поваренной соли 4%, что соответствует условиям созревания сыров. Количество жизнеспособных клеток и кислотообразующую активность исследуемых культур контролировали в динамике через 6, 12, 24, 48, 72, 69, 168, 240 часов.

Количество жизнеспособных клеток определяли путем посева разведений на твердую питательную среду для выявления молочнокислых микроорганизмов по ГОСТ 33951–2016¹.

Титруемую кислотность в молочных средах устанавливали по ГОСТ 3624–92².

¹ ГОСТ 33951–2016 «Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов». — М.: Стандартинформ, 2016. — 10 с.

² ГОСТ 3624–92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности». — М.: Стандартинформ, 2009. — 8 с.

Определение массовой доли лактозы, глюкозы, галактозы и молочной кислоты проводили при помощи системы капиллярного электрофореза серии «Капель-105М» («Люмэкс-Маркетинг», Россия).

Для установления характеристики процесса протеолиза, который также может повлиять на накопление вкусо-ароматических веществ, дополнительно исследовали изменение белковой фракции молока, оценивая методом Кьельдаля массовую долю общего азота по ГОСТ 23327–98³, небелкового азота — по ГОСТ Р 55246–2012⁴.

Молекулярно-массовое распределение растворимых азотистых соединений определяли методом гель-фильтрации на колонке Superose 12 10/300 GL с использованием прецизионного плунжерного насоса P-500 (Amersham Pharmacia, Швеция), УФ-детектора LKB Uvicord-III с блоком измерения и блоком управления. Гель-фильтрация относится к жидкостной хроматографии, в ходе которой молекулы анализируемой смеси разделяются по размеру за счет разной способности проникать в поры хроматографической (гель-фильтрационной) матрицы. Подготовка образца для гель-фильтрации включает обезжиривание пробы, взятие навески обезжиренной пробы, растворение ее в буферном растворе, отделение нерастворимых в воде фракций фильтрованием или центрифугированием. Элюент — водный раствор 0,05 М Na₂HPO₄ + 0,15 М NaCl, скорость подачи элюента — 0,5 мл/мин; длина волны детектора — 280 нм.

Определение жирнокислотного состава жирной фазы осуществляли методом газовой хроматографии по ГОСТ 32915–2014⁵. Использовали газовый хроматограф «Хромос ГХ-1000» («Хромос Инжиниринг», Россия), колонку CP-Sil 88 for FAME100m×0.25mm×0.2μm (Agilent Technologies, США). Объем вводимой пробы — 1 мм³; температура инжектора — 220 °C; газ-носитель — азот. Метилловые эфиры жирных кислот получали из триглицеридов переэтерификацией с метанольным раствором метилата натрия. Для идентификации метиловых эфиров жирных кислот применяли стандартную смесь Supelko 37 Component FAME Mix (Supelko, США). Расчет полученных данных проводили методом внутренней нормализации в программе «Хромос».

Качественный анализ вкусо-ароматических веществ в паровой фазе продукта проводили с использованием газового хроматографа «Цвет-800» (ОАО «Цвет», Россия) и устройства для равновесного пара, предназначенного для отбора пара, который находится в термодинамическом равновесии с жидкой конденсированной фазой с последующим дозированием отобранного пара в аналитическую колонку газового хроматографа. Метод основан на термостатировании пробы продукта в замкнутом сосуде с последующим газохроматографическим определением в паровой фазе пробы продукта индивидуальных компонентов летучих вкусоароматических веществ и их идентификации с использованием пламенно-ионизационного

детектора. Анализировали пробу исследуемого объекта массой 3 г, предварительно нагретую на водяной бане до 50 °C. Непосредственно перед проведением анализа пробу встряхивали для установления термодинамического равновесия. Длительность анализа 900 сек. Обработку полученных данных осуществляли методом внутренней нормализации с помощью программы «Цвет-Аналитик» (Россия) с последующей идентификацией.

Достоверность полученных данных подтверждается проведением экспериментов не менее чем в 3-кратной повторности с применением современных методов анализа, технологического оборудования и приборов, а также статистической обработки результатов исследований с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010. Для попарного сравнения выборок разного размера и оценки статистически значимых различий между образцами применяли HSD тест (критерий Тьюки). Уровень значимости принимали как $p \leq 0,05$. Результаты экспериментальных данных представлены в формате «среднее значение ± стандартное отклонение».

3. Результаты и обсуждение

Средние значения динамики развития трех штаммов *Streptococcus thermophilus* по количеству жизнеспособных клеток и молочнокислого процесса по изменению титруемой кислотности представлены на Рисунках 1 и 2.

Экспериментальные результаты показывают, что для всех исследованных штаммов *Streptococcus thermophilus* при оптимальных температурных режимах культивирования в молоке максимальный урожай клеток (Рисунок 1) составляет более 10^9 КОЕ/см³, для штаммов 223₁₅ и 115₄ данный показатель достигается к 8–12 часам культивирования, а для штамма 742₃ — к 18–24 часам. После достижения максимума развития штаммы *Streptococcus thermophilus* переходят к стадии вымирания, минуя стационарную фазу. Скорость вымирания клеток при оптимальных температурах культивирования крайне значительна, и к 96 часам с момента начала культивирования количество жизнеспособных клеток снижается на 5–6 порядков. При температуре культивирования $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$ в молочной среде с 4% NaCl все без исключения штаммы *Streptococcus thermophilus* не размножаются, о чем свидетельствует полное отсутствие увеличения количества жизнеспособных клеток и прироста титруемой кислотности.

Через 6–8 часов с начала культивирования в оптимальных температурных режимах разброс показателей титруемой кислотности (Рисунок 2) между штаммами значителен и колеблется в зависимости от штамма от $(70 \pm 2)^\circ\text{T}$ до $(90 \pm 4)^\circ\text{T}$. Максимальное значение титруемой кислотности для всех исследуемых штаммов *Streptococcus thermophilus* достигается к 12–16 часам культивирования и в среднем составляет $(106 \pm 5)^\circ\text{T}$.

В условиях развития штаммов термофильного стрептококка в молочной среде, имитирующих режимы созревания сыра, т. е. при температуре культивирования $(11 \pm 1)^\circ\text{C}$ с 4% NaCl, процесс сбраживания лактозы, как и молочнокислый процесс, отсутствует, что подтверждается данными, представленными в Таблице 1.

В вариантах, где *Streptococcus thermophilus* развивались в условиях оптимальной температуры, независимо от штамма, лактоза через 24 часа сбраживалась только на 33,9–26,9% от исходного количества.

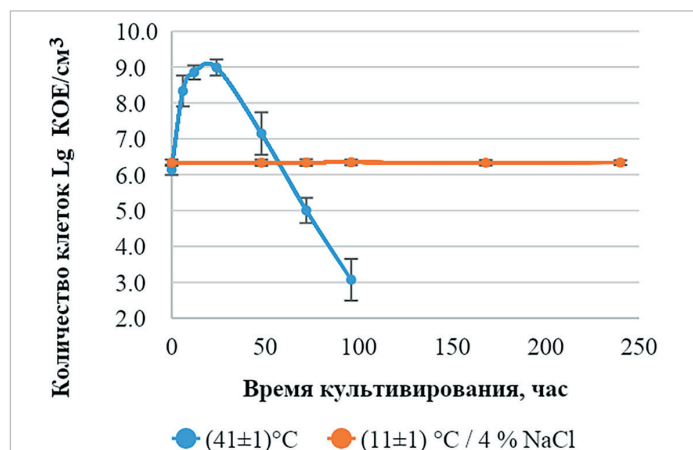


Рисунок 1. Средние значения динамики изменения количества жизнеспособных клеток, lg КОЕ/см³

Figure 1. Average values of the dynamics of changes in the number of viable cells, lg CFU/cm³

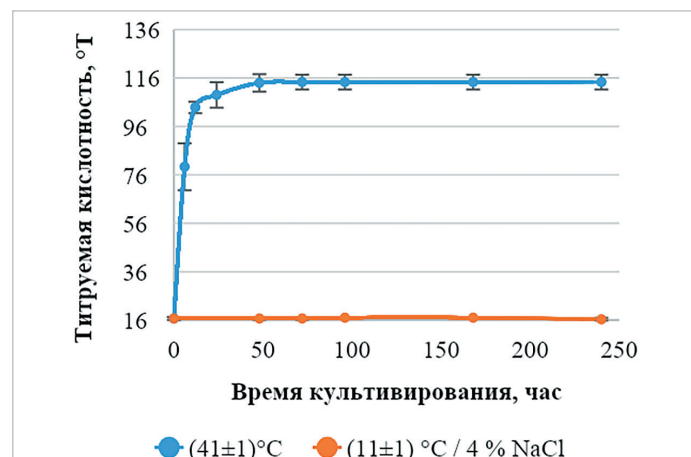


Рисунок 2. Средние значения динамики изменения титруемой кислотности, (°T)

Figure 2. Average values of the dynamics of changes in titratable acidity, (°T)

ва. Установлено, что все штаммы термофильного стрептококка при температуре $(41 \pm 1)^\circ\text{C}$ в процессе сбраживания лактозы не способны метаболизировать галактозу, что приводит к ее накоплению и к образованию меньшего количества молочной кислоты.

При развитии молочнокислых микроорганизмов в молоке происходит частичный гидролиз белков молока и переход части белка из нерастворимого состояния в растворимое. Данный процесс протекает под воздействием протеолитически активных экзоферментов, продуцируемых штаммами термофильного стрептококка в процессе развития. По литературным данным, наиболее активный протеолиз наблюдается в начале логарифмической фазы развития культуры, что свидетельствует о том, что белок в молоке расщепляется в основном протеазами растущих клеток [6].

В условиях эксперимента протеолитическую активность штаммов *Streptococcus thermophilus* оценивали по увеличению процентного содержания небелкового азота, что иллюстрирует частичную трансформацию белков молока в небелковые азотистые соединения, такие как свободные аминокислоты, пептиды и аммонийные соединения [18]. Результаты исследований приведены в Таблице 2.

Данные Таблицы 2 показывают, что испытанные штаммы *Streptococcus thermophilus* в оптимальных условиях культивирования $(41 \pm 1)^\circ\text{C}$ обладают слабой протеолитической активностью, о чем свидетельствует незначительный прирост небелкового азота в сравнении с его количеством в исходном молоке. При $(11 \pm 1)^\circ\text{C} / 4\% \text{ NaCl}$ в молочных средах у всех исследуемых штаммов процесс протеолиза, как и гликолиз, отсутствует.

Оценка изменения массовой доли небелкового азота недостаточно отражает степень протеолитического влияния на белки молока, поэтому для получения более подробной информации авторы определяли пептидный профиль в модельных молочных средах после культивирования штаммов *Streptococcus thermophilus* в течение 10 суток. Данные представлены на Рисунке 3.

Результаты молекулярно-массового распределения продуктов гидролиза белка (Рисунок 3), показывают, что все исследуемые штаммы термофильного стрептококка, независимо от условий культивирования, не проявляют существенной протеолитической активности.

Наибольшая протеолитическая активность отмечалась у *Streptococcus thermophilus* штамма 115₄, а наименьшая — у *Streptococcus thermophilus* 742₃.

Полученные результаты подтверждают данные о том, что штаммы *Streptococcus thermophilus* обладают крайне низкой протеолитической активностью, поэтому способны продуцировать в процессе развития в молочной среде даже при оптимальных температурах небольшое количество продуктов гидролиза белка [19,20].

Микроорганизмы, развиваясь в молоке и сыре, могут воздействовать и на его жировую составляющую, т. е. проявлять липолитическую активность, что важно, с одной стороны, для оценки степени зрелости сыров, а с другой — для определения хранимостепности молочных продуктов [21,22]. При этом в первую очередь гидролизу подвергаются так называемые «короткие» триглицериды, в состав которых входят низкомолекулярные жирные кислоты [23,24,25]. Свободные жирные кислоты легче вовлекаются в дальнейший процесс биохимических превращений и становятся источником образования спиртов, альдегидов и кетонов, а также способствуют трансформации ненасыщенных жирных кислот в насыщенные, что может быть причиной изменения соотношения жирных кислот в ферментированных молочных продуктах [26].

Проведены исследования жирнокислотного состава жировой фазы молока в сравнении с молочным жиром, ферментированным штаммами *Streptococcus thermophilus* в течение 10 суток при температуре $(41 \pm 1)^\circ\text{C}$ и в условиях, имитирующих процесс созревания сыров. Данные изменения жирнокислотного состава молочных сред под действием штаммов *Streptococcus thermophilus* представлены на Рисунке 4.

Данные, представленные на Рисунке 4, свидетельствуют о том, что, независимо от условий культивирования, штаммы *Streptococcus thermophilus* не проявляют липолитической активности относительно молочного жира.

Факт отсутствия липолитической активности позволяет заключить, что формирование в молоке летучих вкусоароматических веществ, таких как альдегиды, кетоны, спирты и органические кислоты, происходит в результате более глубокого разложения продуктов гликолиза и частично протеолиза.

Проведенные исследования состава летучих вкусо-ароматических веществ в молочных средах включали культивирование исследуемых штаммов *Streptococcus thermophilus* при разных режимах в течение 10 суток. Результаты данных исследований представлены в Таблице 3.)

Общее содержание вкусоароматических веществ в молоке в процессе развития штаммов *Streptococcus thermophilus* (Таблица 3) при оптимальной температуре культивирования относительно исходного молока увеличилось на $(0,35 \pm 0,02)$ нА • с. Под действием ферментов *Streptococcus thermophilus* в молочной среде при температуре $(41 \pm 1)^\circ\text{C}$ образуется широкий спектр различных летучих вкусоароматических соединений, представленных альдегидами и кетонами. Обнаруженные с помощью газо-жидкостной хроматографии равновесного пара альдегиды включают этаналь, бутаналь, пропаналь, бутаналь-2; кетоны бутанон-2 и гептанон-2. В процессе культивиро-

Таблица 1. Динамика процесса гликолиза в модельных молочных средах под действием штаммов *Streptococcus thermophilus*

Table 1. Dynamics of the process of glycolysis in model dairy media under the influence of strains of *Streptococcus thermophilus*

Образец	Условия культивирования	Лактоза, %	Галактоза, %	Молочная кислота, %
Молоко — контроль	—	$4,34 \pm 0,02^a$	—	—
<i>Streptococcus thermophilus</i> 223 ₁₅	$(41 \pm 1)^\circ\text{C}$	$2,53 \pm 0,01^b$	$0,72 \pm 0,01^a$	$0,78 \pm 0,01^a$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 223 ₁₅	$(11 \pm 1)^\circ\text{C} / 4\% \text{ NaCl}$	$4,33 \pm 0,02^c$	—	—
<i>Streptococcus thermophilus</i> 742 ₃	$(41 \pm 1)^\circ\text{C}$	$2,58 \pm 0,01^b$	$0,73 \pm 0,01^a$	$0,78 \pm 0,02^a$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 742 ₃	$(11 \pm 1)^\circ\text{C} / 4\% \text{ NaCl}$	$4,34 \pm 0,03^c$	—	—
<i>Streptococcus thermophilus</i> 115 ₄	$(41 \pm 1)^\circ\text{C}$	$2,93 \pm 0,01^d$	$0,58 \pm 0,02^b$	$0,62 \pm 0,02^b$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 115 ₄	$(11 \pm 1)^\circ\text{C} / 4\% \text{ NaCl}$	$4,31 \pm 0,03^c$	—	—

Примечание: значения с одинаковым индексом в одном столбце статистически значимо не отличаются ($p > 0,05$).

Таблица 2. Изменение массовой доли общего и небелкового азота в модельных молочных средах с внесенными штаммами *Streptococcus thermophilus*

Table 2. Changes in the mass fraction of total and non-protein nitrogen in model dairy media with introduced strains of *Streptococcus thermophilus*

Образец	Условия культивирования	Массовая доля общего азота, %	Массовая доля небелкового азота, %	Массовая доля небелкового азота в общей м. д. азота, %
Молоко контроль	—	$0,464 \pm 0,017^a$	$0,017 \pm 0,02^a$	$3,66 \pm 0,21^a$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 115 ₄	$(41 \pm 1)^\circ\text{C}$	$0,468 \pm 0,024^a$	$0,033 \pm 0,03^b$	$7,05 \pm 0,33^b$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 115 ₄	$(11 \pm 1)^\circ\text{C} / 4\% \text{ NaCl}$	$0,464 \pm 0,018^a$	$0,018 \pm 0,01^a$	$4,09 \pm 0,11^c$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 742 ₃	$(41 \pm 1)^\circ\text{C}$	$0,466 \pm 0,011^a$	$0,025 \pm 0,01^c$	$5,36 \pm 0,14^d$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 742 ₃	$(11 \pm 1)^\circ\text{C} / 4\% \text{ NaCl}$	$0,462 \pm 0,021^a$	$0,017 \pm 0,02^a$	$3,67 \pm 0,26^a$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 223 ₁₅	$(41 \pm 1)^\circ\text{C}$	$0,461 \pm 0,016^a$	$0,027 \pm 0,02^c$	$5,85 \pm 0,11^o$
<i>Streptococcus thermophilus</i> 223 ₁₅	$(11 \pm 1)^\circ\text{C} / 4\% \text{ NaCl}$	$0,466 \pm 0,012^a$	$0,017 \pm 0,01^a$	$3,64 \pm 0,13^a$

Примечание: значения с одинаковым индексом в одном столбце статистически значимо не отличаются ($p > 0,05$).

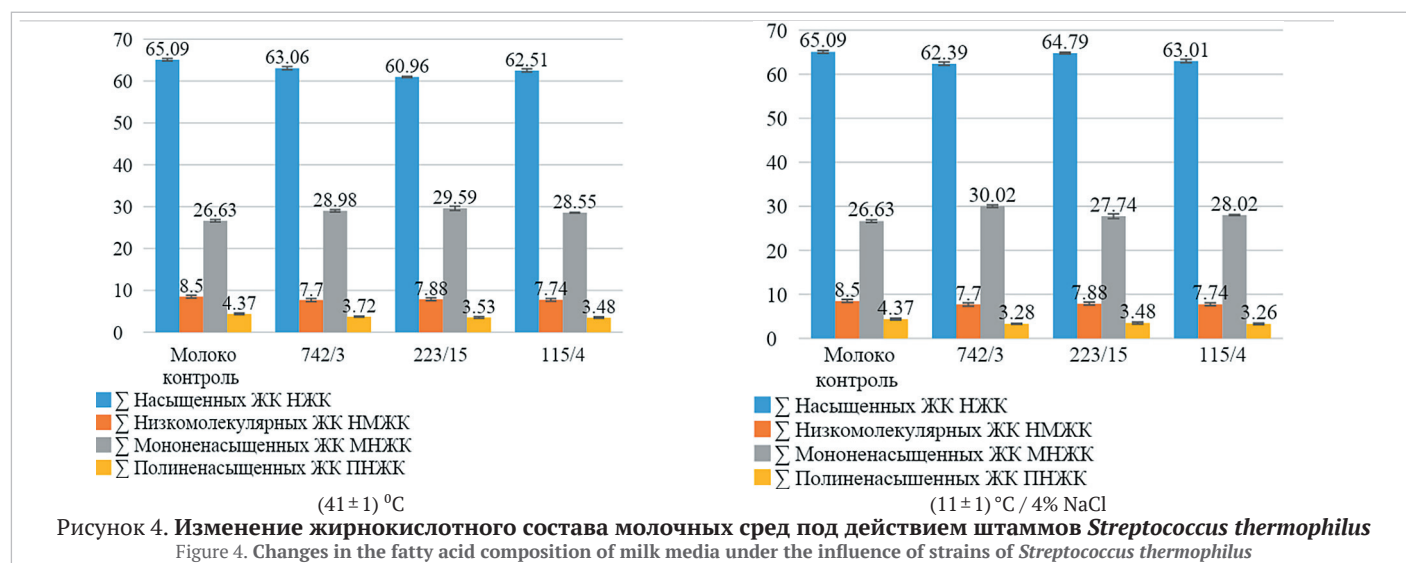
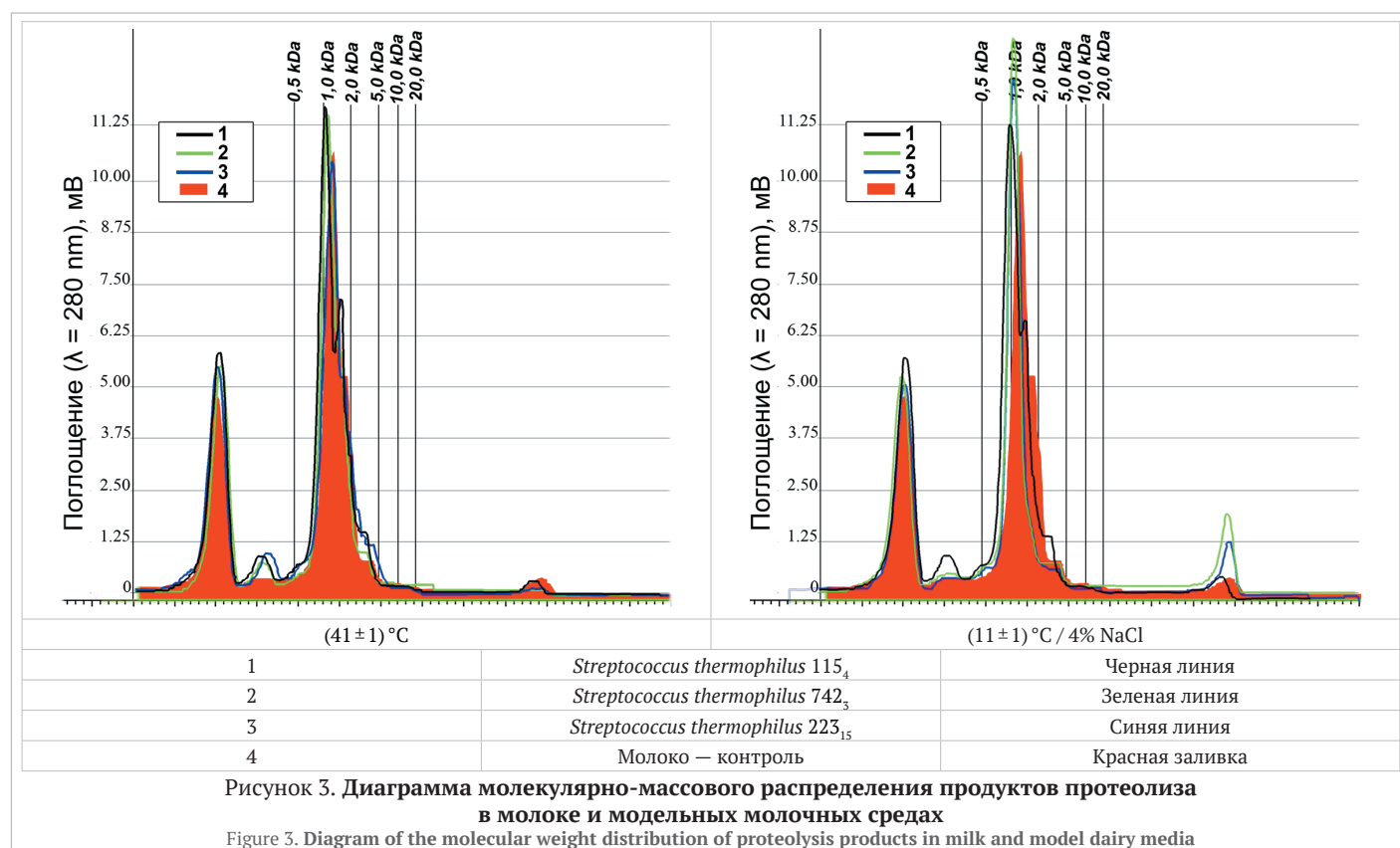


Таблица 3. Содержание вкусоароматобразующих веществ в паровой фазе молочных сред с внесенными штаммами *Streptococcus thermophilus*

Table 3. The content of flavoring substances in the vapor phase of dairy media with strains of *Streptococcus thermophilus* introduced

Образец	Общее к-во ЛВБВ, нА-с	Альдегиды, % от ВБВ				Кетоны, % от ВБВ		К-ты, % от ВБВ
		Этаналь	Бутаналь	Пропаналь	Бутаналь-2	Бутанон-2	Гептанон-2	
Молоко-контроль	0,12±0,01	0,27±0,05	26,62±0,12	28,62±0,21	7,55±0,02	—	4,91±0,11	0,37±0,02
<i>Streptococcus thermophilus</i> 223 ₁₅ (41±1) °C	0,47±0,03	75,35±0,16	14,09±0,05	—	1,92±0,09	2,58±0,07	6,09±0,19	—
<i>Streptococcus thermophilus</i> 223 ₁₅ (11±1) °C / 4% NaCl	0,11±0,01	0,28±0,11	25,62±0,24	27,79±0,13	7,57±0,11	—	4,93±0,01	0,33±0,11
<i>Streptococcus thermophilus</i> 742 ₃ (41±1) °C	0,42±0,03	78,54±0,01	10,79±0,15	—	1,97±0,17	2,44±0,01	6,02±0,08	—
<i>Streptococcus thermophilus</i> 742 ₃ (11±1) °C / 4% NaCl	0,12±0,01	0,26±0,03	26,83±0,09	28,39±0,16	7,47±0,08	—	4,90±0,03	0,35±0,03
<i>Streptococcus thermophilus</i> 115 ₄ (41±1) °C	0,45±0,02	79,51±0,06	9,77±0,06	—	1,84±0,12	2,52±0,03	6,11±0,02	—
<i>Streptococcus thermophilus</i> 115 ₄ (11±1) °C / 4% NaCl	0,10±0,01	0,28±0,05	26,89±0,09	27,17±0,18	7,65±0,07	—	4,89±0,13	0,39±0,01

вания во всех исследуемых штаммах *Streptococcus thermophilus* были отмечены следующие изменения: появление бутанона-2, увеличение количества этанала и гептанона-2, снижение содержания бутанала и бутенала-2, а также полная утилизация пропаналя и масляной кислоты. Преобладающим вкусом-ароматическим соединением является этаналь, который составляет (77,8 ± 1,7)% от веществ общего количества. Полученные результаты подтверждают литературные данные о том, что ацетальдегид, или этаналь, является ключевым ароматическим соединением в кисломолочных продуктах [27,28,29]. В условиях, имитирующих процессы созревания сыров (11 ± 1) °C / 4% NaCl, во всех штаммах *Streptococcus thermophilus* общее количество вкусоароматических веществ и их соотношение остаются на исходном уровне.

3. Выводы

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что:

- динамика развития и кислотообразования исследуемых штаммов *Streptococcus thermophilus* в молоке при оптимальных условиях культивирования (41 ± 1 °C) зависит от свойств конкретных штаммов, входящих в состав бактериальных заквасок;
- в модельной молочной среде, имитирующей условия созревания сыров, процессы как кислотообразования, так и развития штаммов *Streptococcus thermophilus* полностью отсутствуют;

- процесс гликолиза, то есть гидролиз лактозы, независимо от исследуемых штаммов, протекает с образованием галактозы как промежуточного продукта гликолиза. Лактоза сброжена на (30 ± 4)%, что обусловлено незначительной буферностью молочной среды;
- исследуемые штаммы *Streptococcus thermophilus* не проявляют липолитической и обладают слабой протеолитической активностью;
- образование летучих вкусоароматических веществ в молоке под действием штаммов *Streptococcus thermophilus* при оптимальных условиях культивирования (41 ± 1 °C) происходит за счет глубокой деградации продуктов гликолиза и протеолиза.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают целесообразность использования термофильного стрептококка в качестве кислотообразующих заквасочных микроорганизмов при производстве ферментируемых молочных продуктов, с учетом необходимости подбора штаммов *Streptococcus thermophilus* по их скорости развития кислотообразования. Однако невозможность развития и метаболизма штаммов термофильного стрептококка в молочных средах в условиях, имитирующих режимы созревания сыров, а также практическое отсутствие протеолитической и липолитической активностей относительно белков молока и молочного жира говорят о нецелесообразности рассмотрения *Streptococcus thermophilus* в качестве созревающей культуры в сыроделии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перфильев, Г. Д., Свириденко, Ю. Я. (2006). Производство и применение бактериальных концентратов. *Сыроделие и маслоделие*, 3, 24–29.
2. Wedajo, B. (2015). Lactic acid bacteria: Benefits, selection criteria and probiotic potential in fermented food. *Journal of Probiotics and Health*, 3(2), Article 1000129. <https://doi.org/10.4172/2329-8901.1000129>
3. González-González, F., Delgado, S., Ruiz, L., Margolles, A., Ruas-Madiedo, P. (2022). Functional bacterial cultures for dairy applications: Towards improving safety, quality, nutritional and health benefit aspects. *Journal of Applied Microbiology*, 133(1), 212–229. <https://doi.org/10.1111/jam.15510>
4. Steele, J., Broadbent, J., Kok, J. (2013). Perspectives on the contribution of lactic acid bacteria to cheese flavor development. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(2), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.12.001>
5. Hayaloglu, A. A., Guven, M., Fox, P. F., McSweeney, P. L. H. (2005). Influence of starters on chemical, biochemical, and sensory changes in Turkish white-brined cheese during ripening. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3460–3474. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73030-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73030-7)
6. Гудков, А. В. (2004). Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. М.: ДеЛи принт, 2004.
7. Hols, P., Hancy, F., Fontaine, L., Grossiord, B., Prozzi, D., Leblond-Bourget, N. et al. (2005). New insights in the molecular biology and physiology of *Streptococcus thermophilus* revealed by comparative genomics. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(3), 435–463. <https://doi.org/10.1016/j.fmr.2005.04.008>
8. Сорокина, Н. П. (2013). Обзор рынка бактериальных заквасок. *Сыроделие и маслоделие*, 4, 10–13.
9. Gobetti, M., Di Cagno, R., Calasso, M., Neviani, E., Fox, P. F., De Angelis, M. (2018). Drivers that establish and assemble the lactic acid bacteria biota in cheeses. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.010>
10. Tilocca, B., Costanzo, N., Morittu, V. M., Spina, A. A., Soggiu, A., Britti, D. et al. (2020). Milk microbiota: Characterization methods and role in cheese production. *Journal of Proteomics*, 210, Article 103534. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103534>
11. Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., Williams, S. T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Lippincott Williams and Wilkins, 1994.
12. Сорокина, Н. П., Кураева, Е. В., Кучеренко, И. В. (2016). Бактериальные закваски для производства сыров. *Сыроделие и маслоделие*, 4, 26–31.
13. Knight, G. C., Nicol, R. S., McMeekin, T. A. (2004). Temperature step changes: a novel approach to control biofilms of *Streptococcus thermophilus* in a pilot plant-scale cheese-milk pasteurisation plant. *International Journal of Food Microbiology*, 93(3), 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodmicro.2003.11.013>
14. Xu, Z., Guo, Q., Zhang, H., Wu, Y., Hang, X., Ai, L. (2018). Exopolysaccharide produced by *Streptococcus thermophilus* S-3: Molecular, partial structural and rheological properties. *Carbohydrate Polymers*, 194, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.014>
15. Cui, Y., Jiang, X., Hao, M., Qu, X., Hu, T. (2017). New advances in exopolysaccharides production of *Streptococcus thermophilus*. *Archives of Microbiology*, 199, 799–809. <https://doi.org/10.1007/s00203-017-1366-1>
16. Bolotin, A., Quinquis, B., Renault, P., Sorokin, A., Ehrlich, S. D., Kulakauskas, S. et al. (2004). Complete sequence and comparative genome analysis of the dairy bacterium *Streptococcus thermophilus*. *Nature Biotechnology*, 22(12), 1554–1558. <https://doi.org/10.1038/nbt1034>
17. Markakiou, S., Gaspar, P., Johansen, E., Zeidan, A. A., Neves, A. R. (2020). Harnessing the metabolic potential of *Streptococcus thermophilus* for new biotechnological applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.019>
18. Töpel, A. (1976). *Chemie und Physik der Milch*. Fachbuchverlag, 1976. (In German)
19. Rodríguez-Serrano, G. M., García-Garibay, J. M., Cruz-Guerrero, A. E., Gómez-Ruiz, L. d. C., Ayala-Nino, A., Castaneda-Ovando, A. (2018). Proteolytic system of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 8(10), 581–1588. <https://doi.org/10.4014/jmb.1807.07017>
20. Hafeez, Z., Cakir-Kiefer, C., Lecomte, X., Miclo, L., Dary-Mourot, A. (2019). The X-prolyl dipeptidyl-peptidase PepX of *Streptococcus thermophilus* initially described as intracellular is also responsible for peptidase extracellular activity. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 113–123. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14823>
21. Тишкина, Т. Н., Вельматов, А. А., Ерофеев, В. И. (2023). Влияние периода года на жирнокислотный состав молочного жира и качество масла. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*, 1(61), 155–160. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-155-160>
22. Topnikova, E. V., Zabolotin, G. Y., Danilova, E. S., Dunaev, A. V. (2022). Influence of diets, lactating animal breeds and seasons of the year on the fatty acid composition of cow milk. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1052(1), Article 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012042>
23. Wu, S. L., Sun, J., Chen, X., Wei, W., Song, L., Dai, X. et al. (2020). Unveiling the mechanisms of medium-chain fatty acid production from waste activated sludge alkaline fermentation liquor through physiological, thermodynamic and metagenomic investigations. *Water Research*, 169(1), Article 115218. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115218>
24. Ариповский, А. В., Титов, В. Н. (2013). Физиология среднепочечных жирных кислот. Физиология, особенности метаболизма и применение в клинике. Клиническая лабораторная диагностика, 6, 3–10.
25. Roopashree, P. G., Shetty, S. S., Kumari, N. S. (2021). Effect of medium chain fatty acid in human health and disease. *Journal of Functional Foods*, 87, Article 104724. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104724>
26. Holland, R., Liu, S.-Q., Crow, V. L., Delabre, M. L., Lubbers, M., Bennett, M. et al. (2005). Esterases of lactic acid bacteria and cheese flavour: Milk fat hydrolysis, alcoholysis and esterification. *International Dairy Journal*, 15(6–9), 711–718. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.09.012>
27. Zha, M., Yu, J., Zhang, Y., Wang, H., Bai, N., Qin, Y. et al. (2015). Study on *Streptococcus thermophilus* isolated from Qula and associated characteristic of acetaldehyde and diacetyl in their fermented milk. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 61(2), 50–56. <https://doi.org/10.2323/jgam.61.50>
28. Valero, E., Villamiel, M., Miralles, B., Sanz, J., Martinez-Castro, I. (2001). Changes in flavour and volatile components during storage of whole and skimmed UHT milk. *Food Chemistry*, 72(1), 51–58. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00203-X)
29. Chaves, A. C. S. D., Fernandez, M., Lerayer, A. L. S., Mierau, I., Kleerebezem, M., Hugenholtz, J. (2002). Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(11), 5656–5662. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.11.5656-5662.2002>

REFERENCES

1. Perfil'ev, G. D., Sviridenko, Yu. Ya. (2006). Production and applications of bacteriological concentrates. *Cheesemaking and Buttermaking*, 3, 24–29. (In Russian)
2. Wedajo, B. (2015). Lactic Acid bacteria: Benefits, selection criteria and probiotic potential in fermented food. *Journal of Probiotics and Health*, 3(2), Article 1000129. <https://doi.org/10.4172/2329-8901.1000129>
3. González-González, F., Delgado, S., Ruiz, L., Margolles, A., Ruas-Madiedo, P. (2022). Functional bacterial cultures for dairy applications: Towards improving safety, quality, nutritional and health benefit aspects. *Journal of Applied Microbiology*, 133(1), 212–229. <https://doi.org/10.1111/jam.15510>
4. Steele, J., Broadbent, J., Kok, J. (2013). Perspectives on the contribution of lactic acid bacteria to cheese flavor development. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(2), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.12.001>
5. Hayaloglu, A. A., Guven, M., Fox, P. F., McSweeney, P. L. H. (2005). Influence of starters on chemical, biochemical, and sensory changes in Turkish white-brined

- cheese during ripening. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3460–3474. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73030-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73030-7)
6. Gudkov, A. V. (2004). Cheese making: technological, biological and physico-chemical aspects. Moscow: DeLi print, 2004. (In Russian)
 7. Hols, P., Hancy, F., Fontaine, L., Grossiord, B., Prozzi, D., Leblond-Bourget, N. et al. (2005). New insights in the molecular biology and physiology of *Streptococcus thermophilus* revealed by comparative genomics. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(3), 435–463. <https://doi.org/10.1016/j.fmrre.2005.04.008>
 8. Sorokina, N. P. (2013). Review of the starter cultures market *Cheesemaking and Buttermaking*, 4, 10–13. (In Russian)
 9. Gobbeti, M., Di Cagno, R., Calasso, M., Neviani, E., Fox, P. F., De Angelis, M. (2018). Drivers that establish and assembly the lactic acid bacteria biota in cheeses. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.010>
 10. Tilocca, B., Costanzo, N., Morittu, V. M., Spina, A. A., Soggiu, A., Britti, D. et al. (2020). Milk microbiota: Characterization methods and role in cheese production. *Journal of Proteomics*, 210, Article 103534. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103534>
 11. Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., Williams, S. T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Lippincott Williams and Wilkins, 1994.
 12. Sorokina, N. P., Kuraeva, E. V., Kucherenko, I. V. (2016). Bacterial starters for cheese production. *Cheesemaking and Buttermaking*, 4, 26–31. (In Russian)
 13. Knight, G. C., Nicol, R. S., McMeekin, T. A. (2004). Temperature step changes: a novel approach to control biofilms of *Streptococcus thermophilus* in a pilot plant-scale cheese-milk pasteurisation plant. *International Journal of Food Microbiology* 93(3), 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2003.11.013>
 14. Xu, Z., Guo, Q., Zhang, H., Wu, Y., Hang, X., Ai, L. (2018). Exopolysaccharide produced by *Streptococcus thermophilus* S-3: Molecular, partial structural and rheological properties. *Carbohydrate Polymers*, 194, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.014>
 15. Cui, Y., Jiang, X., Hao, M., Qu, X., Hu, T. (2017). New advances in exopolysaccharides production of *Streptococcus thermophilus*. *Archives of Microbiology*, 199, 799–809. <https://doi.org/10.1007/s00203-017-1366-1>
 16. Bolotin, A., Quinquis, B., Renault, P., Sorokin, A., Ehrlich, S. D., Kulaukasas, S. et al. (2004). Complete sequence and comparative genome analysis of the dairy bacterium *Streptococcus thermophilus*. *Nature Biotechnology*, 22(12), 1554–1558. <https://doi.org/10.1038/nbt1034>
 17. Markakiou, S., Gaspar, P., Johansen, E., Zeidan, A. A., Neves, A. R. (2020). Harnessing the metabolic potential of *Streptococcus thermophilus* for new biotechnological applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.019>
 18. Töpel, A. (1976). *Chemie und Physik der Milch*. Fachbuchverlag, 1976. (In German)
 19. Rodriguez-Serrano, G. M., Garcia-Garibay, J. M., Cruz-Guerrero, A. E., Gomez-Ruiz, L. d. C., Ayala-Nino, A., Castaneda-Ovando, A. (2018). Proteolytic system of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 8(10), 581–1588. <https://doi.org/10.4014/jmb.1807.07017>
 20. Hafeez, Z., Cakir-Kiefer, C., Lecomte, X., Miclo, L., Dary-Mourot, A. (2019). The X-prolyl dipeptidyl-peptidase PepX of *Streptococcus thermophilus* initially described as intracellular is also responsible for peptidase extracellular activity. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 113–123. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14823>
 21. Tishkina, T. N., Velmatov, A. A., Erofeev, V. I. (2023). Effect of the year season on fatty acid composition of milk fat and butter quality. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 1(61), 155–160. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-155-160> (In Russian)
 22. Topnikova, E. V., Zabolotin, G. Y., Danilova, E. S., Dunaev, A. V. (2022). Influence of diets, lactating animal breeds and seasons of the year on the fatty acid composition of cow milk. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1052(1), Article 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012042>
 23. Wu, S. L., Sun, J., Chen, X., Wei, W., Song, L., Dai, X. et al. (2020). Unveiling the mechanisms of medium-chain fatty acid production from waste activated sludge alkaline fermentation liquor through physiological, thermodynamic and metagenomic investigations. *Water Research*, 169(1), Article 115218. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115218>
 24. Aripovsky, A. V., Titov, V. N. (2013). The medium chain fat acids. content in food. Physiology, characteristics of metabolism and application in clinical practice. *Clinical Laboratory Diagnostics*, 6, 3–10. (In Russian)
 25. Roopashree, P. G., Shetty, S. S., Kumari, N. S. (2021). Effect of medium chain fatty acid in human health and disease. *Journal of Functional Foods*, 87, Article 104724. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104724>
 26. Holland, R., Liu, S.-Q., Crow, V. L., Delabre, M. L., Lubbers, M., Bennett, M. et al. (2005). Esterases of lactic acid bacteria and cheese flavour: Milk fat hydrolysis, alcoholysis and esterification. *International Dairy Journal*, 15(6–9), 711–718. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.09.012>
 27. Zha, M., Yu, J., Zhang, Y., Wang, H., Bai, N., Qin, Y. et al. (2015). Study on *Streptococcus thermophilus* isolated from Qula and associated characteristic of acet-aldehyde and diacetyl in their fermented milk. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 61(2), 50–56. <https://doi.org/10.2323/jgam.61.50>
 28. Valero, E., Villamiel, M., Miralles, B., Sanz, J., Martinez-Castro, I. (2001). Changes in flavour and volatile components during storage of whole and skimmed UHT milk. *Food Chemistry*, 72(1), 51–58. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00203-X)
 29. Chaves, A. C. S. D., Fernandez, M., Lerayer, A. L. S., Mierau, I., Kleerebezem, M., Hugenholtz, J. (2002). Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(11), 5656–5662. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.11.5656-5662.2002>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Свириденко Галина Михайловна — доктор технических наук, главный научный сотрудник, руководитель направления микробиологических исследований молока и молочных продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-325-48-64 E-mail: g.sviridenko@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9586-3786 * автор для контактов Шухалова Ольга Михайловна — младший научный сотрудник, отдел микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-485-329-81-52 E-mail: o.shukhalova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7665-8517 Данилова Екатерина Сергеевна — научный сотрудник, отдел маслоделия, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-960-527-61-48 E-mail: e.danilova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5522-224X	Galina M. Sviridenko, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Head of Research Department of Microbiology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-325-48-64 E-mail: g.sviridenko@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1231-8388 * corresponding author Olga M. Shukhalova, Junior Researcher, Department of Microbiology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-485-329-81-52 E-mail: o.shukhalova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7665-8517 Ekaterina S. Danilova, Researcher, Buttermaking Department, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-960-527-61-48 E-mail: e.danilova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5522-224X
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.