УДК 637.1:602.4

Оригинальная статья

Антагонистическая активность лактобацилл по отношению к коллекционному штамму *Escherichia coli* ВКВМ-125

Анастасия Леонидовна Бруцкая, аспирант, инженер по контролю качества
E-mail: a.bruckaya@fncps.ru
Ирина Валентиновна Кучеренко, старший научный сотрудник
E-mail: i.kucherenko@fncps.ru
Нинель Петровна Сорокина, канд. техн. наук, руководитель экспериментальной биофабрики
E-mail: n.sorokina@fncps.ru
Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, г. Углич

В работе приведены экспериментальные данные об антагонистической активности мезофильных лактобацилл *Lacticaseibacillus casei* 738-11, *L. paracasei* К-6, *L. rhamnosus* П, *Lactiplantibacillus plantarum* 28 и 37, *Limosilactobacillus fermentum* 39 из коллекции микроорганизмов ВНИИМС по отношению к *Escherichia coli*. Установлено, что степень ингибирующего действия изученных культур является штаммовым признаком. Размер зон ингибирования методом перпендикулярных штрихов составил у *L. casei* 738-11 – 9,3 мм, *L. paracasei* К-6 – 11,3 мм, *L. rhamnosus* П – 10,3 мм, *L. plantarum* 28 – 12 мм, *L. plantarum* 37 – 11,7 мм. При совместном культивировании в молоке лактобациллы не оказывали влияния на рост *E. coli* в первые 24 ч, но значительно ускоряли ее вымирание. Самая высокая скорость вымирания *E. coli* наблюдалась в совместной культуре с *L. rhamnosus* П, через 48 ч число клеток *E. coli* снизилось на 4 порядка, а через 72 – на 6,5 порядков по сравнению с контролем. Не выявлено зависимости между скоростью кислотообразования и антагонистической активностью лактобацилл.

Ключевые слова: лактобациллы, антагонистическая активность, кишечная палочка

Для цитирования: Бруцкая, А. Л. Антагонистическая активность лактобацилл по отношению к коллекционному штамму *Escherichia coli* ВКВМ-125 / А. Л. Бруцкая, И. В. Кучеренко, Н. П. Сорокина // Сыроделие и маслоделие. 2025. № 1. С. 53–59. https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-1-12

Введение

В основе биотехнологии сыроделия лежат биохимические и микробиологические процессы, обусловленные жизнедеятельностью заквасочных микроорганизмов. Однако, в сырах наряду с заквасочной микрофлорой нередко встречаются и технически вредные микроорганизмы, которые могут привести к появлению различных пороков и ухудшению качества готовой продукции. К технически вредным в сыроделии относятся бактерии группы кишечных палочек (БГКП), споровые аэробные и анаэробные микроорганизмы, дрожжи, плесени и др.

Бактерии группы кишечных палочек являются одними из наиболее распространенных возбудителей различных пороков полутвердых сыров: нечистый вкус и запах, неправильный броженый рисунок и даже вспучивание головок сыра. При достижении концентрации клеток БГКП до 10^5 КОЕ/г в сырах появляются пороки вкуса, обусловленные особенностью метаболизма этих микроорганизмов. Кишечные палочки ферментируют лактозу с образованием различных веществ: уксусной, молочной, янтарной, муравьиной кислот; этилового спирта; 2,3-бутиленгликоля; а также углекислого газа и водорода [1].

Наряду со стандартными мерами предотвращения размножения кишечных палочек в сыре до опасного уровня, заключающимися в обеспечении высокого уровня санитарии и гигиены производства, большое внимание уделяется использованию биологических методов борьбы с технически вредными микроорганизмами. Это направление в нашей стране развивалось с 1970-ых годов под руководством заведующего отделом микробиологии ВНИИМС доктора технических наук Гудкова А. В. В частности, выпускалась моновидовая антагонистическая закваска молочнокислых палочек против маслянокислых бактерий, затем были разработаны поливидовые бактериальные концентраты, обладающие антагонистическим действием на маслянокислые бактерии (Биоантибут) и бактерии группы кишечных палочек (БК-Углич-5А), включающие лактококки и молочнокислые палочки вида *Lactiplantibacillus plantarum*, а также моновидовой концентрат БК-Углич-П [1].

Быстрый рост и высокая метаболическая активность микрофлоры основных заквасок подавляют развитие посторонних, нежелательных микробных загрязнителей. Тем не менее,

Источник изображения: freepik.com

в последние годы ведется активный поиск штаммов-антагонистов среди молочнокислых бактерий, а видовой спектр лактобацилл с направленным действием против микроорганизмов порчи существенно расширился. Появилась обособленная группа так называемых защитных культур, подавляющих развитие различных бактерий, дрожжей и плесеней в ферментированных молочных продуктах [2, 3]. В целом для современной прикладной микробиологии характерно направление поиска новых штаммов лактобактерий с производственно ценными свойствами с целью использования их при изготовлении различных пищевых продуктов. Большое внимание уделяется изучению ингибирующего действия на различные микроорганизмы порчи и патогенные бактерии мезофильных лактобацилл как с точки зрения их использования в составе защитных заквасок для ферментированных молочных продуктов, так и как пробиотических культур [4, 5].

Молочнокислые бактерии составляют основу бактериальных заквасок для производства ферментированной молочной продукции. В составе сырных заквасок используются лактококки, лейконостоки, термофильный стрептококк, мезофильные и термофильные лактобациллы [1, 6]. Мезофильные лактобациллы в последние годы используются в сыроделии все активнее благодаря их технологически важным свойствам – высокой протеолитической активности и влиянию на формирование разнообразных вкусовых профилей сыров. Видовой состав лактобацилл, используемых в сыроделии, существенно расширился и включает следующие виды: *Lacticaseibacillus casei*, *L. paracasei*, *L. rhamnosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Lactobacillus sakei*, *L. nodensis* и др. [6–8].

Помимо производственно ценных свойств лактобацилл установлено, что при ферментации белков молочнокислыми бактериями в процессе производства кисломолочных продуктов и сыров из молочных белков высвобождаются биоактивные пептиды, оказывающие положительное влияние на различные физиологические функции организма человека, и не только на желудочно-кишечную, но и на сердечно-сосудистую, эндокринную, нервную, иммунную системы. Ведутся исследования по получению биоактивных пептидов для применения их в лечебных и профилактических целях [9–11].

Источник изображения: t.me/handicraftcheese1

Однако эти технологии довольно сложные и поэтому сыры с достаточно глубоким протеолизом молочных белков, в аминокислотных последовательностях которых были обнаружены биоактивные пептиды, могут служить источником этих соединений, являясь не лекарством, а полноценным продуктом питания.

Одной из значимых характеристик при отборе молочнокислых палочек в состав бактериальных заквасок для различных пищевых и кормовых продуктов и пробиотических препаратов считается их антимикробная активность, в т. ч. к кишечной палочке. В ряде работ сообщается о способности различных лактобацилл в той или иной степени подавлять развитие *Escherichia coli* и других энтеробактерий. Механизмы ингибирования роста микроорганизмов молочнокислыми бактериями обусловлены целым рядом продуктов метаболизма, к которым относятся низкомолекулярные кислоты, обеспечивающие неспецифический антагонизм и подавление роста бактерий за счет снижения pH среды, а также вещества, специфически воздействующие на микроорганизмы – бактериоцины, перекись водорода, диацетил и др.[1] [4, 12, 13]. При совместном развитии в питательных средах и при изготовлении молочных продуктов ингибирующее действие является результатом комплексного воздействия метаболитов, а также конкуренции за источники энергии и различные факторы роста.

Для определения антагонистической активности лактобактерий используются различные методы. Одним из распространенных методов является метод отсроченного антагонизма с использованием плотных питательных сред – метод перпендикулярных штрихов, блоков, лунок. Кроме этого, используется совместное культивирование в различных жидких питательных средах или внесение в среды бесклеточных метаболитов. Эти методы принято относить к группе методов *in vitro*. Более информативными являются методы *in situ*, когда процесс взаимодействия микроорганизмов изучается в конкретных условиях их сосуществования и взаимодействия, в частности, при изготовлении сыров [14]. Однако изучение ингибирующего действия заквасочных бактерий в сырах требует искусственного заражения технически вредными или патогенными микроорганизмами, что значительно усложняет проведение этих исследований. Исходя из этого, первоначально при поиске перспективных штаммов целесообразно установить наличие антагонистической активности и отобрать активные культуры более простыми методами.

Цель работы – изучение антагонистической активности коллекционных лактобацилл, перспективных для использования в сыроделии и расширения ассортимента отечественных бактериальных заквасок.

[1]Отт, Е. Ф. Изучение пробиотических штаммов лактобацилл с целью их дальнейшего применения в составе бактериальных препаратов для сельскохозяйственных животных и птиц / Е. Ф. Отт, Т. Н. Орлова // От биопродуктов к биоэкономике : материалы iv межрегиональной научно-практической конференции (с международным участием). Барнаул: Алтайский государственный университет, 2021. С. 293–295. https://elibrary.ru/dtveci

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись 6 штаммов молочнокислых палочек из коллекции микроорганизмов ВНИИМС: *Lacticaseibacillus casei* 738-11, *L. paracasei* K-6, *L. rhamnosus* П, *Lactiplantibacillus plantarum* 28 и 37, *Limosilactobacillus fermentum* 39. В качестве тест-культуры для оценки антагонистической активности использовали штамм *Escherichia coli* ВКВМ-125, как являющийся типичным представителем бактерий группы кишечных палочек.

Антагонистическую активность исследуемых культур в отношении кишечной палочки определяли методом перпендикулярных штрихов, путем совместного культивирования и при выращивании в питательной среде с добавлением бесклеточных метаболитов лактобацилл. Для накопления жизнеспособных клеток молочнокислых палочек использовали жидкую питательную среду MRS, 10 % стерильное обезжиренное восстановленное молоко, которые инокулировали 0,1 % исходной культуры и термостатировали при температуре (30 ± 1) °С в течение 24 ч. Тест-культуру *E. coli* выращивали в мясопептонном бульоне при температуре (37 ± 1) °С в течение 18 ч.

При определении антагонистической активности перпендикулярными штрихами поверхность предварительно разлитой и подсушенной твердой среды MRS засевали штрихом исследуемой культуры, инкубировали в течение 48 ч при температуре (30 ± 1) °С для накопления и диффузии метаболитов в агар. Далее подсевали штрихом тест-культуру *E. coli*, начиная от края чашки перпендикулярно в направлении штриха испытуемой лактобациллы, культивировали при температуре (37 ± 1) °С в течение 24 ч, после чего измеряли зону задержки роста кишечной палочки.

При совместном культивировании в стерильное обезжиренное молоко вносили 18-часовую культуру *E. coli* в количестве 1 см^3 5-го разведения на 100 см^3 молока и 0,1 % исследуемого штамма лактобациллы, термостатировали при температуре (37 ± 1) °С в течение 72 ч. Количество жизнеспособных клеток кишечной палочки определяли по ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа». Бесклеточные метаболиты получали путем вакуумного фильтрования культуральной жидкости лактобацилл, выращенных на жидкой среде MRS при температуре (30 ± 1) °С в течение 48 ч, через мембранный фильтр с размером пор 0,22 мкм с последующей нейтрализацией до (6,5 ± 0,1) ед. pH. Скорость вымирания определяли по формуле:

$$V = \frac{\lg N - \lg No}{t,}$$

где N и No – количество клеток в момент времени, t – время, ч.

Опыты проводили в трехкратной повторности. Результаты математической обработки выполняли с доверительной вероятностью $P = 0{,}95$. Статистическую обработку полученных данных и построение графиков проводили с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Результаты определения антагонистической активности мезофильных лактобацилл, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о наличие зон ингибирования тест-культуры *Escherichia coli* у всех исследованных штаммов. Наиболее выраженное ингибирующее действие проявили штаммы *Lactiplantibacillus plantarum* 28 и 37, зоны ингибирования у которых составили 12,0 мм и 11,7 мм, соответственно. Высокая антагонистическая активность отмечена у *Lacticaseibacillus paracasei* K-6 (11,3 мм) и *L. rhamnosus* П (10,3 мм), более низкую активность проявили штаммы *L. casei* 738-11 (9,3 мм) и *Limosilactobacillus fermentum* 39 (8,0 мм).

Полученные данные согласуются с выводами других исследователей о штаммовом характере этого свойства у молочнокислых палочек в отношении различных видов микроорганизмов [4, 10].

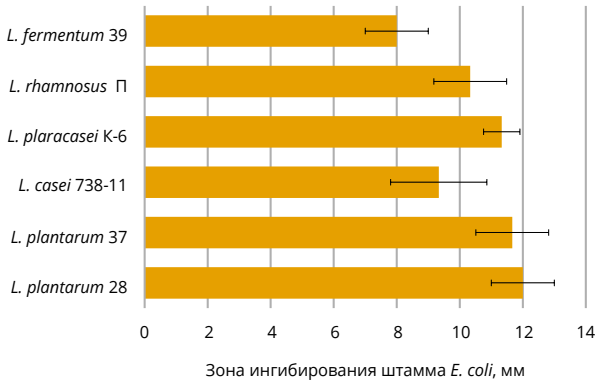

Рисунок 1. Антагонистическая активность лактобацилл, определенная методом перпендикулярных штрихов

Так, по данным И. В. Кирик, зоны ингибирования тест-культуры кишечной палочки у отдельных штаммов *L. rhamnosus* составляли от 20 до 27 мм, а в отношении маслянокислых бактерий от 0 до 13 мм [10].

Из данных, полученных при изучении антагонистической активности молочнокислых палочек при совместном культивировании в молоке (рис. 2), не выявлено значимого подавления развития кишечной палочки в первые сутки культивирования всеми исследованными штаммами. Однако через 48 ч штамм *L. rhamnosus* П привел к существенному снижению числа жизнеспособных клеток *E. coli* практически на 4 порядка, а через 72 ч наблюдалось почти полное ее вымирание. В совместных культурах с *L. casei* 738-11 и *L. paracasei* К-6 число клеток кишечной палочки через 48 ч снизилось незначительно – на 7,2 и 11,9 % соответственно, но затем эти штаммы ускорили вымирание *E. coli* и ее содержание снизилось на 6 порядков. Менее значительно ускорял вымирание кишечной палочки штамм *L. plantarum* 28, через 72 ч совместного роста с которым содержание кишечной палочки уменьшилось на 3,4 порядка. Скорость вымирания *E. coli* в период от 48 до 72 ч культивирования составила в чистой культуре 0,02 $ч^{-1}$, в совместной культуре с *L. plantarum* 28 – 0,14 $ч^{-1}$ (в 7 раз выше с *L. rhamnosus* П – 0,13 $ч^{-1}$), с *L. paracasei* К-6 – 0,22 $ч^{-1}$ (в 11,5 раз выше по сравнению с контролем), с *L. casei* 738-11 – 0,23 $ч^{-1}$.

Представленная в таблице динамика кислотообразования чистой культуры кишечной палочки и совместных культур с лактобациллами показывает различный темп снижения активной кислотности молока при культивировании чистой культуры

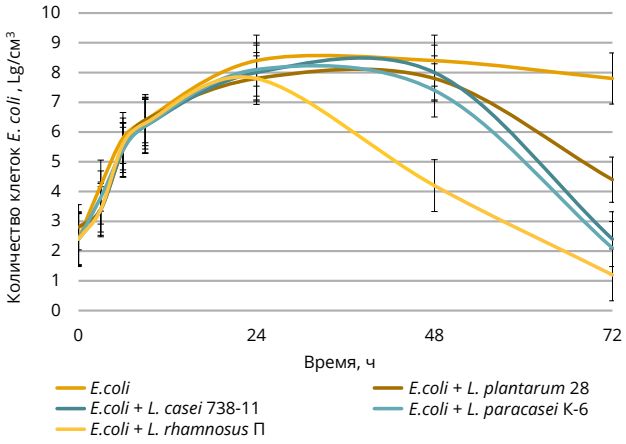

Рисунок 2. Динамика развития *Escherichia coli* при совместном культивировании в молоке

Источник изображения: freepik.com

E. coli и смешанных культур. Через 2 суток в вариантах с *L. paracasei* К-6 и *L. rhamnosus* П уровень pH был самым низким 4,11 и 4,02 ед. pH, соответственно. Исходя из представленных данных можно предположить, что ингибирование кишечной палочки обусловлено в основном высокой кислотностью молока (неспецифический антагонизм).

Для подтверждения наличия специфического антагонизма было проведено культивирование кишечной палочки в молоке с добавлением бесклеточной культуральной среды, нейтрализованной до уровня активной кислотности 6,5 ед. pH, содержащей накопленные в ней метаболиты лактобацилл. На рисунке 3 для примера представлены результаты культивирования кишечной палочки при добавлении разных доз бесклеточных метаболитов культуры *L. rhamnosus* П, которая показала наибольшую кислотообразующую активность и самую высокую степень подавления развития кишечной палочки.

Полученные результаты указывают на наличие специфических антибиотических веществ в питательной среде после культивирования

Таблица. Динамика снижения активной кислотности молока

Состав микрофлоры	Уровень активной кислотности, ед. pH, при культивировании		
	24 ч	48 ч	72 ч
E. coli	5,18 ± 0,21	4,76 ± 0,23	4,57 ± 0,27
E. coli + *L. plantarum* 28	5,10 ± 0,18	4,71 ± 0,22	4,27 ± 0,25
E. coli + *L. casei* 738-11	5,07 ± 0,26	4,53 ± 0,25	4,22 ± 0,29
E. coli + *L. paracasei* К-6	4,56 ± 0,21	4,11 ± 0,26	3,98 ± 0,23
E. coli + *L. rhamnosus* П	4,34 ± 0,28	4,02 ± 0,23	3,86 ± 0,21

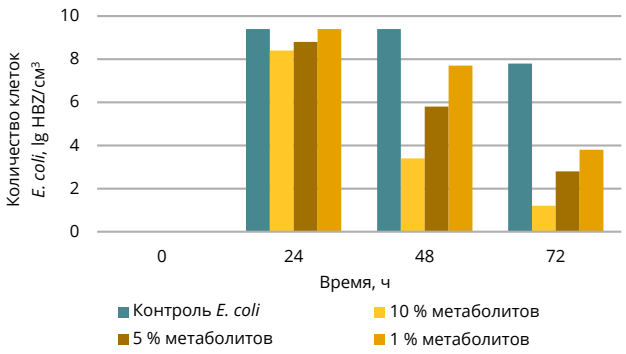

Рисунок 3. Динамика развития *Escherichia coli* в присутствии бесклеточных метаболитов

штамма *L. rhamnosus* П. При внесении в молоко 10 % метаболитов наблюдалась самая высокая степень подавления роста кишечной палочки, по мере снижения дозы метаболитов ингибирующий эффект снижался. При этом не установлено зависимости величины зоны задержки роста кишечной палочки от активности кислотообразования. Так штамм *L. plantarum* 28 имел самую низкую кислотообразующую активность (pH через 48 ч составил 5,71), но давал наибольшую зону отсутствия роста *E. coli* – 12,0 мм.

Микробиологические процессы при изготовлении полутвердых сыров протекают в иных условиях, чем в жидких питательных средах. Это касается в том числе и уровня активной кислотности сырной массы, которая находится на уровне не ниже 5,2 ед. pH, а также активности воды и температурных режимов в процессе выработки и созревания. Следовательно, и характер ингибирующего действия молочнокислых бактерий будет проявляться иначе, чем в молоке. В связи с тем, что для расширения ассортимента отечественных бактериальных заквасок штаммы *L. paracasei* К-6 и *L. rhamnosus* П отобраны для создания новых моновидовых концентрированных заквасок для интенсификации созревания и улучшения вкусового профиля полутвердых сыров, на следующем этапе исследований планируется изучение ингибирующего действия этих перспективных штаммов при изготовлении сыров. Проведенные в экспериментальном цехе ВНИИМС выработки сыров Российского и Голландского показали положительное влияние исследуемых лактобацилл на их качество и хранимоспособность, но оценить антагонизм не удалось из-за отсутствия кишечной палочки в пастеризованном молоке. Поэтому на следующем этапе планируется изучение ингибирующего действия лактобацилл *in situ* при изготовлении модельных сыров с искусственным внесением в пастеризованное молоко кишечной палочки.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что коллекционные культуры мезофильных молочнокислых палочек обладают ингибирующей активностью по отношению к кишечной палочке. Это является штаммовым признаком. Зона задержки роста кишечной палочки при определении методом перпендикулярных

штрихов составила у штаммов *Lacticaseibacillus casei* 738-11 – 9,3 мм, *L. paracasei* K-6 – 11,3 мм, *L. rhamnosus* П – 10,3 мм, *Lactiplantibacillus plantarum* 28 – 12 мм, *L. plantarum* 37 – 11,7 мм.

Изученные штаммы лактобацилл не оказывали существенного влияния на рост кишечной палочки при совместном культивировании в молоке в первые 24 ч, но ускоряли ее вымирание: штамм *L. rhamnosus* П через 48 ч культивирования снизил количество клеток *Escherichia coli* на 4 порядка; штаммы *L. casei* 738-11, *L. plantarum* 28 и *L. paracasei* K-6 привели к значительному снижению популяции *E. coli* через 72 ч. Бесклеточные метаболиты лактобацилл оказали аналогичное воздействие на кишечную палочку, что подтверждает наличие специфического антагонизма у исследованных лактобацилл и позволяет считать их перспективными для использования при производстве сыров. ■

Поступила в редакцию: 02.08.2024
Принята в печать: 20.12.2024

Antagonistic Activity of Lactobacilli against Collection Strains of *Escherichia coli*

Anastasiya L. Bruckaya, Irina V. Kucherenko, Ninel P. Sorokina
All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheese Production, Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Uglich

This research featured mesophilic lactobacilli *Lacticaseibacillus casei* 738-11, *Lacticaseibacillus paracasei* K-6, *Lacticaseibacillus rhamnosus* P, *Limosilactobacillus fermentum* 39, and *Lactiplantibacillus plantarum* 28 and 37 from the microbial culture collection of the All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheese Production, Uglich. The research objective was to measure the activity of these cultures against *Escherichia coli*. The inhibitory effect depended on the strain. The inhibition areas obtained by the method of perpendicular strokes were 9.3 mm for *L. casei* 738-11, 11.3 mm for *L. paracasei* K-6, 10.3 mm for *L. rhamnosus* P, 12 mm for *L. plantarum* 28, and 11.7 mm for *L. plantarum* 37. The lactobacilli had no effect on *E. coli* during the first 24 h of co-culturing in milk; however, they accelerated the extinction. The highest rate of *E. coli* extinction was observed in the sample with *L. rhamnosus* P: the count of *E. coli* cells decreased by 4 after 48 h and by 6.5 after 72 h. The experiment revealed no correlation between the acid formation rate and the antagonistic activity of lactobacilli.

Keywords: lactobacilli, antagonistic activity, *Escherichia coli*

Список литературы

1. **Гудков, А. В.** Сыроделие: технологические, биофизические и физико-химические аспекты / А. В. Гудков. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 800 с.

2. **Ганина, В. И.** Тенденции рынка заквасок / В. И. Ганина, И. А. Ионова, К. Н. Казакова // Молочная промышленность. 2021. № 3. С. 40–43. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-03-40-43; https://elibrary.ru/yleqtb

3. **Мельникова, Е. И.** Биозащита как эффективный инструмент сохранения качества и безопасности молочных продуктов / Е. И. Мельникова, Е. Б. Станиславская, Е. А. Уварова // Молочная промышленность. 2021. № 9. С. 35–36. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-09-35-36; https://www.elibrary.ru/olhakr

4. **Рожкова, И. В.** Сравнительная оценка антагонистической активности пробиотических монокультур и ассоциации с их использованием / И. В. Рожкова, А. В. Бегунова, Ю. И. Крысанова // Молочная промышленность. 2022. № 2. С. 24–27. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-02-24-26; https://elibrary.ru/ywsdpp

5. **Свириденко, Г. М.** Практические аспекты применения защитных культур / Г. М. Свириденко, Н. П. Сорокина, Е. В. Кураева, И. В. Кучеренко // Молочная промышленность. 2018. № 8. С. 62–64. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-02-24-26; https://elibrary.ru/ywsdpp

6. **МакСуини, П. Л.** Сыр. Научные основы и технологии: в 2-х т. / под ред. П. Л. МакСуини, П. Ф. Фокса, П. Д. Коттера, Д. У. Эвертта. – СПб.: Профессия, 2019. – Т. 1. – 554 с.

7. **Кашина, Е. Д.** Закваски для сыров. Разнообразие выбора / Е. Д. Кашина // Молочная промышленность. 2022. № 10. С. 32–35. https://elibrary.ru/asobwq

8. **O'Brien, E.** Contribution of the novel sulfur-producing adjunct *Lactobacillus* nodensis to flavor development in Gouda cheese / E. O'Brien [et al.] // Journal of Dairy Science 2016. Vol. 100. № 6. P. 4322–4334. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11726

9. **Park, Y. W.** Bioactive Peptides in Milk and Dairy Products: A Review / Y. W. Park, M. S. Nam // Korean journal for food science of animal resources. 2015. Vol. 35(6). P. 831–840. https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.6.831

10. **Begunova, A. V.** Development of Antioxidant and Antihypertensive Properties during Growth of *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus reuteri* on Cow's Milk: Fermentation and Peptidomics Study / A. V. Begunova [et al.] // Foods. 2021. Vol. 10(1). 17. http://doi.org/10.3390/foods10010017

11. **Лебедев, И. А.** Биологически активные пептиды и их роль в жизнедеятельности человека / И. А. Лебедев, Л. С. Гафнер, Г. Р. Мухамадеева, Г. А. Ващенко // Заметки ученого. 2021. № 8. С. 145–148. https://elibrary.ru/nwkexm

12. **Кирик, И. В.** Изучение физиолог-биохимических свойств бактерий *Lactobacillus rhamnosus* и *Lactobacillus fermentum* для обеспечения их промышленного культивирования / И. В. Кирик, А. Н. Казак, С. Л. Василенко, Н. Н. Фурик // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2015. № 1(10). С. 86–100.

13. **Ačai, B. P.** Modelling and predicting the simultaneous growth of *Escherichia coli* and lactic acid bacteria in milk / B. P. Ačai [et al.] // Food Science and Technology International. 2016. V. 22(6). P. 475–484. https://doi.org/10.1177/1082013215622840

14. **Иркитова, А. И.** Сравнительный анализ методов определения антагонистической активности молочнокислых бактерий / А. И. Иркитова, Я. Р. Каган, Г. Г. Соколова // Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 3-1(75). С. 41–44. https://elibrary.ru/pbfqgv