

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2581>
<https://elibrary.ru/EBZBEJ>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Сравнение некоторых физико-химических показателей ряженки промышленного производства и лабораторного ряженкового продукта



И. В. Подорожня^{1,*}, С. С. Ветохин²

¹ ОАО «Приборостроительный завод Оптон», Минск, Республика Беларусь

² Белорусский государственный технологический университет^{ROR}, Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию: 13.01.2025

Принята после рецензирования: 25.03.2025

Принята к публикации: 01.04.2025

*И. В. Подорожня: iaya@tut.by,

<https://orcid.org/0000-0001-6838-5291>

С. С. Ветохин: <https://orcid.org/0000-0002-8613-731X>

© И. В. Подорожня, С. С. Ветохин, 2025



Аннотация.

В настоящее время физико-химические характеристики ряженки промышленного, фермерского и домашнего производства изучены недостаточно, и имеющиеся данные носят фрагментарный характер. Цель данной работы – сравнить эффективность методов расширенного контроля процесса сбраживания, а также сопоставить качество ряженки, реализуемой в розничной сети, и ряженковых продуктов, полученных в лабораторных условиях.

Объектами исследования являлись кисломолочные ряженковые продукты, полученные из местного ультрапастеризованного молока и закваски «Vita» для ряженки, и образцы ряженки промышленного производства. Молоко подогревали, вносили закваску и сквашивали при 37 °С до постоянных значений титруемой кислотности. Применялись распространенные в заводской практике физико-химические методы исследований.

Сквашивание привело к понижению температуры замерзания до –0,691 °С и рН до 4,48; возрастанию титруемой кислотности до 89,0 °Т и удельной электропроводности до 7,23 мСм/см. Динамика изменения всех показателей при культивировании смеси включала интервалы времени отсутствия заметных изменений значений (первые 3–4 ч), их последующий резкий рост или снижение, а также медленное изменение этих значений до завершения ферментации. Изготовленные в лабораторных условиях ряженковые продукты обладали сопоставимыми значениями температуры замерзания, титруемой кислотности, удельной электропроводности и рН с образцами ряженки промышленного производства. Динамика изменения значений кислотностей в процессе сбраживания подобна данным других авторов.

В ходе проведенного исследования определен расширенный набор физико-химических показателей ультрапастеризованного молока и образцов ряженки, изготовленных на промышленных предприятиях и в лабораторных условиях (кисломолочный ряженковый продукт). Установлены линейные зависимости между температурой замерзания, кислотностями и удельной электропроводностью в процессе культивирования молочной смеси. Это позволит заводским лабораториям использовать различные методики измерений для контроля качества с одинаковой эффективностью.

Ключевые слова. Закваска, ряженка, температура замерзания, титруемая кислотность, активная кислотность, удельная электропроводность, активность воды

Для цитирования: Подорожня И. В., Ветохин С. С. Сравнение некоторых физико-химических показателей ряженки промышленного производства и лабораторного ряженкового продукта. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 364–380. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2581>

Physical and Chemical Properties of Commercial Baked Milk vs. Experimental Samples



Iryna V. Padarozhniaya^{1,*}, Siarhei S. Vetokhin²

¹ Instrument-Making Factory Optron, Minsk, Belarus

² Belarusian State Technological University^{ROR}, Minsk, Belarus

Received: 13.01.2025
Revised: 25.03.2025
Accepted: 01.04.2025

Iryna V. Padarozhniaya: iaya@tut.by,
<https://orcid.org/0000-0001-6838-5291>
Siarhei S. Vetokhin: <https://orcid.org/0000-0002-8613-731X>

© I.V. Padarozhniaya, S.S. Vetokhin, 2025



Abstract.

Ryazhenka is a popular Russian baked milk product. The physicochemical profiles of commercial, small-farm, and home-made baked milk remain fragmentary in scientific literature. This article describes the efficiency of various approaches to milk fermentation control and introduces a new experimental baked milk formulation.

The study involved commercial samples of fermented baked milk and experimental samples obtained from local ultra-pasteurized milk and the Vita starter. After heating, the milk samples were mixed with the starter culture and fermented at 37°C until stable titratable acidity. The physicochemical tests relied on standard methods used in industrial practice.

After the fermentation, the freezing point dropped to -0.691°C and the pH went down to 4.48 whereas the titratable acidity and the specific conductivity rose to 89.0°T and 7.23 mS/cm , respectively. The dynamics of changes in all parameters during cultivation included periods of constant values (3–4 h) followed by a sharp increase/decrease and a slow change until the end of fermentation. The freezing point, titratable acidity, specific electrical conductivity, and pH of the experimental products were compatible to the commercial samples. The acidity changes during fermentation were similar to the data reported by other authors. The research yielded an extended set of physicochemical parameters for the ultra-pasteurized milk and baked milk samples available from retail shops, Minsk, Belarus, and those developed in laboratory conditions. It revealed a linear dependency between the freezing point, acidity, and specific electrical conductivity during cultivation. The data obtained may help factory laboratories to optimize various quality control methods.

Key words. Starter culture, fermented baked milk (*ryazhenka*), freezing point, titratable acidity, active acidity, electrical conductivity, water activity

For citation: Padarozhniaya IV, Vetokhin SS. Physical and Chemical Properties of Commercial Baked Milk vs. Experimental Samples. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):364–380. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2581>

Введение

В производстве молочнокислой продукции наиболее распространенным процессом является сквашивание при помощи бактерий семейства стрептококков, например вида *Streptococcus thermophilus*. Коллекции его промышленных штаммов имеются во многих странах, в том числе на крупных предприятиях молочной продукции [1].

Данный термофильный молочнокислый стрептококк применяется в качестве закваски для некоторых сыров, но в основном для производства кисломолочных продуктов из предварительно термообработанного молока как в консорциуме, так и в отдельности. Особенности таких продуктов, согласно техническому регламенту «О безопасности молока и молочной продукции» по ТР ТС 033/2013, приведены в таблице 1.

В настоящее время публикуется большое количество работ о *S. thermophilus* в самых разнообразных областях

исследований, направленных в основном на селекцию и разработку новых заквасок для улучшения органолептических и технологических свойств кисломолочных продуктов, а также их обогащения различными полезными соединениями, секретируемыми микроорганизмами закваски.

Прослеживается тенденция селекции и разработки новых заквасок *S. thermophilus*, в том числе в составе поликомпонентных пробиотических молочнокислых культур. Источниками их выделения являются традиционные молочные продукты от разных сельскохозяйственных животных. Исследования проводились с новыми штаммами, из коллекций культур, промышленных заквасок [2–19]. Для сравнения отобранных штаммов в качестве контрольных образцов использовались коммерческие закваски [15, 20–22]. На рынке представлены не только импортные, но и российские оригинальные разработки [23].

Таблица 1. Отличительные особенности кисломолочных продуктов в зависимости от применяемых заквасок, сырья и условий производства

Table 1. Effect of various starters, raw materials, and production conditions on the properties of fermented milk products

| Продукт | Закваска | Особенность производства |
|--------------------------|--|--|
| Айран | Термофильный молочнокислый стрептококк, болгарская молочнокислая палочка, дрожжи | С / без добавления воды, поваренной соли |
| Варенец | Термофильный молочнокислый стрептококк | Молоко и / или молочные продукты предварительно стерилизуются или подвергаются иной термической обработке при температуре $97 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| Простокваша | Лактококки и / или термофильные молочнокислые стрептококки | – |
| Мечниковская простокваша | Термофильный молочнокислый стрептококк и болгарская молочнокислая палочка | – |
| Йогурт | Термофильный молочнокислый стрептококк и болгарская молочнокислая палочка | Повышенное содержание сухих обезжиренных веществ молока |
| Ряженка | Термофильный молочнокислый стрептококк с / без добавления болгарской молочнокислой палочки | Используется топленое молоко с / без добавления молочных продуктов |
| Сметана | Лактококки или смесь лактококков и термофильных молочнокислых стрептококков | Используются сливки с массовой долей молочного жира не менее 10 % с / без добавления молочных продуктов |
| Творог | Лактококки или смесь лактококков и термофильных молочнокислых стрептококков | Производится методом кислотной или кислотно-сычужной коагуляции молочного белка с последующим удалением сыворотки путем самопрессования и / или прессования, сепарирования (центрифугирования), ультрафильтрации с / без добавления составных частей молока (до / после сквашивания) в целях нормализации молочных продуктов |

Изучены взаимосвязи между ростом *S. thermophilus* и лактобактериями во время совместного и раздельного культивирования, а также влияние различных компонентов растительно-животного происхождения на качество полученных кисломолочных напитков с целью накопления гамма-аминомасляной кислоты, экзополисахаридов, летучих соединений и других биологически активных веществ и метаболитов и оценки способности утилизировать лактозу [15, 16, 24–38].

В литературных источниках описаны исследования воздействия заквасочных культур на технологические свойства молочных продуктов; оценена способность *S. thermophilus*, как входящего в состав пробиотиков, так и кисломолочных продуктов в целом, выживать в желудочно-кишечном тракте человека; рассмотрено его значение для здоровья людей [14, 16, 20, 39, 40].

Поиск новых путей применения молочнокислого стрептококка продолжается. При разработке технологии производства бездрожжевого хлеба были использованы местный штамм *S. thermophilus* селекции Горского государственного аграрного университета и дикорастущий хмель [41]. Один из методов определения остаточных количеств ингибирующих веществ в молоке основан на восстановлении резазурина при развитии в нем *S. thermophilus* – штамма, чувствительного к пенициллину, формалину, перекиси водорода, стрептомицину и тетрациклину [42]. Предприняты успешные

попытки расширения области применения данного микроорганизма для определения чувствительности к антибиотикам из групп аминогликозидов, линкозамидов, хинолонов, хлорамфениколов и к β -лактамам [43–45].

В рамках Таможенного союза использование штаммов *S. thermophilus* регулируется требованиями технического регламента «О безопасности молока и молочной продукции» по ТР ТС 033/2013 и гармонизированными национальными стандартами, например национальным стандартом «Продукты кисломолочные. Общие технические условия» по СТБ 2206-2017 Республики Беларусь. Как правило, продукты, поступающие в розничную продажу в Российской Федерации и Беларуси, не содержат нежелательной микрофлоры [46] в отличие от цельно- и кисломолочной продукции во многих странах, например в африканских [47, 48]. Появление недоброкачественной продукции в странах Таможенного союза оперативно отслеживают, и принимаются необходимые корректирующие меры [49].

Рассматриваются кисломолочные продукты, которые изготовлены из предварительно термообработанного молока на закваске термофильным молочнокислым стрептококком, такие как варенец, или из топленого молока, например ряженка.

Технология производства ряженки и методы контроля качества практически не изменялись на протя-

жении десятилетий, за исключением внедрения методов определения точки замерзания (ГОСТ 30562-1996, ГОСТ 25101-2015, Методические указания МУ 4.1./4.2. 2484-09) и параметра активности воды [50–52].

В литературных источниках представлены результаты исследований физико-химических, микробиологических и органолептических показателей ряженки промышленного и фермерского производства. Однако перечень приводимых показателей, как правило, ограничивается требованиями стандартов на данную продукцию [53–57]. Это дает лишь приблизительное представление о качестве продукта, поступающего в магазины. Сведения о физико-химических показателях ряженок, приготовленных в домашних условиях, крайне малочисленны, хотя в крупных продуктовых магазинах можно приобрести сухие культуры молочнокислых микроорганизмов для этих целей.

Цель данной работы – сравнить эффективность методов расширенного контроля процесса сбраживания, а также сопоставить качество ряженки, реализуемой в розничной сети, и ряженковых продуктов, полученных в лабораторных условиях.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись кисломолочные ряженковые продукты, полученные из молока коровьего питьевого ультрапастеризованного с массовой долей жира 2,5 % с использованием бактериальных заквасок «Vita»; ряженки промышленного способа производства и реализуемые в торговой сети г. Минска (Республика Беларусь).

Для обозначения полученного в лабораторных условиях кисломолочного продукта выбран термин ряженковые продукты. Это обусловлено тем, что в процессе приготовления не использовалось топленое молоко и не проводилась операция топления. Таким образом, не выполнялись условия, необходимые для соответствия продукта определению «ряженка», согласно требованиям ТР ТС 033/2013. В остальном технология и применяемые заквасочные культуры соответствовали указаниям изготовителя сухих заквасок для приготовления ряженки. Следует отметить, что для приготовления ряженковых продуктов не использовалось стерилизованное молоко. Кроме того, заквасочные культуры подбирались именно для производства ряженки. По этим причинам полученный продукт также не может быть классифицирован как варенец, который отсутствует в торговой сети г. Минска.

Ультрапастеризованное молоко выбрано как продукт с пониженным исходным содержанием микроорганизмов и, как следствие, с длительным сроком хранения. Топленое молоко, упакованное в тару из непрозрачного многослойного материала, характеризуется в основном жирностью 2,5 % и коротким сроком годности, по сравнению с ультрапастеризованным. Значения физико-химических показателей этих видов

молока сопоставимы [50]. При этом топленое молоко мало представлено на потребительском рынке. Кроме увеличенного срока годности использование ультрапастеризованного молока в пластиковой прозрачной бутылке позволяет: сократить время на подготовку эксперимента с максимальным приближением к домашнему способу приготовления кисломолочного продукта; визуально наблюдать процесс ферментации (время начала образования сгустка); легко перемешивать содержимое для отбора проб; герметично располагать в ограниченном пространстве имеющегося термостата в горизонтальном положении; минимизировать бактериальную обсемененность извне при создании объединенной пробы молока из двух упаковок; задействовать одну и ту же тару и ее содержимое на всем временном интервале сквашивания.

Сравнимый по эффективности кавитационный метод стерилизации молока [58] на пищевых предприятиях Республики Беларусь не применяется. В работе не использовались микронизированные закваски, ускоряющие процесс ферментации [59].

Приобретенные образцы ультрапастеризованного молока до вскрытия упаковки хранились при температуре от 2 до 6 °С. Ферментирование молочного сырья осуществлялось в потребительской таре (закрытые пластиковые бутылки) при постоянных температурных условиях. Характеристика образцов на основе заводской маркировки приведена в таблице 2.

Лабораторная схема получения ряженкового продукта показана на рисунке 1. Перед отбором образцов закрытые пластиковые бутылки перемешивались. Окончанием ферментации являлось достижение одинаковых значений двух последовательных измерений титруемой кислотности образца.

Полученные значения показателей ряженкового продукта, изготовленного в лабораторных условиях, сравнивались с характеристиками ряженок промышленного производства. Для этого в 2019–2022 гг. в торговой сети были закуплены 28 образцов белорусских ряженок разных партий от шести производителей (массовая доля жира – от 2,5 до 4,0 %, масса нетто – от 380 до 500 г). Отобранная пищевая продукция изготавливалась в соответствии с требованиями национального стандарта СТБ 2206-2017. Согласно ГОСТ ISO 707-2013 содержимое неповрежденной и невскрытой розничной упаковки представляло собой один образец.

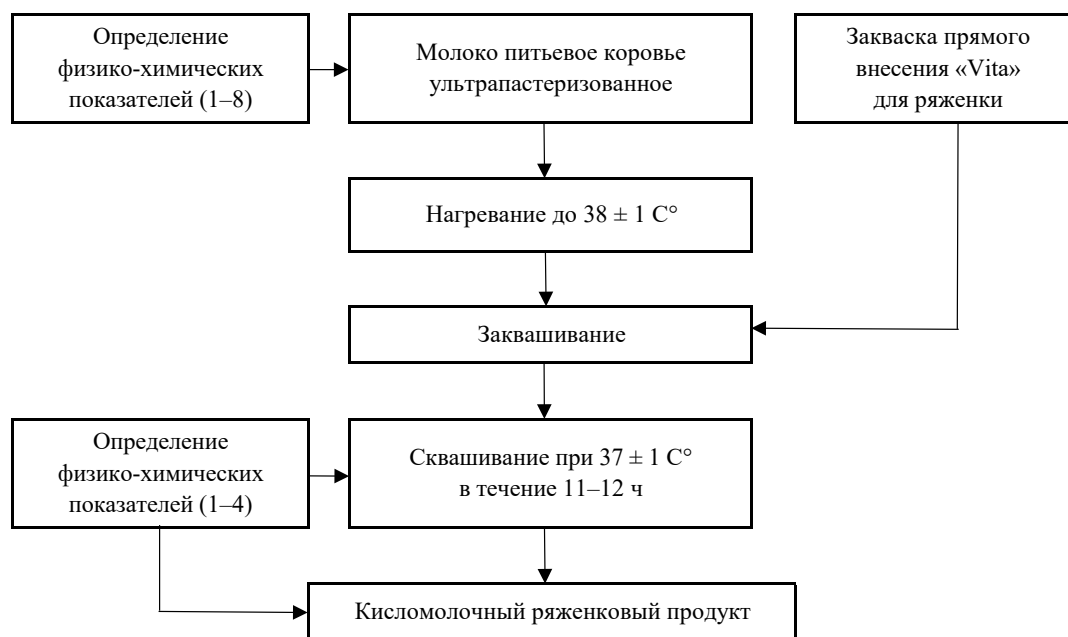
Исследования сырья (закупленных ряженок и полученных ряженковых продуктов) проводилось стандартизированными методами с использованием распространяемого оборудования в соответствии с данными работ [50–52]. Для предотвращения температурного эффекта при измерении показателя активности воды (A_w) применялись условия как в публикации [60].

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам при помощи программного пакета Microsoft Excel 2010.

Таблица 2. Информация, представленная на маркировке потребительской упаковки молока питьевого и сухой закваски

Table 2. Market milk and dry starter culture: Label data

| Характеристика | Молоко «Савушкин» питьевое ультрапастеризованное | Закваска «Vita» сухая для ряженки |
|---|--|--|
| Состав | Молоко нормализованное | <i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> (образует сгусток вязкой консистенции) |
| Пищевая ценность 100 г продукта: белок, г жир, г углеводы, г | 3,0 2,5 4,7 | – – – |
| Энергетическая ценность | 53,3 ккал (223,4 кДж) | – |
| Объем (масса) продукта | 1000 мл | 1,4 г (2 пакетика по 0,7 г) с количеством молочнокислых микроорганизмов не менее 10 ⁹ КОЕ/г |
| Документ | ТУ ВУ 200030514.085-2009 | ТУ РБ 00028493.370-93 |
| Срок годности | 15 суток | 12 месяцев |
| Изготовитель | ОАО «Савушкин продукт», Республика Беларусь | РУП «Институт мясо-молочной промышленности», Республика Беларусь |



Условные обозначения к схеме: 1 – Температура заморозания; 2 – Титруемая кислотность; 3 – Удельная электропроводность; 4 – рН; 5 – Показатель активности воды; 6 – Плотность; 7 – Влажность; 8 – СОМО.

Рисунок 1. Схема проведения эксперимента

Figure 1. Experiment design

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные данные некоторых физико-химических показателей ультрапастеризованного питьевого коровьего молока, использованного для получения ряженковых продуктов, приведены в таблице 3.

Национальный стандарт СТБ 1746-2017 для питьевого коровьего молока (с массовой долей жира от 2,5 до 4,5 %) устанавливает следующие нормативные показатели: плотность – не менее 1026 кг/м³; титру-

емая кислотность – не более 18 °Т; сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО) – не менее 8,0 % (не является обязательно нормируемым и контролируемым показателем и устанавливается по усмотрению изготовителя).

Стоит отметить, что закупленные образцы ультрапастеризованного молока производились по техническим условиям. Практически все экземпляры соответствовали требованиям национального стандарта,

Таблица 3. Средние значения физико-химических показателей ультрапастеризованного молока до внесения сухой закваски

Table 3. Physicochemical parameters of ultra-pasteurized milk before introducing starter culture, mean values

| Показатели | Образец 1 | Образец 2 | Образец 3 | Образец 4 |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Температура заморозания, °С | $-0,511 \pm 0,009$ | $-0,501 \pm 0,008$ | $-0,513 \pm 0,009$ | $-0,518 \pm 0,009$ |
| Титруемая кислотность, °Т | $18,0 \pm 1,0$ | $17,0 \pm 1,0$ | $16,0 \pm 1,0$ | $16,0 \pm 1,0$ |
| Удельная электропроводность, мСм/см | $5,16 \pm 0,05$ | $5,12 \pm 0,05$ | $5,20 \pm 0,05$ | $5,19 \pm 0,05$ |
| pH | $6,83 \pm 0,07$ | $6,73 \pm 0,07$ | $6,82 \pm 0,07$ | $6,82 \pm 0,07$ |
| Активность воды, A_w | $0,995 \pm 0,021$ | $0,990 \pm 0,020$ | $0,946 \pm 0,030$ | $1,000 \pm 0,024$ |
| Плотность, кг/м ³ | $1029,0 \pm 0,5$ | $1029,0 \pm 0,5$ | $1028,6 \pm 0,5$ | $1028,6 \pm 0,5$ |
| Содержание влаги, % | $89,39 \pm 0,17$ | $89,57 \pm 0,05$ | $89,63 \pm 0,16$ | $89,78 \pm 0,08$ |
| СОМО, % | $8,11 \pm 0,16$ | $7,93 \pm 0,03$ | $7,87 \pm 0,15$ | $7,72 \pm 0,07$ |

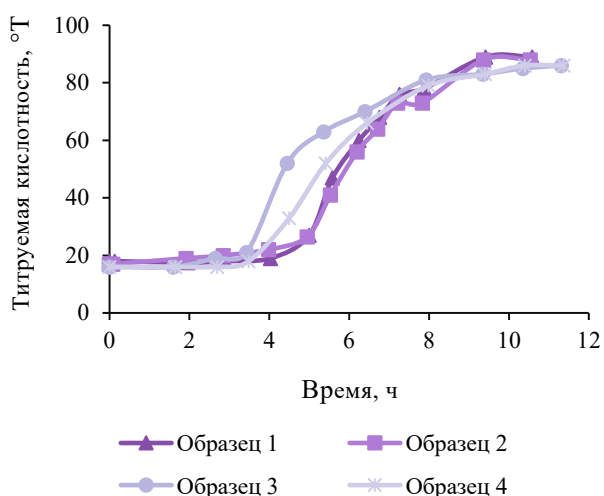


Рисунок 2. Титруемая кислотность молочной смеси при ферментировании образцов

Figure 2. Titratable acidity of milk mix during fermentation

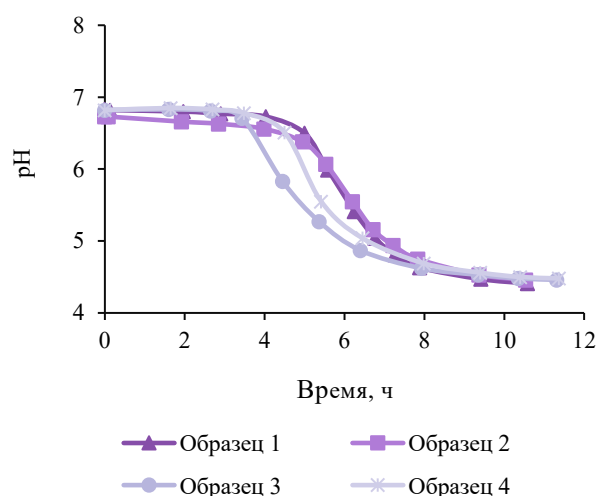


Рисунок 3. Активная кислотность молочной смеси при ферментировании образцов

Figure 3. Active acidity of milk mix during fermentation

за исключением трех образцов по необязательному показателю СОМО. Полученные значения физико-химических показателей ультрапастеризованного молока сопоставимы с результатами исследования И. В. Подорожной и С. С. Ветохина [50].

В ходе процесса ферментации активная и титруемая кислотности отслеживались как основные показатели, свидетельствующие об окончании сквашивания продукта (рис. 2, 3).

Согласно национальному стандарту, минимальное значение титруемой кислотности ряженки должно соответствовать 70 °Т. В лабораторных условиях данное значение в исследуемых образцах достигалось через 6,5–7,0 ч ферментации молочной смеси.

Измерения температуры заморозания и удельной электропроводности молочной смеси не требуют использования реактивов, осуществляются с минимальными трудозатратами, обеспечивают быстрое получение результатов и позволяют оценить протекающие биохимические процессы в образцах (рис. 4, 5).

Результаты определения физико-химических показателей ряженочного продукта представлены в таблице 4.

Протекающие биохимические процессы во время ферментации в ультрапастеризованном питьевом коровьем молоке привели к увеличению значений титруемой кислотности и удельной электропроводности, понижению значений pH и температуры заморозания конечного кисломолочного продукта.

В процессе обработки полученных результатов установлена линейная зависимость между значениями всех использованных физико-химических характеристик (табл. 5).

Приведенные в таблице 5 данные показывают высокую степень достоверности представленных зависимостей. Значительный разброс крутизны этих зависимостей обусловлен в большей степени условностью шкал некоторых физических величин. Кроме того, разброс значений аддитивных членов связан с различными подходами к выбору нулевой точки отсчета на этих шкалах. Важно учитывать, что эти

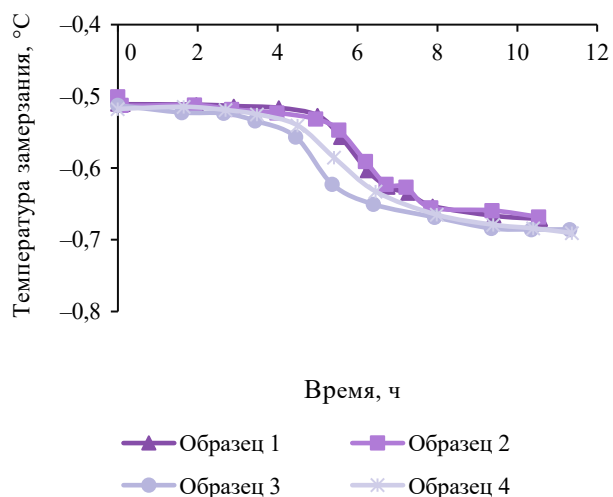


Рисунок 4. Температура заморзания молочной смеси при ферментировании образцов

Figure 4. Freezing temperature of milk mix during fermentation

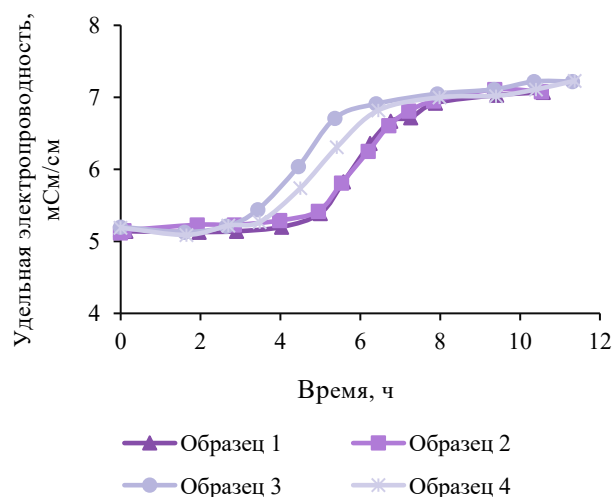


Рисунок 5. Удельная электропроводность молочной смеси при ферментировании образцов

Figure 5. Specific electrical conductivity of milk mix during fermentation

Таблица 4. Средние значения физико-химических показателей ряженковых продуктов в конце сквашивания в лабораторных условиях

Table 4. Physicochemical parameters of experimental baked milk after fermentation, mean values

| Показатели | Образец 1 | Образец 2 | Образец 3 | Образец 4 |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Время сквашивания, ч | 10,58 | 10,53 | 11,32 | 11,37 |
| Температура заморзания, °C | -0,671 ± 0,009 | -0,673 ± 0,008 | -0,686 ± 0,008 | -0,691 ± 0,011 |
| Титруемая кислотность, °Т | 89,0 ± 1,0 | 88,0 ± 1,0 | 86,0 ± 1,0 | 86,0 ± 1,0 |
| Удельная электропроводность, мСм/см | 7,07 ± 0,07 | 7,08 ± 0,07 | 7,22 ± 0,07 | 7,23 ± 0,07 |
| pH | 4,41 ± 0,04 | 4,46 ± 0,04 | 4,46 ± 0,04 | 4,48 ± 0,04 |

Таблица 5. Линейные уравнения зависимостей между измеренными показателями

Table 5. Linear dependencies between indicators

| Показатели | | Вид линейного уравнения | R ² |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------|
| Y | X | | |
| Температура заморзания | Титруемая кислотность | $y = -0,0023x - 0,4709$ | 0,9694 |
| Температура заморзания | Удельная электропроводность | $y = -0,0814x - 0,0900$ | 0,9808 |
| Температура заморзания | pH | $y = 0,0695x - 0,9837$ | 0,9788 |
| Титруемая кислотность | Удельная электропроводность | $y = 34,226x - 159,55$ | 0,9847 |
| Титруемая кислотность | pH | $y = -29,373x + 217,21$ | 0,9927 |
| Удельная электропроводность | pH | $y = -0,8494x + 10,958$ | 0,9875 |

результаты применимы к относительно узкому диапазону варьирования физических величин, актуальному для решаемой задачи. В более широком диапазоне зависимости могут иметь более сложный характер, например полиномиальный, как это представлено в модельном эксперименте для растворов сахара [61].

Информация об отобранных в торговой сети ряженках в розничной упаковке представлена в таблице 6, причем все готовые к употреблению пищевые продукты изготовлены на топленом молоке, в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013 и СТБ 2206-2017.

Полученные средние значения измеренных физико-химических показателей ряженки, включая их разброс, в сопоставлении с требованиями национального стандарта, приведены в таблице 7.

В целом ряженки промышленного способа производства, за исключением двух образцов по показателю СОМО, соответствовали требованиям национального стандарта СТБ 2206-2017. Разброс значений температуры заморзания изготовленных кисломолочных продуктов и закупленных ряженки аналогичен представленному в исследовании [51].

Таблица 6. Краткое описание образцов ряженок, приобретенных в торговой сети г. Минска (Республика Беларусь)

Table 6. Commercial baked milk purchased in Minsk, Republic of Belarus

| Производитель | Общее количество образцов | Распределение по способу производства кисломолочного продукта | | Распределение по массовой доле жира | |
|---------------|---------------------------|---|---------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | | Способ производства | Количество образцов | Массовая доля жира, % | Количество образцов |
| I | 6 | Резервуарный | 5 | 2,5 | 5 |
| | | Термостатный | 1 | 2,5 | 1 |
| II | 5 | Резервуарный | 5 | 3,0 | 5 |
| III | 4 | Резервуарный | 4 | 4,0 | 4 |
| IV | 11 | Резервуарный | 2 | 3,2 | 2 |
| | | Термостатный | 9 | 2,5 | 7 |
| | | | | 3,6 | 1 |
| | | | | 4,0 | 1 |
| V | 1 | Резервуарный | 1 | 3,2 | 1 |
| VI | 1 | Резервуарный | 1 | 4,0 | 1 |

Таблица 7. Данные физико-химических показателей всех отобранных ряженок, изготовленных в промышленных условиях, в сравнении с требованиями национального стандарта

Table 7. Actual physicochemical properties of commercial baked milk vs. national standard

| Показатели | Требования, согласно СТБ 2206-2017 | Ряженка резервуарная | | Ряженка термостатная | |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | | Среднее значение | Интервал значений | Среднее значение | Интервал значений |
| Температура заморозки, °C | не нормируется | -0,659 ± 0,010 | -0,707...-0,605 | -0,640 ± 0,010 | -0,673...-0,596 |
| Титруемая кислотность, °T | 70–110 | 89,0 ± 2,0 | 79,0...101,5 | 81,2 ± 2,3 | 75,5...91,0 |
| Удельная электропроводность, мСм/см | не нормируется | 6,79 ± 0,09 | 6,51...7,17 | 6,82 ± 0,09 | 6,63...7,19 |
| pH | 4,8–4,0 | 4,44 ± 0,05 | 4,62...4,20 | 4,55 ± 0,06 | 4,67...4,29 |
| Активность воды, A_w | не нормируется | 0,986 ± 0,021 | 0,978...1,000 | 0,990 ± 0,025 | 0,970...1,000 |
| Содержание влаги, % | не нормируется | 88,63 ± 0,28 | 87,19...89,74 | 89,21 ± 0,23 | 88,04...89,90 |
| СОМО, % | не менее 7,8 | 8,24 ± 0,11 | 7,76...8,81 | 8,03 ± 0,13 | 7,59...8,36 |

Сравнение средних значений физико-химических показателей анализируемых кисломолочных продуктов, приготовленных в лабораторных условиях, с продуктами, изготовленными на белорусских предприятиях, представлено на рисунке 6 (независимо от жирности) и в таблице 8 (при жирности готового продукта 2,5 %).

Учитывая замкнутое пространство в пластиковой бутылке и отсутствие влияния биохимической обработки молочной смеси на значения СОМО, влажности и активности воды, нами дополнительно не проводились исследования данных показателей в лабораторных образцах готовых кисломолочных продуктов.

Согласно национальному стандарту СТБ 2206-2017, ряженка по органолептическим показателям должна представлять собой жидкость однородную с не / нарушенным сгустком без газообразования; светло-кремового цвета, равномерного по всей массе; с чистым кисломолочным вкусом и запахом, с выраженным привкусом пастеризации, без посторонних привкусов и запахов.

Стоит отметить, что идентичными ряженке характеристиками должен соответствовать и варенец, за исключением цвета (от белого до светло-кремового) и минимального значения кислотности (от 80 °T).

По результатам оценки органолептических характеристик и ряда физико-химических показателей, приготовленные ряженковые продукты и ряженки, реализуемые в торговых сетях, соответствовали требованиям ТР ТС 033/2013 и СТБ 2206-2017, за исключением цвета сквашенных образцов, который был белым (а не кремовым), что обусловлено применением ультрапастеризованного, а не топленого молока в качестве сырья, используемого в классических рецептурах. Полученные кисломолочные продукты отвечали требованиям ТР ТС 033/2013 и СТБ 2206-2017, предъявляемым к варенцу.

Ввиду невозможности приобретения варенца, сравнить его органолептические характеристики и некоторые физико-химические показатели не представляется возможным. Помимо этого, применяемые зак-

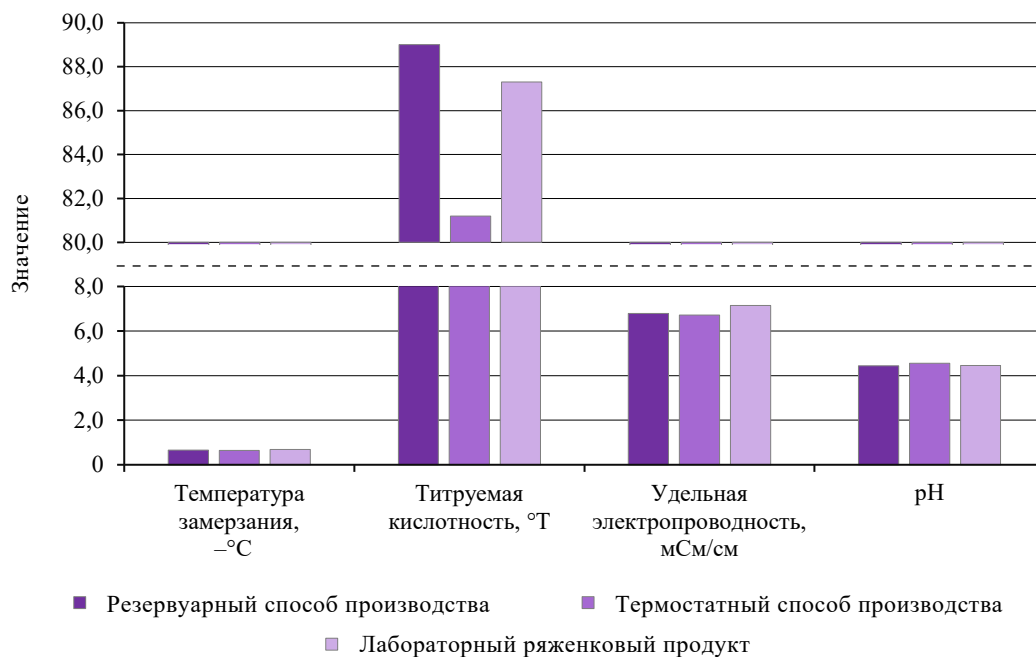


Рисунок 6. Сравнительная характеристика средних значений показателей качества готовых кисломолочных продуктов в зависимости от способа производства (независимо от жирности продукта)

Figure 6. Fermented baked milk with different production methods across all fat contents: Quality indicators, mean values

Таблица 8. Физико-химические показатели кисломолочных продуктов с массовой долей жира 2,5 %, изготовленных в лабораторных и промышленных условиях

Table 8. Physicochemical parameters of fermented milk with 2.5% fat: Experimental vs. commercial samples

| Показатели | Лабораторный ряженковый продукт | Промышленный способ производства | |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| | | Резервуарный | Термостатный |
| Температура заморозания, °С | $-0,680 \pm 0,009$ | $-0,654 \pm 0,012$ | $-0,634 \pm 0,011$ |
| Титруемая кислотность, °Т | $87,3 \pm 1,0$ | $92,8 \pm 3,1$ | $79,0 \pm 1,4$ |
| Удельная электропроводность, мСм/см | $7,15 \pm 0,07$ | $6,82 \pm 0,15$ | $6,83 \pm 0,10$ |
| pH | $4,45 \pm 0,04$ | $4,35 \pm 0,06$ | $4,58 \pm 0,05$ |

васочные культуры предназначены исключительно для изготовления ряженки, а не варенца.

Несмотря на отличия в цвете, полученные ряженковые продукты по вкусовым характеристикам больше всего похожи на ряженку. Кислотность, температура заморозания и удельная электропроводность этих продуктов также близки к показателям ряженки. Основную роль в изменении данных показателей играет не способ термической обработки сырья, а применяемая заквасочная культура.

Кислотность сквашенных кисломолочных продуктов с массовой долей жира 2,5 % находилась приблизительно между значениями данных показателей ряженки резервуарного и термостатного способов изготовления. Значения показателей, зависящих от количества растворенных веществ или токопроводящих ионов, значительно отличаются. Однако оценить причины этого проблематично из-за отсутствия информации по применяемому предприятиями-изготовителями исходному сырью – топленому молоку, поскольку

в данном случае влияние могут оказывать как показатели исходного сырья, так и используемые культуры заквасочных микроорганизмов.

Штамм *Streptococcus thermophilus*, используемый в данной работе в сухой закваске для приготовления ряженки, не уточняется, поэтому проведены сравнения полученных результатов с данными других авторов по продуктам, изготовленным с применением различных штаммов *S. thermophilus*.

В работе К. V. Moiseenko *et al.* [57] проводили исследования ряженки двух российских производителей (по три образца каждого продукта) промышленного способа изготовления, приобретенные в торговой сети г. Москвы (Россия). Состав продуктов и среднее значение (pH $4,46 \pm 0,06$) подобны нашим данным по лабораторным и закупленным образцам.

Н. А. Тихомирова и Д. С. Зверев [53] отобрали четыре образца ряженки с массовой долей жира 4,0 %, три из которых были промышленного производства, а один – фермерского, реализуемые в розничной сети

Московской области. Фермерский образец не соответствовал заявленной жирности продукта и имел титруемую кислотность 63 °Т. Фактическая массовая доля жира второго экспериментального образца составила 2,8 %. Титруемая кислотность ряженки промышленного производства (от 78 до 90 °Т) согласуется с нашими результатами.

В. Н. Шалевская и В. П. Лавицкий [54] изготавливали ряженку из нормализованного молока с массовой долей жира 1,0; 2,5; 3,2 и 4,0 %. Во все образцы вносилось 5 % сухого обезжиренного молока для получения продукта с желаемой консистенцией. Смесь пастеризовали при температуре 95 °С и проводили топление в течение 3 ч до выраженного светло-кремового цвета. Затем ее заквашивали при 42 °С закваской *S. thermophilus* до pH 4,55, после чего охлаждали до 6 °С [54]. Значения активной кислотности в первые сутки хранения подобны полученным нами результатам, но при этом титруемая кислотность наших образцов была выше, чем в исследовании.

В работе М. Nan *et al.* [26] приведена динамика pH при росте термофильного стрептококка, выделенного из различных традиционных китайских кумысных молочных продуктов и способного давать концентрацию гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) до 2,8 г/л после 48 ч ферментации на обезжиренном молоке с глутаматом натрия при температурах сквашивания 37 и 42 °С. Динамика pH и значения активной кислотности, полученные в условиях сквашивания при 37 °С, сопоставимы с нашими результатами, за исключением более низкой скорости подкисления молока и более высоких значений титруемой кислотности.

Исследования штаммов 1M2, 4M6, 6G3, 7G10, 15G5, выделенных из традиционного ферментированного молока яков (провинция Сычуань, Китай), и коммерческого штамма C2 (STI12, Chr. Hansen A/S, Херсхольм, Дания) *S. thermophilus* проводились в восстановленном стерилизованном обезжиренном молоке с концентрацией 11 % (вес/объем) после 8 ч ферментации при 42 °С. Представленные средние значения результатов из трех независимых экспериментов по кислотообразованию демонстрируют высокую активность штаммов (подкисление питательной среды в первые 2 ч ферментации). За аналогичный период ферментации (8 ч), хоть и на другой питательной среде, при более низкой температуре ферментации 37 °С, получены схожие значения активной кислотности, по сравнению с 6 штаммами, и наиболее близкие результаты титруемой кислотности штаммов 4M6, 15G5, C2 [15].

Динамику роста и подкисления пастеризованного молока, сопоставимую с результатом, представленным в предыдущей работе, показал штамм *S. thermophilus* BGKMJ1-36, выделенный из кисломолочного продукта, традиционно производимого в домашних условиях в деревне Ябука (Приеполь, Сербия) [14]. Приблизительно после 6 ч сквашивания и до конца

первых суток хранения изменения pH не наблюдались, что согласуется с нашими данными.

Характер изменения pH при сквашивании штаммом *S. thermophilus* SDMCC050215 близок к нашим результатам, несмотря на иные условия культивирования: ферментация проводилась штаммами *S. thermophilus* CGMCC 7.179 и SDMCC050215 на специально подобранной питательной среде (бульон M17 с лактозой) при 42 °С. Представленные результаты значений активной кислотности после 24 ч ферментации выше, чем у полученных нами, и составляют около 5,3 для штамма CGMCC 7.179 и 4,8 – для SDMCC050215 [4]. Заметный процесс понижения pH начался сразу в первые 2 ч культивирования, что вдвое быстрее, чем в наших экспериментальных наблюдениях.

Зависимость значений pH молока при ферментации штаммами *S. thermophilus* St-143 и ST-10255y (Chr. Hansen, Дания), продуцирующими экзополисахариды [27], аналогична изменениям значений pH, выявленным нами при более резких изменениях параметра вследствие ферментации при более высоких температурах (40 °С). В этом исследовании проводилось сквашивание молока, восстановленного из сухого (раствор из 12 г порошка сухого молока и 100 г деионизированной воды, который подвергался нагреву при 85 °С в течение 30 мин, с последующим охлаждением до 5 °С), с добавлением пептона в количестве 3,0 % (вес/вес) и 0,2 % (вес/вес) для двух указанных штаммов соответственно. Установленные нами интервалы времени отсутствия заметного снижения pH, последующего резкого снижения и замедления до прекращения ферментации при значениях pH, близких к 4,5, примерно соответствовали полученным в исследовании S. N. Khanal и J. A. Lucey [27].

Значения активной кислотности, полученные нами, согласуются с результатами исследования [9] после 6 ч инкубации на обезжиренной 10 % молочной среде при 37 °С штамма термофильного стрептококка под условным обозначением St3, выделенного из местных изолятов (Пакистан). При этом титруемая кислотность данного штамма оказалась выше: 0,64 % (приблизительно 71 °Т).

Z. Urshev *et al.* [8] сравнивали отобранные штаммы с *S. thermophilus* LBB.A – компонентом промышленной йогуртовой закваски LBB.BY5-12. После 3,5 ч ферментации значения активной кислотности продукта достигали 4,7. Но контрольный штамм LBB.A показал pH около 4,8 только через 7 ч. В данной работе температурные режимы ферментации не указаны.

Кисломолочный продукт на основе восстановленного обезжиренного молока (12 % общего содержания сухих веществ) получен с использованием заквасочной культуры *S. thermophilus* TA 559. Ферментация при 45 °С через 2 ч 45 мин приводила к pH 4,7. После охлаждения до 38 °С, кондиционирования в стерилизованных стеклянных бутылках и хранения при 4 °С в течение суток значения pH опускались до 4,52–4,53, а титруемая кислотность, определенная по офи-

циальным методам анализа AOAC International, составляла 106,4–106,1 ед. [10]. В нашем исследовании культивирование при 37 °С в течение 3 ч не приводило к изменениям кислотности.

Различные лиофилизированные концентрированные заквасочные культуры прямого внесения, среди которых FD-DVS ST-Body-4 – Yo-Flex (Chr. Hansen, Дания), содержащая *S. thermophilus*, выбраны для изучения их влияния на технологические свойства молочных продуктов [56]. При этом используемое молочное сырье для приготовления ряженки не уточняется, за исключением сведений о массовой доле жира 2,5 % и температурных режимов. При суточном хранении образцов при температуре 4 ± 2 °С титруемая кислотность составила около 75 °Т, что существенно ниже, чем у наших образцов ряженковых продуктов.

Результаты, представленные в работе [62], по сравнению с нашими, показали постоянную скорость подкисления после 8 ч ферментирования *S. thermophilus* JM905 при температуре 37 °С в специально подготовленной и стерилизованной молочной среде (в дистиллированной воде на обезжиренном сухом молоке с сахарозой). При этом конечные значения pH подобны достигнутым нами результатам, за исключением более высоких значений титруемой кислотности.

Исследование X. Zhao et al. [63] направлено на изучение влияния различных соотношений инокулята *S. thermophilus* CICC 6063 и *Lactobacillus helveticus* CICC 6064 на характеристики ферментации и изменения летучих соединений во время этого процесса и хранения. Для сравнения использовалась коммерческая закваска, состав которой и применяемые молочная среда и температурные условия не указаны. Процесс ферментирования начался сразу после внесения заквасок и полученные молочные продукты оказались кислее в отличие от наших экспериментальных образцов.

В работе D. Li et al. [64] штамм *S. thermophilus* S10 из коллекции молочнокислых культур Сельскохозяйственного университета Внутренней Монголии (Китай) инокулировали в восстановленное и стерилизованное молоко, инкубировали при 42 °С до pH 4,5. Титруемая кислотность составила менее 82 °Т, что близко к экспериментальным результатам.

При идентификации из сырого молока молочнокислых бактерий, перспективных для ГАМК-производства, выделенные культуры *S. thermophilus* по наибольшей степени превращения глутамата натрия в ГАМК были подвергнуты RAPD-типированию и повторной ПЦР для поиска генетически неродственных штаммов [65]. В результате отобрано четыре штамма *S. thermophilus* с условными обозначениями St 8.1; St 9.1; St 18.1 и St 21.1. Впоследствии только два штамма – St 8.1 и St 18.1 – хорошо росли при 42 °С и коагулировали молоко (с низким содержанием жира) с добавлением 10 мМ глутамата натрия за 12 ч инкубации (pH 4,43–4,70). Несмотря на другие условия культивирования, изменения значений pH близки к нашим

результатам. Остальные штаммы *S. thermophilus*, напротив, не вызывали свертывания молока даже после 24 ч инкубации.

Йогуртовыми заквасками прямого внесения Yo-mix (Джос, Нигерия), содержащими штаммы *Lactobacillus bulgaricus* и *S. thermophilus* в соотношении 1:1, инокулированы образцы восстановленного молока из сухого с массовой долей сухих веществ 10 % [21]. При инкубации в течение 6 ч при 43 °С с остановкой ферментации путем снижения температуры до 4 ± 2 °С pH составила 4,86 ± 0,05, а титруемая кислотность – 0,657 ± 0,011 в процентном содержании молочной кислоты, что значительно выше, чем у наших образцов с однокомпонентной молочнокислой культурой.

Подобные результаты наблюдались и в йогурте с низким содержанием жира (14 г/л) [22]. Продукт изготавливался с использованием закваски YC-380 (Chr. Hansen, Дания), содержащей *S. thermophilus* и *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, на пастеризованном молоке путем ферментации при 40 °С в течение 8 ч. Показатели pH составили 4,34 ± 0,03, а титруемой кислотности – 0,72 ± 0,02 %.

Значительно медленная скорость подкисления, по сравнению с ряженковыми продуктами, наблюдалась в исследовании K. Wang и C. Ma [66], в котором изучалось влияние *S. thermophilus* на способность *L. plantarum* к подкислению и размножению во время ферментации молока. Установлено, что добавление 0,2 % клеточного экстракта *S. thermophilus* привело к значению pH 4,53 в конечном продукте через 72 ч ферментации при 37 °С.

В работе Z. Shi et al. [17] представлено исследование влияния сверхэкспрессии генов *luxS* и *pfs* на ферментативную способность штамма *S. thermophilus*. Авторами проводилась оценка кислотообразования дикого типа *S. thermophilus* АВТ-Т и трех успешно сконструированных штаммов с повышенной экспрессией генов (*S. thermophilus* АВТ-Т, *S. thermophilus* АВТ-Т pMG336e, *S. thermophilus* АВТ-Т pMG336e-luxS, *S. thermophilus* АВТ-Т pMG336e-pfs). Для приготовления молока использовался раствор, содержащий 12,5 % цельного сухого молока, 6 % сахарозы и 81,5 % дистиллированной воды, при температуре 55 °С. Молоко нагревали при 95 °С в течение 10 мин, затем охлаждали до 42 °С. Каждый штамм инокулирован в молоко в концентрации 8 × 10⁶ КОЕ/мл. Ферментация проводилась при 42 °С в течение 24 ч, а охлаждение и хранение – 16 ч при 4 °С. Штаммы продемонстрировали последовательную тенденцию к снижению pH. Таким образом, введение плазмиды pMG336e и сверхэкспрессия гена *luxS* не оказали влияния на выработку кислоты, за исключением ферментирования молока *S. thermophilus* АВТ-Т pMG336e-pfs, pH которого снижался значительно быстрее, чем в трех других группах, и через 24 ч ферментации pH достиг 4,62. При хранении кислотность ферментированного молока *S. thermophilus* АВТ-Т pMG336e-pfs увеличи-

лась быстрее других показателей, достигнув $91 \pm 0,47$ °Т после 24 ч ферментации и $94 \pm 0,68$ °Т после 16 ч хранения, а в остальных трех группах существенно не отличалась [17]. В исследуемых нами образцах кислотность нарастала быстрее. При этом конечные результаты, полученные с использованием *S. thermophilus* АВТ-Т рМG3е-рfs в указанной работе, согласуются с нашими данными.

М. Nan *et al.* [18] провели масштабное исследование способности ферментировать молоко ста различными штаммами *S. thermophilus*, выделенными в шести провинциях Китая из 80 местных кисломолочных продуктов, включая кумыс, курут, ферментированные коровье и козье молоко. Идентификация штаммов осуществлялась при помощи секвенирования 16S рДНК. Монокультуры приготовлены путем инокуляции в концентрации 1×10^6 КОЕ/мл штаммов *S. thermophilus* в пастеризованное при 95 °С в течение 5 мин или в ультрапастеризованное молоко. Совместные культуры различных штаммов изготовлены при помощи инокуляции в соотношении 1:1 в свежем молоке, пастеризованном при 95 °С в течение 5 мин, при общей концентрации 1×10^6 КОЕ/мл. Для ферментации молока температура поддерживалась на уровне 42 °С. Результаты определения титруемой кислотности кисломолочных продуктов показали существенный разброс значений. При совместном применении двух штаммов (специально подобранных для улучшения скорости ферментации, текстуры продукта и контроля постокисления) скорость изменения рН была выше, и полученные кисломолочные продукты оказались кислее, чем наши экспериментальные образцы.

Проводилось изучение влияния гидролиза лактозы на ферментационные свойства *L. bulgaricus* 2038 и *S. thermophilus* 1131, которые используются в качестве промышленной закваски для йогурта [32]. Несмотря на применение модифицированных сред с лактозой (10 % раствор обезжиренного сухого молока, дополненного 0,01 % казеином СМА500 (Нидерланды)) и глюкозой ферментирование монокulturой *S. thermophilus* 1131 (Meiji Innovation Center, Япония) показало подобную достигнутым нами результатам динамику понижения рН среды, за исключением отсутствия в начале процесса ферментации плато. Среду с глюкозой готовили из 10 % раствора обезжиренного сухого молока с добавлением лактазы GODO-YNL (Япония) и инкубировали в течение 16 ч при 4 °С для гидролиза лактозы на глюкозу и галактозу. Авторами отмечено, что исследуемые штаммы не могут использовать галактозу. Перед внесением закваски в глюкозную среду также вводили 0,01% казеина СМА500 (Нидерланды). Все кисломолочные продукты получены при 40 °С в аэробных условиях [32].

При оценке продукции метаболитов тремя различными штаммами микроорганизмов высокая скорость подкисления наблюдалась в образцах пасте-

ризованного при 90 °С в течение 10 мин свежего молока (New Hope Dairy) с последующим охлаждением до 45 °С в бане с ледяной водой и ферментированием с помощью *S. thermophilus* (Danisco, Германия): рН достиг значения 4,60 через 265 мин культивирования при 42 °С [33], что значительно отличается от наших данных.

Т. Wu *et al.* [34] в исследовании по сравнению летучих соединений ферментированного при различных температурах молока использовали пять штаммов *S. thermophilus*: ND03, S10, GW21-4, S32-5 и XJ57-3. Заквасочные культуры предоставлены Центром сбора молочнокислых бактерий Сельскохозяйственного университета Внутренней Монголии (Китай). Штамм ND03 выделен из кислого молока яка (Хайбэйчжоу, провинция Цинхай); S10 – из натурально ферментированного йогурта (провинция Цинхай); GW21-4 – из монгольского йогурта; S32-5 – из кислого молока яка (провинция Сычуань); XJ57-3 – из йогурта (автономный район Синьцзян). Питательная среда состояла из раствора, содержащего 11,5 % цельного сухого молока и 6,5 % сахарозы. Смесь гомогенизировали (65 °С, 20 МПа) и пастеризовали при 95 °С в течение 5 мин. Образцы инкубировали при 37 и 42 °С до рН $4,60 \pm 0,02$. Во всех случаях значения рН и титруемой кислотности полученных кисломолочных продуктов были близки как между штаммами в целом, так и в каждом штамме по отдельности при двух температурах культивирования. При этом титруемая кислотность ферментированного при 37 °С молока в сравнении с подобными значениями рН наших результатов была схожей и находилась в пределах от 72 до 80 °Т.

При изучении стимулирующего действия пребиотиков на реологические свойства и вкусовые характеристики ферментированного молока применялся штамм *S. thermophilus* GST-6 [40], выделенный из тибетского кефира молочной лабораторией Пекинского университета технологий и бизнеса (Китай). Цельное сухое молоко восстанавливали до 8 % общего содержания сухих веществ в воде при 25 °С, вносили 5 % сахарозы в смеси цельного сухого молока / воды. Образцы пастеризовали при 65 °С в течение 30 мин и охлаждали до температуры инкубации (37 °С). Далее приготовленное молоко с закваской ферментировалось при температуре 42 °С. Динамика изменения рН в начале инкубирования соответствовала экспериментальным данным: примерно через 3 ч ферментации значение рН было больше 6,0. Дальнейшее подкисление происходило существенно медленнее, по сравнению с полученными данными. Окончательная стабилизация произошла на уровне рН 4,5 только через 46 ч.

Похожие результаты с очень медленным подкислением во время ферментации были отмечены в исследовании Л. В. Olvera-Rosales *et al.* [35] при изучении синтеза низкомолекулярных пептидов и ингибирующего потенциала протеолитического фермента.

В качестве питательной среды применялся раствор 10 % сыворотки на закваске *S. thermophilus* SY-102, выделенной в мексиканской Лаборатории пищевой биотехнологии Автономного университета Метрополитена (Мексика). В процессе инкубирования монокультуры при 42 °С рН среды достиг 4,8 только через 48 ч.

Аналогично нашим экспериментальным данным при изучении совместного выращивания *Levilactobacillus brevis* NPS-QW 145 и *S. thermophilus* ASC C1275 [36] для усиления выработки ГАМК активная кислотность восстановленного обезжиренного молока (10 %) с добавлением 2 г/л глутамата натрия через 10 ч ферментации при температуре 37 °С как монокультурой *S. thermophilus*, так и при совместном использовании составила 4,5.

Выводы

В ходе проведенного исследования определен расширенный набор физико-химических показателей ультрапастеризованного питьевого коровьего молока, ряженки, изготовленных в промышленных условиях, и нового кисломолочного ряженкового продукта, идентичного по физико-химическим и органолептическим, за исключением цвета, показателям. Несмотря на различия в применении молочного сырья, условий ферментирования и способа изготовления предприятиями ряженки, наблюдаются схожие значения физико-химических показателей всех кисломолочных продуктов данного вида.

Использование ультрапастеризованного молока вместо топленого не оказало существенного влияния на результаты. Полученные в лабораторных условиях образцы ряженкового продукта соответствовали требованиям стандартов и обладали сопоставимыми значениями кислотности, удельной электропроводности и температуры замерзания с промышленно изготовленными ряженками (резервуарным и / или термостатным способом) с разной жирностью. Значения кислотности кисломолочных продуктов с массовой долей жира 2,5 % независимо от способа получения были подобны.

Ферментированное молоко, по сравнению с исходным (ультрапастеризованным), характеризуется повышенными значениями титруемой кислотности

и удельной электропроводности и пониженными – температуры замерзания и рН.

Полученные изменения значений кислотности, удельной электропроводности и температуры замерзания при ферментировании согласуются с определенными данными из литературных источников даже при использовании различных питательных сред и несмотря на значительное разнообразие штаммов *S. thermophilus*.

Экспериментально установлены линейные зависимости между выбранными показателями, измеренными в ходе ферментации молочной смеси, позволяющие с практически одинаковой эффективностью осуществлять любые из числа рассмотренных методы контроля физико-химических характеристик продукта.

Применение криоскопического и кондуктометрического методов, по сравнению с традиционными методами определения титруемой кислотности и рН, обеспечивает автоматизацию контроля и увеличение его производительности, что может привести к повышению качества и конкурентоспособности молочной продукции.

Критерии авторства

И. В. Подорожная – общая идея, руководство работой, выполнение и обработка экспериментальных исследований. Авторы внесли равный вклад в анализ, обобщение результатов исследований и оформление статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

I.V. Padarozhniaya developed the research concept, supervised the research, performed the experiments, and processed the data. The authors contributed equally to the analysis and synthesis of research results and bear equal responsibility for the information published in this paper.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Hutkins R, Goh YJ. Streptococcus | *Streptococcus thermophilus*. In: Batt CA, Tortorello ML, editors. Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition). Amsterdam: Elsevier; 2014. pp. 554–559. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00325-6>
2. Головач О. С., Бабицкая М. А., Жабанос Н. К., Пыжик И. П., Коркина М. В. и др. Оценка реологических характеристик и уровня синтеза экзополисахаридов (ЭПС) консорциумами *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* при различных температурных режимах ферментации молока. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2020. № 14. С. 58–67. [Golovach OS, Babitskaya MA, Zhabanos NK, Pyzhik IP, Korkina MV, et al. Investigation of the rheological characteristics and level of synthesis of exopolysaccharides (EPS) by the consortium of *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

at different temperature in process of milk fermentation. Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2020;(14):58–67. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47612/2220-8755-2019-14-58-67>

3. Брызгалова А. С. Оценка влияния разных концентраций соли в среде при различных температурных режимах на заквасочную культуру *Streptococcus thermophilus*. Шаг в науку. 2020. № 2. С. 12–16. [Bryzgalova AS. Assessment of the influence of different salt concentrations in the environment at various temperature regimes on the filling *Streptococcus thermophilus* culture. Step into science. 2020;(2):12–16. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XHDVHY>

4. Zhang SS, Xu ZS, Qin LH, Kong J. Low-sugar yogurt making by the co-cultivation of *Lactobacillus plantarum* WCFS1 with yogurt starter cultures. Journal of Dairy Science. 2020;103(4):3045–3054. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17347>

5. Zhao JC, Mu YL, Gu XY, Xu XN, Guo TT, et al. Site-directed mutation of β -galactosidase from *Streptococcus thermophilus* for galactooligosaccharide-enriched yogurt making. Journal of Dairy Science. 2022;105(2):940–949. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20905>

6. Zarzecka U, Chajęcka-Wierzchowska W, Zadernowska A. Microorganisms from starter and protective cultures – Occurrence of antibiotic resistance and conjugal transfer of *tet* genes *in vitro* and during food fermentation. LWT. 2022;153:112490. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112490>

7. Степанова А. П., Ловцова Л. Б., Семенова Е. И., Бибарсова А. А., Золкина Н. Г. Скрининговые исследования культурально-морфологических признаков и физиолого-биологических свойств коллекционных штаммов молочнокислых бактерий. Вестник всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2020. № 1–2. С. 83–87. [Stepanova AP, Lovtsova LB, Semionova EI, Bibarsova AA, Zolkina NG. Screening assay of cultural-morphological characters of lactobacillus collection strains. Vestnik of the Alle-Russia scientific research Institute of fats. 2020;(1–2):83–87. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2020.43.29.007>

8. Urshev Z, Ninova-Nikolova N, Ishlimova D, Pashova-Baltova K, Michaylova M, et al. Selection and characterization of naturally occurring high acidification rate *Streptococcus thermophilus* strains. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2014;28(5):899–903. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.966233>

9. Soomro AH, Masud T. Selection of yoghurt starter culture from indigenous isolates of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* on the basis of technological properties. Annals of Microbiology. 2008;58:67–71. <https://doi.org/10.1007/BF03179447>

10. Zacarchenco PB, Massaguer-Roig S. Properties of *Streptococcus thermophilus* fermented milk containing variable concentrations of *Bifidobacterium longum* and *Lactobacillus acidophilus*. Brazilian Journal of Microbiology. 2006;37(3):338–344. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000300025>

11. Ban Q, Liu Z, Yu C, Sun X, Jiang Y, et al. Physiochemical, rheological, microstructural, and antioxidant properties of yogurt using monk fruit extract as a sweetener. Journal of Dairy Science. 2020;103(11):10006–10014. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18703>

12. Кияшко Н. В., Берсенева С. А., Белов А. Н., Белова Г. А., Гусарчук М. А. Растительные добавки как компонент кисломолочного продукта функционального назначения. Вестник КрасГАУ. 2021. № 4. С. 140–147. [Kiyashko NV, Berseneva SA, Belov AN, Belova GA, Gusarchuk MA. Floral additives as a component of functional purpose for sour milk product. The Bulletin of KrasGAU. 2021;4:140–147. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-140-147>

13. Власова Ж. А., Аккацева С. В. Биотехнология производства обезжиренного йогурта с использованием лактобактерий селекции горского ГАУ. Известия Горского ГАУ. 2021. Т. 58. № 1. С. 107–110. [Vlasova ZhA, Akkatseva SV. Biotechnology of low-fat yoghurt production using lactic acid bacteria of Gorsky SAU selection. News of the Gorsky State Agrarian University. 2021;58(1):107–110. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/OIMCTE>

14. Popović N, Brdarić E, Đokić J, Dinić M, Veljović K, et al. Yogurt produced by novel natural starter cultures improves gut epithelial barrier *in vitro*. Microorganisms. 2020;8(10):1586. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101586>

15. Yu P, Li N, Geng M, Liu Z, Liu X, et al. Short communication: Lactose utilization of *Streptococcus thermophilus* and correlations with β -galactosidase and urease. Journal of Dairy Science. 2020;103(1):166–171. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17009>

16. Li D, Zheng Y, Kwok L, Zhang W, Sun T. Metabolic footprinting revealed key biochemical changes in a brown fermented milk product using *Streptococcus thermophilus*. Journal of Dairy Science. 2020;103(3):2128–2138. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16881>

17. Shi Z, Fan X, Zhang T, Zeng X, Tu M, et al. The quality and flavor profile of fermented milk produced by *Streptococcus thermophilus* ABT-T is influenced by the *pfs* gene in the quorum sensing system. Food Chemistry: X. 2024;23:101653. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101653>

18. Han M, Wu Y, Guo X, Jiang L, Wang X, et al. Milk fermentation by monocultures or co-cultures of *Streptococcus thermophilus* strains. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2022;10:1097013. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1097013>

19. Грязнова М. В., Буракова И. Ю., Смирнова Ю. Д., Нестерова Е. Ю., Родионова Н. С. и др. Динамика изменения бактериального состава молочной основы в процессе ферментации. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 554–564. [Gryaznova MV, Burakova IYu, Smirnova YuD, Nesterova EYu, Rodionova NS, et al. Bacterial composition of dairy base during fermentation. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(3):554–564. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2456>

20. Зимняков В. М., Гаврюшина И. В. Заквасочная культура – технологический инструмент высококачественных молочных продуктов. Инновационная техника и технология. 2014. № 4. С. 8–12. [Zimniakov VM, Gavryshina IV. Impact on technological properties of prebiotics dairy and meat products. Innovative Machinery And Technology. 2014;4:8–12. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TKIWSR>
21. Амару TY, Dapiya HS, Ajisefinni OD, Gusse DD, Dashen MM, et al. Growth kinetics of *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* starter cultures during fermentation of acha (*digitaria exilis*, stapf) based milk. Science World Journal. 2024;19(2):560–564. <https://doi.org/10.4314/swj.v19i2.36>
22. Ng KS, Chang YC, Chen YP, Lo YH, Wang SY, et al. Characterization of exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria from Taiwanese ropy fermented milk and their application in low-fat fermented milk. Animal Bioscience. 2022;35(2):281–289. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0251>
23. Белкова М. Д. Новое слово в российской биотехнологии – заквасочные культуры AiBi® Golden Time для молочной отрасли. Молочная Промышленность. 2016. № 3. С. 68. [Belkova MD. A new word in the Russian biotechnology – starter cultures AiBi® Golden Time for the dairy sector. Dairy Industry. 2016;(3):68. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/VMBQVD>
24. Hu JS, Huang YY, Kuang JH, Yu JJ, Zhou QY, et al. *Streptococcus thermophilus* DMST-H2 promotes recovery in mice with antibiotic-associated diarrhea. Microorganisms. 2020;8(11):1650. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111650>
25. Sumi K, Osada K, Ashida K, Nakazato K. *Lactobacillus*-fermented milk enhances postprandial muscle protein synthesis in Sprague-Dawley rats. Journal of Functional Foods. 2020;66:103789. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103789>
26. Han M, Liao W, Wu S, Gong X, Bai C. Use of *Streptococcus thermophilus* for the in situ production of γ -aminobutyric acid-enriched fermented milk. Journal of Dairy Science. 2020;103(1):98–105. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16856>
27. Khanal SN, Lucey JA. Evaluation of the yield, molar mass of exopolysaccharides, and rheological properties of gels formed during fermentation of milk by *Streptococcus thermophilus* strains St-143 and ST-10255y. Journal of Dairy Science. 2017;100(9):6906–6917. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12835>
28. Степанова А. П., Ловцова Л. Б., Семенова Е. Ф., Бибарсова А. А., Золкина Н. Г. Определение оптимального соотношения штаммов и биологически активных веществ в консорциуме молочнокислых бактерий для создания лечебно-косметического наружного средства. Вестник всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2021. № 1–2. С. 52–56. [Stepanova AP, Lovtsova LB, Semenova EF, Bibarsova AA, Zolkina NG. Determination of the optimal ratio of strains and biologically active substances in a consortium of lactic acid bacteria to create medical and cosmetic remedy. Vestnik of the Alle -Russia Scientific Research Institute of Fats. 2021;(1–2):52–56. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2021.20.86.009>
29. Yao C, Li J, E J, Wang R, Zhang Q, et al. The symbiosis among, and the storage stabilities of, starter lactic acid bacterial strains in biofilms. LWT. 2022;155:112896. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112896>
30. Aiello A, Pepe E, de Luca L, Pizzolongo F, Romano R. Preliminary study on kinetics of pyroglutamic acid formation in fermented milk. International Dairy Journal. 2022;126:105233. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105233>
31. Vieira CP, da Costa MP, de Melo Silva VL, Delgado KF, da Silva Frasso B, et al. Interactive effect of physicochemical and microbial variables on bioactive amines content during storage of probiotic fermented milk. LWT. 2021;138:110700. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110700>
32. Yamamoto E, Watanabe R, Ichimura T, Ishida T, Kimura K. Effect of lactose hydrolysis on the milk-fermenting properties of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* 2038 and *Streptococcus thermophilus* 1131. Journal of Dairy Science. 2021;104(2):1454–1464. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19244>
33. Li SN, Tang SH, Ren R, Gong JX, Chen YM. Metabolomic profile of milk fermented with *Streptococcus thermophilus* cocultured with *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*, *Lactiplantibacillus plantarum*, or both during storage. Journal of Dairy Science. 2021;104(8):8493–8505. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20270>
34. Wu T, Guo S, Liu K, Yang Y, Wang J, et al. Comparison of volatile metabolic profiles in fermented milk of *Streptococcus thermophilus* during the postripening period at different incubation temperatures. Journal of Dairy Science. 2023;106(4):2303–2313. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22331>
35. Olvera-Rosales LB, Pérez-Escalante E, Castañeda-Ovando A, Contreras-López E, Cruz-Guerrero AE, et al. ACE-inhibitory activity of whey proteins fractions derived of fermentation by *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG and *Streptococcus thermophilus* SY-102. Foods. 2023;12(12):2416. <https://doi.org/10.3390/foods12122416>
36. Xiao T, Yan A, Huang JD, Jorgensen EM, Shah NP. Comparative peptidomic and metatranscriptomic analyses reveal improved gamma-amino butyric acid production machinery in *Levilactobacillus brevis* strain NPS-QW 145 cocultured with *Streptococcus thermophilus* strain ASCC1275 during milk fermentation. Applied and Environmental Microbiology. 2020;87(1):e01985-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01985-20>
37. Reshetnik EI, Gribanova SL, Derzhapolskaya YuI, Li C, Liu L, et al. Fermented buttermilk drinks fortified by plant raw materials. Foods and Raw Materials. 2025;13(2):211–218. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-2-637>
38. Albay Z, Çelebi M, Şimşek B. Physicochemical, rheological, and microbiological properties of honey-fortified probiotic drinkable yogurt. Foods and Raw Materials. 2025;13(2):320–329. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-2-641>

39. Martinović A, Cocuzzi R, Arioli S, Mora D. *Streptococcus thermophilus*: To survive, or not to survive the gastrointestinal tract, that is the question! *Nutrients*. 2020;12(8):2175. <https://doi.org/10.3390/nu12082175>
40. Chi X, Yang Q, Su Y, Xi Y, Wang W, *et al.* Effect of prebiotics on rheological properties and flavor characteristics of *Streptococcus thermophilus* fermented milk. *Current Research in Food Science*. 2024;9:100839. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2024.100839>
41. Гревцова С. А., Рехвиашвили Э. И., Айлярова М. К., Кабулова М. Ю., Солдатова И. Э. Биотехнология производства бездрожжевого хлеба с использованием местного штамма *Streptococcus thermophilus* селекции горского ГАУ и дикорастущего в РСО-Алания хмеля. Инновации и продовольственная безопасность. 2020. № 4. С. 28–34. [Grevtsova SA, Rekhviashvili EI, Ailyarova MK, Kabulova MYu, Soldatova IE. Biotechnology of production of yeast-free bread using the local *Streptococcus thermophilus* strain breded by Gorsk GAU and wild hop in RNO-Alania. *Innovations and Food Safety*. 2020;(4):28–34. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-30-4-28-34>
42. Попова Е. В., Давыдова О. К. Использование культуры *Streptococcus thermophilus* для определения остаточных количеств ингибирующих веществ в молоке. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 5. С. 170–174. [Popova EV, Davydova OK. Using the *Streptococcus thermophilus* culture to determine the residual content of inhibitory substances in milk. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020;(5):170–174. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XJLXOT>
43. Бабунова В. С. Чувствительность метода определения ингибирующих веществ с использованием тест-культуры *Streptococcus thermophilus* B19 и индикатора резазурина к антибиотикам из групп аминогликозидов и линкозамидов. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2020. № 2. С. 176–182. [Babunova VS. The sensitivity of the method for the determination of inhibitory substances using the *Streptococcus thermophilus* B19 test culture and the resazurin indicator to the antibiotics from the groups of aminoglycosides and lincosamides. *Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2020;(2):176–182. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202002009>
44. Осипова И. С. Чувствительность метода определения ингибирующих веществ с использованием тест-культуры *Streptococcus thermophilus* B19 и индикатора резазурина к антибиотикам из групп хинолонов и хлорамфениколов. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2020. № 2. С. 170–175. [Osipova IS. The sensitivity of the method for the determinatin of inhibitory substances using the *Streptococcus thermophilus* B19 test culture and the resazurin indicator to antibiotics from the groups of chinolones and chloramphenicoles. *Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2020;(2):170–175. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202002008>
45. Попов П. А. Чувствительность метода определения ингибирующих веществ с использованием тест-культуры *Streptococcus thermophilus* B19 и индикатора резазурина к β -лактамным антибиотикам. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2020. № 2. С. 65–70. [Popov PA. Sensitivity of the method for the determination of inhibitory substances using the *Streptococcus thermophilus* B19 test culture and the resazurin indicator to β -lactam antibiotics. *Bulletin of Bashkir State Agrarian University*. 2020;(2):65–70. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-54-2-65-70>
46. Нурғалиева А. Р. Исследование качества кисломолочных продуктов. *Вестник Российского университета кооперации*. 2014. № 4. С. 130–132. [Nurgalieva AR. Research of quality of fermented milk products. *Vestnik of the Russian University of Cooperation*. 2014;(4):130–132. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TVSSIF>
47. Boko C, Adje Y, Atindogbe G, Hounmanou YMG, Dossa F, *et al.* Evaluation of the production technologies and the microbial and physico-chemical qualities of curdled milk produced in Benin. *Journal of Applied Biosciences*. 2016;104:10019–10033. <https://doi.org/10.4314/jab.v104i1.12>
48. Yam BAZ, Khomeiri M, Mahounak AS, Jafari SM. Hygienic quality of camel milk and fermented camel milk (*Chal*) in Golestan Province, Iran. *Journal of Microbiology Research*. 2014;4(2):98–103.
49. Чигасов А. И. Особенности использования системы менеджмента качества в контроле производства функциональных молочных продуктов. *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 7. С. 178–184. [Chigasov AI. Using quality management system features to supervise manufacturing functional dairy products. *Bulletin of KSAU*. 2021;7:178–184. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-7-178-184>
50. Подорожная И. В., Ветохин С. С. Анализ некоторых физико-химических показателей питьевого молока после введения новых требований к его кислотности. *Труды БГТУ*. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2016. № 4. С. 182–187. [Podorozhnyaya IV, Vetokhin SS. Analysis of milk some physical-chemical properties after introduction of new requirements to its acidity. *Proceedings of BSTU*. № 4. Chemistry, organic substances technology and biotechnology. 2016;(4):182–187. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WHMPQH>
51. Podorozhnyaya IV, Vetokhin SS. Investigation of freezing point of some Belarusian dairy products. *Industrial Technology and Engineering*. 2015;(4):86–90. <https://elibrary.ru/HANGPK>
52. Ветохин С. С., Подорожная И. В., Ненартович И. В. Инертные наполнители при измерении активности воды. *Труды БГТУ*. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2013. № 4. С. 72–74. [Vetokhin SS, Podorozhniaya IV, Nenartovich IV. Inert fillers in measuring water activity. *Proceedings of BSTU*. № 4. Chemistry, organic substances technology and biotechnology. 2013;4:72–74. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ENGPXB>
53. Тихомирова Н. А., Зверев Д. С. Экспертиза качества кисломолочных напитков. *Актуальные вопросы индустрии напитков*. 2019. № 3. С. 208–213. [Tikhomirova NA, Zverev DS. Quality examination of sour-milk drinks. *Relevant issues of the beverage industry*. 2019;3:208–213. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/978-5-6043128-4-1-2019-3-208-213>

54. Шалевская В. Н., Лавицкий В. П. Разработка комбинированной ряженки с разной массовой долей жира и изучение ее свойств. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. № 1–1. С. 130–136. [Shalevskaya VN, Lavitskiy VP. Development of combined ryshanka with the different weight fraction of fat and study of its properties. Vestnik of Don State Agrarian University. 2017;1–1:130–136. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YINFMH>
55. Лещенко Е. Ф. Оценка органолептических свойств ряженки разных производителей. Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 58–60. [Leshchenko EF. Sensory properties of fermented baked milk from different manufacturers. Bulletin of Youth Science, Altai State Agrarian University. 2016;2:58–60. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NPFSFB>
56. Зимняков В. М., Гаврюшина И. В. Заквасочная культура – технологический инструмент высококачественных молочных продуктов. Инновационная техника и технология. 2014. № 4. С. 8–12. [Zimniakov VM, Gavryshina IV. Impact on technological properties of prebiotics dairy and meat products. Innovative Machinery And Technology. 2014;(4):8–12. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TKIWSR>
57. Moiseenko KV, Glazunova OA, Savinova OS, Ajibade BO, Ijabadeniyi OA, et al. Analytical characterization of the widely consumed commercialized fermented beverages from Russia (kefir and ryazhenka) and South Africa (amasi and mahewu): Potential functional properties and profiles of volatile organic compounds. Foods. 2021;10(12):3082. <https://doi.org/10.3390/foods10123082>
58. Кондратьева А. В., Ярмаркин Д. А., Прохасько Л. С., Асенова Б. К., Залилов Р. В. Новые технологии обработки молочной продукции (на примере молока коровьего питьевого). Молодой ученый. 2013. № 10. С.146–149. [Kondrat'eva AV, Yarmarkin DA, Prokhas'ko LS, Asenova BK, Zalilov RV. New technologies of dairy processing: Market cow's milk. Young Scientist. 2013;(10):146–149. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/POLATV>
59. Янковская В. С., Дунченко Н. И., Михайлова К. В. Разработка структурированных молочных продуктов с учетом данных о рекламациях и методологии квалиметрии рисков. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 1. С. 2–12. [Yankovskaya VS, Dunchenko NI, Mikhaylova KV. New structured dairy products based on quality complaints and risk qualimetry. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):2–12. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-2-12>
60. Labuza TP, Kaanane A, Chen JY. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. Journal of Food Science. 1985;50(2):385–392. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13409.x>
61. Gabriel AA. Estimation of water activity from pH and °Brix values of some food products. Food Chemistry. 2008;108(3):1106–1113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.077>
62. Li Y, Wang Y, Li B, Hou B, Hung W, et al. *Streptococcus thermophilus* JM905–Strain carbon source utilization and its fermented milk metabolic profile at different fermentation stages. Foods. 2023;12(19):3690. <https://doi.org/10.3390/foods12193690>
63. Zhao X, Ge Y, Yu X, Liu C, Li H, et al. Fermentation characteristics of fermented milk with *Streptococcus thermophilus* CICC 6063 and *Lactobacillus helveticus* CICC 6064 and volatile compound dynamic profiles during fermentation and storage. Molecules. 2024;29(6):1257. <https://doi.org/10.3390/molecules29061257>
64. Li D, Peng J, Kwok L, Zhang W, Sun T. Metabolomic analysis of *Streptococcus thermophilus* S10-fermented milk. LWT. 2022;161:113368. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113368>
65. Valenzuela JA, Vázquez L, Rodríguez J, Flórez AB, Vasek OM, et al. Phenotypic, technological, safety, and genomic profiles of gamma-aminobutyric acid-producing *Lactococcus lactis* and *Streptococcus thermophilus* strains isolated from cow's milk. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(4):2328. <https://doi.org/10.3390/ijms25042328>
66. Wang K, Ma C. Effect of *Streptococcus thermophilus* extract on *Lactiplantibacillus plantarum* acidification and propagation in milk fermentation. International Journal of Dairy Technology. 2024;77(3):784–791. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13109>