

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-294-307>

Поступила 09.11.2021

Поступила после рецензирования 08.12.2021

Принята в печать 25.12.2021

© Канина К. А., Жижин Н. А., Каракулова Е. А., Атанасов П. Р., 2021

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

Научная статья

Open access

# РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СЫРА ТИПА БРЫНЗЫ И ПОБОЧНОГО СЫРЬЯ — МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРМЕНТА МТГ И ЕГО СТЕПЕНИ АКТИВНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

Канина К. А.<sup>1\*</sup>, Жижин Н. А.<sup>2</sup>, Каракулова Е. А.<sup>1</sup>, Атанасов П. Р.<sup>1</sup><sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет —  
Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Москва, Россия**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:***сыр брынза, коровье и козье  
молоко, активность фермента,  
микробная транглутаминаза  
(мТГ), подсырная сыворотка***АННОТАЦИЯ**

В статье рассматривается вопрос применения фермента микробной транглутаминазы (мТГ) для производства сыров типа брынзы. Микробная транглутаминаза относится к семейству ферментов катализирующих образование связей между аминокислотными группами. Одной из проблем при производстве высокобелковых продуктов, в частности сыров из козьего молока является дряблость створа. Использование мТГ в технологическом процессе позволило бы укрепить белковый матрикс продукта, тем самым улучшить его товарные характеристики. При проведении гистологических исследований сыров, которые характеризуют состояние белкового матрикса, с применением данного вида фермента установлено, что белковая структура продукта более сжата, что влияет на консистенцию сыров по сравнению с контрольными образцами (без применения мТГ). Консистенция становится резиновой, что плохо отражается на органолептической оценке продукта, которая является важной характеристикой при приобретении продукта покупателем. С помощью текстурного анализатора фирмы Brookfield показано, что структурно-механические характеристики с применением мТГ улучшились для образцов сыра выработанного из коровьего молока в 1,5 раза, тогда как для козьего сыра в 2 раза. Анализ каталитической активности фермента показал, что данный фермент сохраняет свою активность в течение всего срока хранения сыра, что несет потенциальную опасность для здоровья человека. По истечению срока хранения продукта установлено, что изменение активности фермента мТГ, составило не более 5% относительно исходных показателей. Активность фермента сохраняется не только в сыре, но и в побочном сырье — подсырной сыворотке, что в дальнейшем затрудняет ее переработку.

Received 09.11.2021

Accepted in revised 08.12.2021

Accepted for publication 25.12.2021

© Kanina K. A., Zhizhin N. A., Karakulova E. A., Atanasov P. R., 2021

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

Original scientific article

Open access

## RESULTS OF THE COMPLEX EVALUATION OF BRYNDZA CHEESE AND THE BY-PRODUCT MILK WHEY WITH THE USE OF ENZYME MTG AND ITS ACTIVITY DEGREE DURING STORAGE

Ksenia A. Kanina<sup>1\*</sup>, Nikolay A. Zhizhin<sup>2</sup>, Ekaterina A. Karakulova, Peter R. Atanasov<sup>1</sup><sup>1</sup> Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of the Dairy Industry, Moscow, Russia**KEY WORDS:***bryndza cheese, cow and goat  
milk, enzyme activity, microbial  
transglutaminase (mTG), cheese  
whey***ABSTRACT**

The paper examines the question of using the enzyme microbial transglutaminase (mTG) for bryndza cheese production. Microbial transglutaminase belongs to the enzyme family that catalyzes formation of bonds between amino groups. One of the problems in production of high-protein products, in particular, cheeses from goat milk is flabbiness of the clot. The use of mTG in the technological process would allow strengthening the product protein matrix, thereby improving its commercial characteristics. When performing the histological investigation of cheeses with this enzyme type to characterize the state of the protein matrix, the authors established that the product protein structure was more condensed compared to the control samples (without mTG), which affected cheese consistency. Consistency became more rubbery negatively influencing the product sensory properties, which are important traits for a consumer when buying a product. Using a Brookfield texture analyzer, it was shown that structural-mechanical characteristics were improved by 1.5 times for cheese samples produced from

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Канина, К.А., Жижин, Н.А., Каракулова, Е.А., Атанасов, П.Р. (2021). Результаты комплексной оценки сыра типа брынзы и побочного сырья — молочной сыворотки, с применением фермента мТГ и его степени активности в процессе хранения. *Пищевые системы*, 4(4), 294-307. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-294-307>

FOR CITATION: Kanina, K.A., Zhizhin, N. A. Karakulova, E.A., Atanasov, P.R. (2021). Results of the complex evaluation of bryndza cheese and the by-product milk whey with the use of enzyme MTG and its activity degree during storage. *Food systems*, 4(4), 294-307. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-294-307>

cow milk and by 2 times for goat cheese when mTG was used. Analysis of the enzyme catalytic activity showed that this enzyme retained its activity throughout the whole storage period, which is a potential hazard for human health. After shelf-life expiration, a change in the mTG activity was not more than 5% relative to the initial levels. The enzyme activity retained not only in cheese but also in the by-product — cheese whey, which made its processing more difficult.

## 1. Введение

Большое значение в питании человека занимают молоко и молочные продукты, они являются источниками различных видов питательных веществ, в том числе незаменимых, которые должны присутствовать в рационе человека. Качество молока-сырья и молочных продуктов зависит от многих факторов, которые стоит учитывать при производстве продуктов. Ведется поиск инновационных подходов по производству молочных продуктов, с целью минимизировать потерю составных частей молока-сырья, при этом сделать процесс экономически выгодным. Так известно, что при производстве сыра в сыворотку переходит около половины сухих веществ молока [1]. Она также обладает высокой биологической ценностью, так как в ней содержатся: минеральные вещества, витамины, ферменты, гормоны, иммунные тела, фосфолипиды, микроэлементы [2]. А сывороточные белки, на долю которых приходится 0,8–0,9%, служат дополнительным источником незаменимых аминокислот (цистин, триптофан и др.) [3]. В связи с этим, дополнительное связывание сывороточных белков, уменьшение потерь общего белка при производстве сыра позволило бы решить проблему перехода сухих веществ в сыворотку, увеличить выход продукта, а также повысить его биологическую ценность. Одним из способов решения этой задачи является применение ферментных препаратов, позволяющих интенсифицировать технологические процессы.

Применение ферментов, которые играют огромную роль при производстве молочных продуктов с целью улучшения качественных характеристик, является актуальным направлением.

Мировой рынок ферментных препаратов в 2019 году оценивают в 9,9 миллион долларов США. По прогнозам, данный сегмент будет и дальше расти на 7,1% с 2020 года по 2027 год. Российский рынок ферментных препаратов недостаточно развит в данном направлении, так как производители отдают свое предпочтение импортным продуктам [4].

Наибольшую популярность получили ферменты, синтезируемые из микроорганизмов: бактерий, грибов и дрожжей. Это связано с тем, они имеют ряд преимуществ перед ферментными препаратами растительного и животного происхождения, а именно: экологичность и высокую активность, доступную очистку; производство легко контролировать; устойчивы при экскретции; разнообразие микроорганизмов способствует производству препаратов с широким диапазоном специфичности; синтез препаратов возможно производить ежегодно [4].

Известно, свыше 2000 различных ферментов, из них около 125 находится в молоко-сырье. Из секреторных клеток молочной железы попадает около 80 ферментов [5]. Ферменты присутствуют в молоке в различных составных частях, так 25 ферментов находится в водной фазе, 56 связаны с белком и оболочкой жировых шариков [6]. Источниками попадания ферментов в молоко является в основном продукты жизнедеятельности микроорганизмов, попадающих экзогенным путем, так и эндогенным. Кроме того, ферменты попадают в молоко из эпителиальных клеток альвеол молочной железы. Ферментный спектр секреторных клеток многообразен, поэтому отмечаются адаптивные изменения активности и свойств ферментов, зависящие от различных процессов

жизнедеятельности живого организма, а также непосредственно от секреторных свойств получения молока-сырья. Продуцируемая ферментативная активность остается неизменной на протяжении долгого времени, в особенности если она получена от бактериальной клетки. Так называемые нативные ферменты выполняют различные функции в молоке сырье: катализируют процессы гликолиза, липолиза, протеолиза и т. д.

Кроме нативных ферментов присутствующих в молоке сырье, существует спектр ферментов, которые важны для технологических процессов производства молочных продуктов. К таким ферментам относятся: как пепсин, химозин, липаза и т. д. Ферментные препараты в молочной промышленности способствуют расширению ассортимента продукции, выводя производство на новый уровень за счет — экономии сырья, ускорения технологии, повышения выхода и качества продукции.

Повышение выхода и качественных характеристик продукта возможно добиться за счет введения фермента микробной трансглутаминазы (mTG), относящейся к подклассу аминотрансфераз [7]. Этот фермент катализирует реакцию переноса между аминокислотной группой лизинового остатка (акцептора ацила) и амидной группы глутаминовых остатков (донора ацила) с модификацией связей изопептидной сшивки [7,8,9,10]. Деамидированием можно получить высокобелковый продукт с улучшенными функциональными свойствами. Известно, что при добавлении к кисломолочным продуктам фермент уменьшает синерезис, тогда как в производстве высокобелковых продуктов приводит к повышению выхода белка. Кроме того, он применяется в мясной промышленности придавая прочность в колбасных изделиях малоценным остаткам мяса выполняя связующую функцию. Трансглутаминазу иногда называют «природным клеем», так как она участвует в процессах: свертываемости крови, синтезе кожи, модификации клеточного матрикса и других процессах. В 1989 году японскими учеными была получена трансглутаминаза из штамма почвенных бактерий *Streptovorticillium mobaraense*, которые в больших количествах синтезируют легко очищаемую TG [11,12,13,14].

В ходе изучения проведенных исследований было выяснено, что на действие фермента оказывают влияние различные факторы среды, в которых протекает реакция. К таким факторам относится: показатель pH в диапазоне от 5–9 и температура от 2 до 55 °С. Именно в этом диапазоне mTG проявляет наибольшую активность, например, а при температуре от 72 °С и выше происходит неполная денатурация белка с остатками пептидных связей [15].

Использование трансглутаминазы применительно для всех молочных продуктов. На основе информационных источников работ зарубежных и отечественных ученых установлено, что использование трансглутаминазы способствует лучшему формированию консистенции продукта. Связывание казеина, обусловленное взаимодействием молока и трансглутаминазы, приводит к уменьшению устойчивости мицелл казеина, образованию сгустка с повышенной прочностью, вязкостью и влагоудерживающей способностью. Это приводит к тому, что с помощью фермента, возможно уменьшить количество вносимого белка и стабилизатора в продукт.

Основными компонентами молока являются белки. Молочные белки отвечают за многие физико-химические свойства продукта, а именно: текстура, вязкость, устойчивость к термической обработке [8,9]. Белками молока являются — казеины (80%) и сывороточные белки (14%). Казеин состоит из трех фракций:  $\alpha$ 1- (55%),  $\beta$ - (30%) и  $\kappa$ -казеин (15%). Сывороточные белки состоят из  $\beta$ -лактоглобулина (около 50% от СБ и 12% от всех белков молока),  $\alpha$ -лактальбумина (20% от СБ и 3,5% от общего белка), иммуноглобулины [16].

Можно отметить, что наиболее быстрой связывающей способностью с транслугламиназой обладает казеин, имеющий доступную и гибкую четвертичную структуру цепи [17].

В отличие от казеина, в нативной форме у сывороточных белков не происходит реакции связывания, так как в их структуре присутствует большое количество дисульфидных связей, обеспечивающих прочные связи внутри молекулы белка. Для решения этой проблемы необходимо проведение тепловой обработки молока, в которой происходит денатурация белка, т.е. разворачивание белка и снижение количества дисульфидных мостиков. После чего становится возможным образование дополнительных ковалентных связей между сывороточными белками посредством ферментативной реакции, обеспеченной ферментом транслугламиназой.

Еще одним аспектом применения данного фермента может быть использование его в технологии переработки молока различных сельскохозяйственных животных, различающихся фракционным составом белка. Так в козьем молоке содержание сывороточного белка  $\beta$ -лактоглобулина, больше, чем в коровьем, поэтому при выработке сыра из такого молока, белковый матрикс сырного сгустка имеет более дряблую консистенцию. А применение фермента транслугламиназы в технологии сыров из козьего молока позволит получить устойчивый сгусток посредством усиленных связей между белковыми молекулами [18].

При этом существует и множество противоречий, связанных с использованием ТГ в пищевых продуктах. Одним из таких является, проявление аллергии и накопления трансжиров. Образуются новые связи, пищеварительные ферменты не справляются с расщеплением белков [19].

На территории РФ применение микробных ферментных препаратов в пищевой промышленности строго регламентируется в соответствии с ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Использование мТГ решением Таможенного союза 029/2012 «О безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» запрещено [20]. Известно, что активность ферментов зависит от различных факторов: температуры, pH, скорости протекания реакции и срока хранения продукта.

Целью данной работы является оценка применения фермента мТГ как способа улучшения качественных показателей сыра типа брынзы, изготовленного из козьего и коровьего молока. В том числе анализ экономической эффективности применения данного ферментного препарата.

Так же в связи с тем, что при применении микробной транслугламиназы ограничено за счет возможной остаточной ферментативной активности, будет проведена оценка этого показателя на протяжении срока хранения выработанного продукта. В том числе необходимо исследовать ферментативную активность мТГ в подсырной сыворотке, полученной в ходе технологического процесса, как источника сырья для дальнейшей переработки.

## 2. Материалы и методы

Исследования проведены на кафедре технологии хранения и переработки продуктов животноводства РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева совместно со Всероссийским научно-исследовательским институтом молочной промышленности (ВНИМИ).

В качестве объектов исследования использовали молоко от коров черно-пестрой породы, полученное с Зоостанции РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева и молоко от коз зааненской породы, полученное из фермерского хозяйства «Заповедь» Коломенского района Московской области.

Работа проведена в соответствии со следующей схемой исследования (Рисунок 1).

Для производства сыра использованы: хлорид кальция, сычужный фермент (пепсин) фирмы Hansen и фермент микробного происхождения транслугламиназа, TG-Maxilact» тип TG — B100, активностью в 100 единиц, мезофильная закваска Danisco CHOOZIT MM 101. Молоко подвергалось пастеризации при температуре 72 °С, в течение 20–30 с. Затем его охлаждали и вносили компоненты для выработки сыра типа брынзы. После внесения в молоко компонентов, его оставляли в термостате и наблюдали образование сгустка, при этом контролировали температуру и время свертывания молока. Сыр типа брынзы контрольных образцов свертывание проводили при температуре 33–38 °С. Технологическая особенность введения фермента мТГ при производстве сыра типа брынзы состоит в том, что фермент вводится непосредственно перед сычужным свертыванием молока и оставляется на 30 минут для образования геля при температуре 50 °С. Добавление хлористого кальция производили 40 мг на литр молока в контрольные и опытные образцы. Закваску вносили в соответствии с рекомендациями производителя. Добавление сычужного фермента производили из расчета пробы на крепости сычужного фермента. Посол (сухой) головки сыра осуществляли в течение нескольких дней.

В ходе проведенных исследований изучены следующие показатели.

Органолептические свойства молока:

- органолептические свойства коровьего молока в соответствии с ГОСТ Р 52054–2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия» (с Изменениями № 1, 2) [21];
- органолептические свойства козьего молока в соответствии с ГОСТ 32940–2014 «Молоко козье сырое. Технические условия» [22].

Физико-химические показатели молока и сыра типа брынзы:

- титруемая кислотность, °Т — титриметрический метод в соответствии с ГОСТ 3624–92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности» [23];
- массовая доля жира, % — с помощью кислотного метода в соответствии с ГОСТ 5867–90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира» [24];
- массовая доля влаги, % — определение с помощью прибора Чижовой в соответствии с ГОСТ 3626–73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества» (с Изменениями N1,2,3) [25];
- масса сыра, г — путем взвешивания на аналитических весах с точностью до третьего знака

Гистологические показатели сыра (микроструктура сыра) проводили в соответствии со следующей методикой:

1. Подготовка препарата: из середины сыра вырезали кубик 1 см<sup>3</sup>, фиксировали его в 10%-ном формалине в течение 12–24 часов. Тонкие кусочки фиксированного и промытого препарата толщиной не более 0,5 см помещали в 12,5% раствор желатина на 6 ч, потом в 25% на 12 часов (при



Рисунок 1. Схема исследования

37 °С). Пропитанные кусочки помещали в часовые стекла, заливали желатином и быстро охлаждали на поверхности холодной воды в сосуде. Из застывшего желатина вырезали залитые кусочки и уплотняли в 20%-ном растворе формалина в течение 6 ч. Такие блоки хранили в 10%-ном формалине. После 10-минутной промывки уплотненные блоки разрезали на замораживающем микротоме.

2. Окрашивание: раствор гематоксилина-судана III окрашивает ядра клеток, некоторых белковые структуры и отложения фосфорнокислого кальция в темно-синий и голубой цвет. Полученные срезы (толщиной 10–20 мкм) из воды переносили на 2 мин в 50% спирт, а затем на 10 мин в насыщенный раствор судана III. Срезы ополаскивали дистиллированной водой и переносили на 5–10 мин в гематоксин Майера. Окрашенный срез помещали на предметное стекло, заливали каплей расплавленного глицерин-желатина и накрывали покровным стеклом. После застывания желатина препарат готов для исследования [26].

Структурно-механические показатели сыра типа брынзы определяли с помощью прибора фирмы Brookfield.

Для проведения исследования были установлены следующие параметры измерений: нагрузка — 5 г; скорость зонда — 2,5 мм/с; глубина погружения — 15 мм. В ходе проведения анализа измеряется усилие, которое необходимо произвести для деформации, вплоть до заданного момента окончания исследования. Заданная нагрузка, деформирует испытуемый образец, при этом производится измерение значения величины этой нагрузки. Измерение проводилось в трех точках (погружение зонда) [27].

В сыворотке определяли следующие показатели:

- ❑ массовая доля белка, % — с помощью прибора фирмы Kjeltac 8100 [28];
- ❑ массовая доля жира, % — с помощью кислотного метода в соответствии с ГОСТ 5867–90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира» [29].

Определение пептидного состава проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЖЭХ) по обращено-фазовому механизму разделения аналитов [30]. Для исследования пептидного состава образцов была подобрана хроматографическая колонка, отвечающая поставленным требованиям. В этом качестве была использована колонка ReproSil-Pur 300 ODS-3.5мкм, 250×4,6 мм. С химически привитой октодецилсалонольной фазой способной удерживать белки за счет гидрофобных связей и размером пор 300 Å позволяющим пептидам полноценно связываться с неподвижной фазой.

Разделение проводили при помощи хроматографической системы «Маэстро» (Россия) оборудованной двумя насосами и динамическим смесителем, которые позволяют проводить градиентное элюирование аналитов в программируемом составе подвижной фазы. В качестве компонентов подвижной фазы использованы бидистиллированная вода с добавлением в качестве ион-парного реагента трифторуксусной кислоты (ТФУ) в количестве 0,1% по объему и ацетонитрила, как органического растворителя также с добавкой ТФУ 0,1% по объему. Анализ образцов проводили при комнатной температуре со скоростью потока подвижной фазы 1мл/мин. Объем вводимой пробы составил 20 мкл. Долю ацетонитрила в процессе проведения анализа увеличивали с 5% до 60% в течение 30 мин. Обнаружение проводили при 214 нм с использованием спектрофотометрического детектора.

Объем сыворотки, мл, определяли мерным цилиндром. Определение каталитической активности фермента мТГ проводили с помощью набора фирмы «Хема», в сырах с помощью иммуноферментативного анализа (ИФА). В данной тест-системе используется принцип двухсайтового (сэндвич) иммуноферментативного анализа. Методика определения мТГ: проводили измельчение образцов до образования однородной массы. Экстракция микробной

транслугтаминазы из образца проводилась путем смешивания пробы с буфером для экстракции в соотношении 1:5. Далее проводили инкубирование в течение 15 мин при температуре 20–25 °С при периодическом встряхивании 400–600 об/мин. Затем проводили центрифугирование экстрактов при 10000g в течение 10 мин для удаления нерастворимых частиц и жира. Отбирали насадочную жидкости в чистую пробирку. Проводили разбавление экстракта в 2 раза ИФА-Буфером. Определение проводили при оптической плотности на планшетном фотометре для иммуноферментного анализа Ledetect 96 при длине волны 450 нм [31].

Анализ статистических данных проведен в трех проворностях, с применением пакета программ Excel-2011. Статистическое оценивание результатов проводили с помощью критерия Стьюдента и метода алгебраического анализа.

В дегустационной оценке образцов принимали участие эксперты технологического факультета.

Оценивание образцов проводилось по 5-ти балльной системе. Для обработки органолептических показателей применен алгебраический подход, в ходе которого рассчитаны следующие показатели: среднее арифметическое, средние геометрическое и нечеткая мера сходства.

### 3. Результаты и обсуждение

Качество производимого продукта находится в прямой зависимости от показателей молочного сырья, а именно физико-химических, органолептических и технологических показателей.

При органолептической оценке козьего и коровьего молока вкус и запах свойственны для данного вида животного, однако специфичность козьего молока была обусловлена содержанием в нем летучих жирных кислот. Консистенция молока однородная без слизи не тягучая, хлопьев и осадков.

Проведены исследования физико-химических показателей козьего и коровьего молока, результаты, которых представлены в Таблице 1.

Таблица 1

#### Физико-химические показатели коровьего и козьего молока

Показатели	Вид молока	
	Коровье	Козье
Массовая доля, %:		
– жира	3,35 ± 0,13	4,2 ± 0,05
– белка	3,08 ± 0,02	3,04 ± 0,02
– СОМО	8,1 ± 0,07	8,4 ± 0,03
Кислотность, °Т	16,0 ± 0,5	22,0 ± 0,7
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1027,5 ± 0,5	1028,4 ± 0,5

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что козье молоко отличается более высокими показателями содержания жира, на 0,85% выше, чем в коровьем молоке. Жир — является одним из важных показателей, так как он определяет пищевую ценность, консистенцию, структуру и вкус. В исследуемом молоке содержание жира для коровьего составило 3,35%, а для козьего молока — 4,2%; жировые частицы представлены более мелкими по размеру по сравнению с коровьим молоком (Рисунок 2). Также в нем отмечено, более высокое содержание белка 0,24%. Белок является одним из определяющих показателей питательной ценности и технологические свойства продукта. Содержание белка в коровьем молоке составило 3,08% и козьем 3,04%. Это достаточно высокие показатели, что характеризует данное сырье качественным и пригодным для производства сыра.

На плотность оказывает влияние содержание компонентов молока, так при повышении содержания жира плотность снижается, а при увеличении лактозы, белка и солей — повышается [32]. Относительно бóльшая плотность наблюдалась у козьего молока.

После выработке опытных и контрольных образцов сыра, изучены их физико-химические показатели и выход. Полученные данные представлены в Таблице 2.

Таблица 2

#### Физико-химические показатели сыра типа брынзы

Показатели	Сыр — брынза из молока			
	Контроль коровье	Коровье + ТГ	Контроль козье	Козье + ТГ
Масса сыра, г	526,8 ± 19,16	647,2 ± 27,84	507,6 ± 20,07	629,4 ± 25,69
Массовая доля, %:				
– влаги	55,0 ± 1,00	55 ± 2,00	56 ± 1,00	56 ± 0,08
– жира	21,10 ± 0,25	21,76 ± 0,15	21,98 ± 0,20	21,80 ± 0,30
– белка	18,70 ± 0,37	19,05 ± 0,29	19,90 ± 0,15	20,10 ± 0,21

Примечание: Здесь и далее разность показателей достоверна: P ≤ 0,05.

При исследовании физико-химических показателей сыра, выработанного из коровьего и козьего молока, необходимо отметить, что при применении мТГ изменились показатели содержания общего белка, жира и влаги, что является следствием действия фермента мТГ, который приводит к образованию связи между глутамином и ε-аминой группой лизина, создавая ковалентные связи, при этом способствуя более прочной шивке белка, что в итоге снижает интенсивность синерезиса.

Кроме того, исследована молочная сыворотка, полученная в ходе выработки контрольных и опытных образцов сыров; изучены ее физико-химические показатели (Таблица 3).

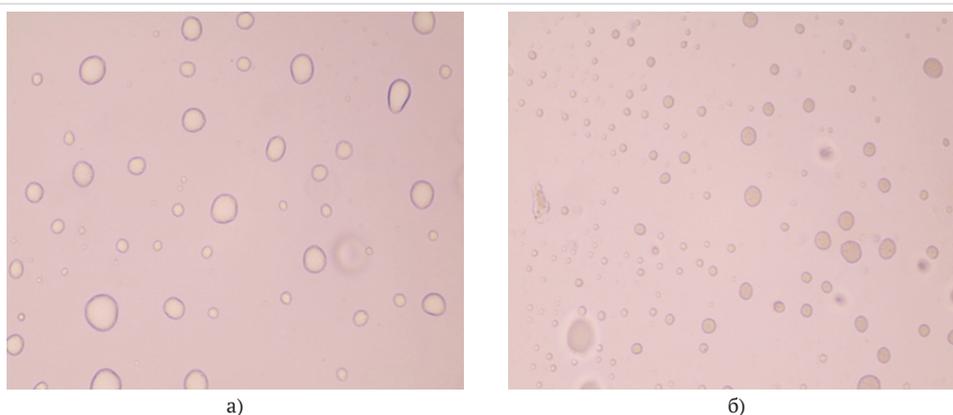


Рисунок 2. Жировые частицы: а) коровьего молока, б) козьего молока (увеличение 600 раз)

Таблица 3

## Физико-химические показатели подсырной сыворотки

Показатель	Вид сыворотки			
	Коровье контроль	Коровье + ТГ	Козье контроль	Козье + ТГ
Количество сыворотки, мл	1800±3,02	1650±1,97	1950±4,19	1450±5,29
Массовая доля жира, %	0,55±0,19	0,35±0,14	0,60±0,17	0,40±0,13
Массовая доля белка, %	0,77±0,24	0,35±0,25	0,96±0,23	0,57±0,16
Кислотность, °Т	16±1,08	20±2,16	23±2,16	26±3,71
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1022,5±0,001	1021,5 ±0,001	1023,5±0,001	1023,0±0,001

Как видно из таблицы, наибольшие потери белков и жира наблюдались у контрольных образцов.

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что изменение молочных сгустков в сыре под действием фермента трансглутаминазы приводит к снижению интенсивности синергизиса, а также уменьшению потери белка и жира в сыворотку.

По внешнему виду сыворотка (Рисунок 3, а, б) с применением мТГ имеет ярко-желтый цвет, в ней находится меньше белков из-за этого практически отсутствует осадок.

При анализе данных пептидного состава сыворотки (Рисунки 4,5,6,7), полученные в ходе выработки сыра-брынзы из коровьего молока с применением мТГ, установлено, что наблюдается уменьшение количества сывороточных белков: на 23% — альбумина, на 11% β-лактоглобулина. В подсырной сыворотке из козьего молока, получены следующие показатели: содержание альбумина снизилось на 8%, а β-лактоглобулина на 4,4%, при этом наблюдалось увеличение выхода сыра: на 18,7% из коровьего и 19,5% козьего молока, соответственно.

Одной из важнейшей характеристик сыра является консистенция, обуславливаемая совокупностью реологических (структурно-механических) и адгезионных свойств продукта [32].

Исследование консистенции продукта характеризуют структурообразующие свойства продукта. Полученные данные отображены в Таблице 4.

В процессе исследования образцов сыра-брынзы по реологическим характеристикам (СМХ), выработанного из коровьего молока установлено, что пенетрационное давление и работа разрушения составили, соответственно — 130,5 г/см<sup>2</sup> и 9,48 мДж (для контрольного образца из коровьего молока) и 207,5 г/см<sup>2</sup> и 12,70 мДж (для опытного образца с применением мТГ), т. е показатели улучшились в 1,5 раза;

Аналогичные исследования образца, выработанного из козьего молока, установили следующие показатели: 146,5 г/см<sup>2</sup> и 18,5 мДж (для контрольного образца из козьего молока); 288,0 г/см<sup>2</sup> и 18,54 (для опытного образца с применением трансглутаминазы, т. е показатели улучшились в 2 раза.

Таким образом, анализ изменения реологических характеристик контрольного и опытного образцов сыра показал зависимость от присутствия мТГ, что говорит об улучшении консистенции (повышении прочности) за счет образования дополнительных связей.

Микроструктура сыров формируется под влиянием процессов его изготовления и созревания, а также определяет их качественные характеристики. С ней тесно связаны его вязкость и пластичность.

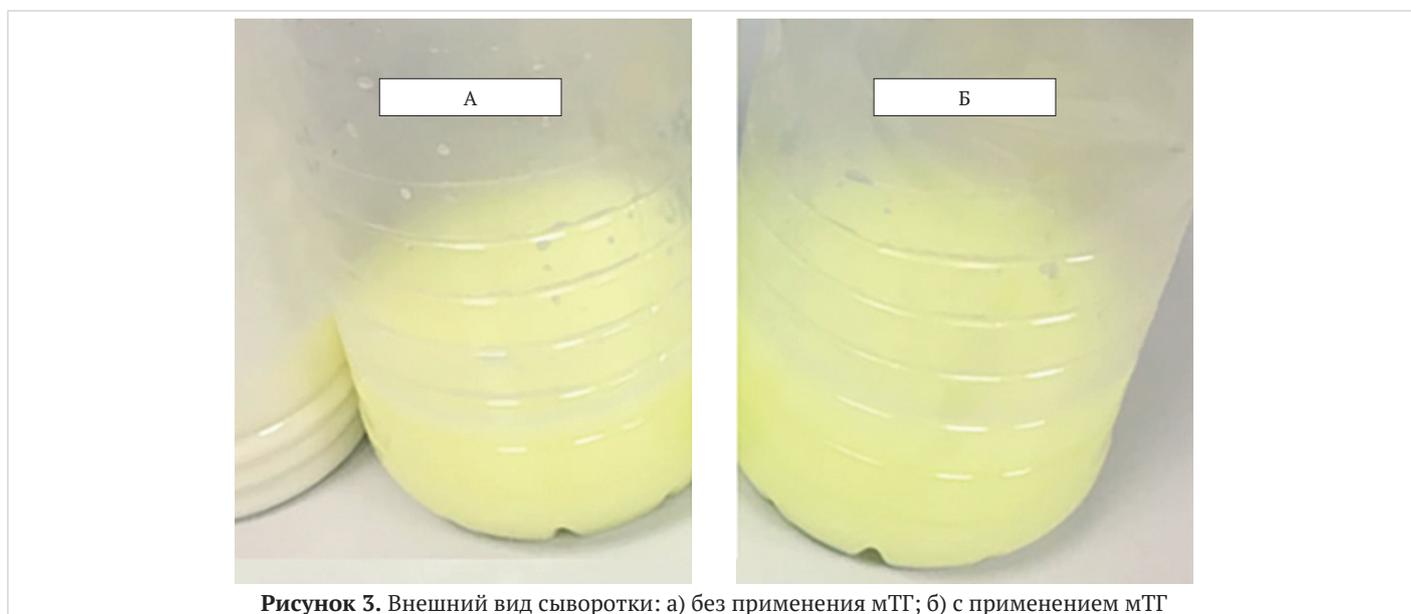


Рисунок 3. Внешний вид сыворотки: а) без применения мТГ; б) с применением мТГ

Таблица 4

## Определение структурно-механических свойств сыра типа брынзы

Показатель	Контроль (коровье молоко)	Коровье молоко + ТГ	Контроль (козье молоко)	Козье молоко + ТГ
Пенетрационное давление, г	130,5±29	207,5±32	146,5±35	288,0±21
Работа разрушения, мДж	9,48	12,70	8,36	18,54

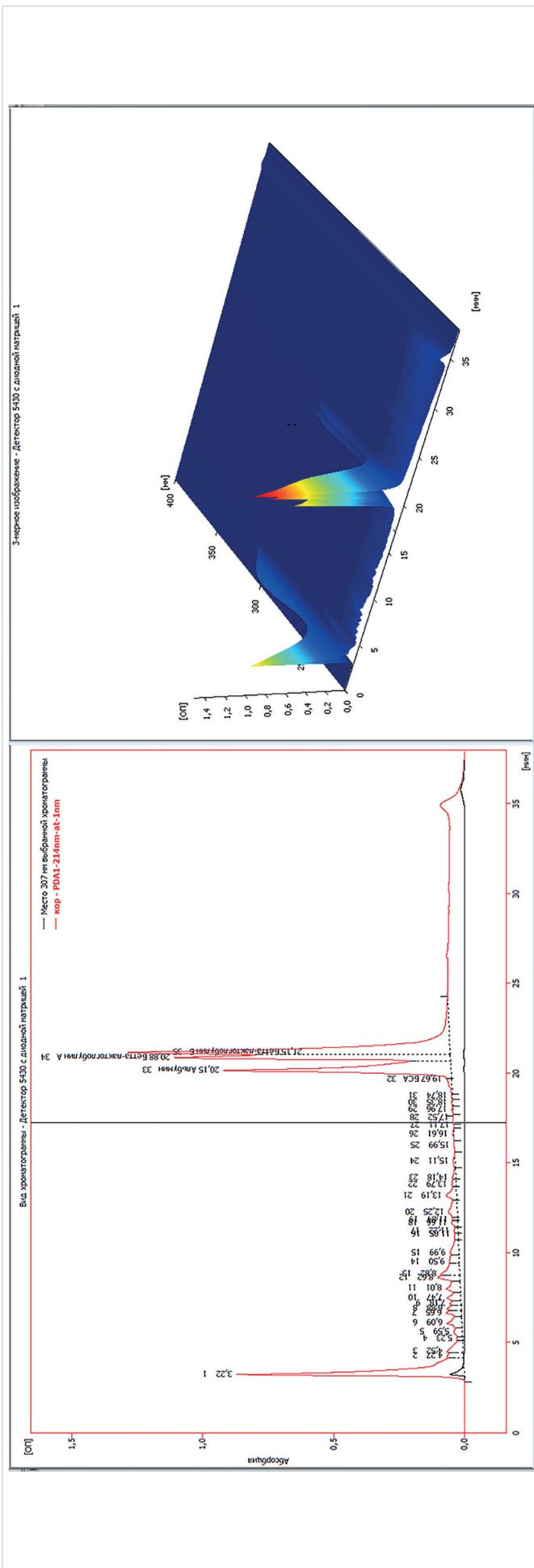


Рисунок 4. Хроматограмма определения сыровоточных белков в сыровотке из коровьего молока

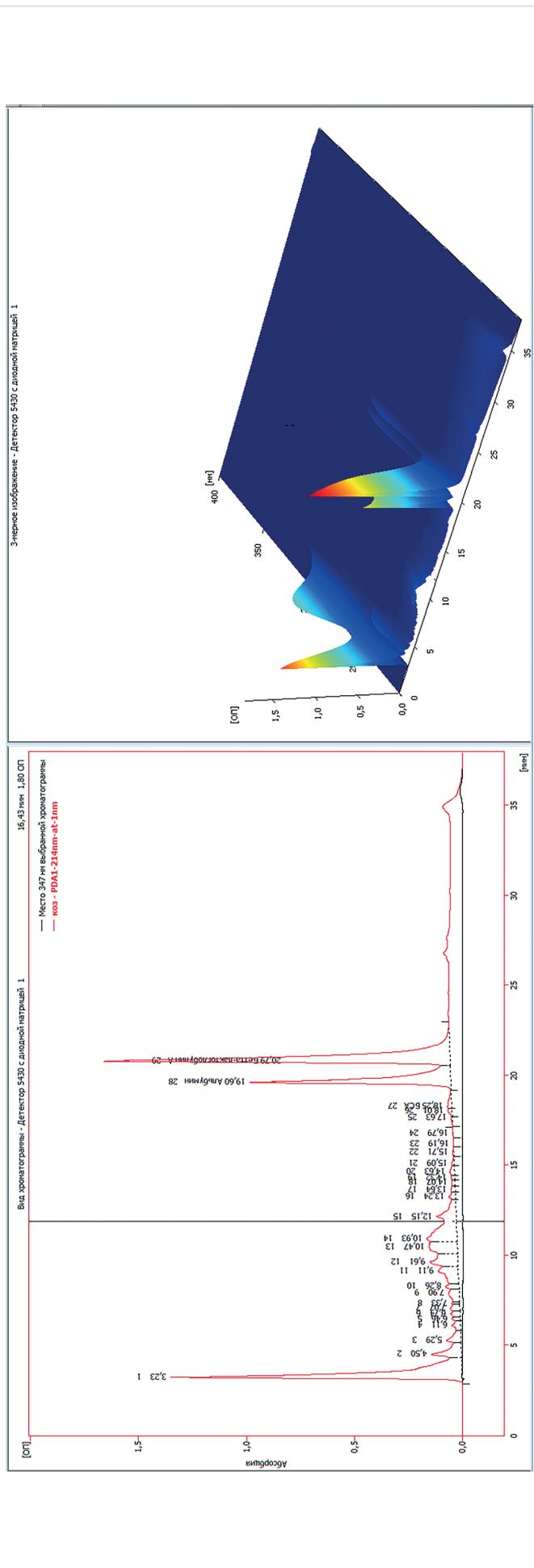
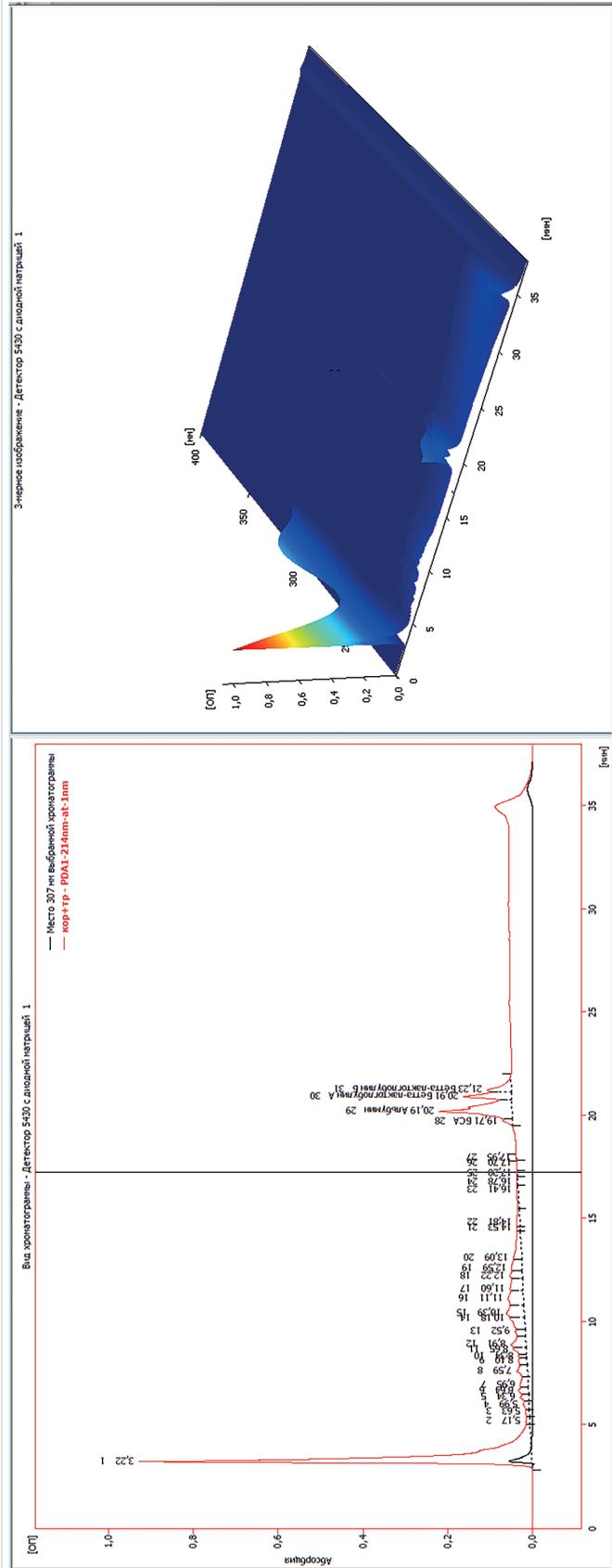


Рисунок 5. Хроматограмма определения сыровоточных белков в сыровотке из козьего молока



Основными в микроструктуре сыра являются макро-структурные (макрозерна, прослойки между макроструктурными, микропустотки) и микроструктурные (жировые и липоидные частички, отслоения солей кальция и колонии микроорганизмов) элементы. Чем более развита поверхность, плотность и однородность имеет микроструктура продукта, тем более высокими значениями реологических показателей и лучшей влагоудерживающей способностью она обладает [33].

Для определения особенностей строения молочно-белкового сгустка сыра, выработанного с ферментом транслугтаминаза, проводили сравнительные исследования микроструктуры контрольных и опытных образцов свежевыработанного сыра (Рисунок 8, 9).

В результате проведенного исследования установлено, что микроструктура сыра с применением фермента мТГ, более однородная, белковая структура представляет собой «каркас», характерный для дисперсных систем и закрытую систему равномерно распределенных микропустот меньшего размера. В связи с чем, можно сделать вывод, что изучаемые образцы сыра-брынзы обладают большей прочностью, что в свою очередь, обеспечивает лучшие структурно — механические характеристики и влагоудерживающую способность по сравнению с контролем. Однако, необходимо отметить, что жировые глобулы в структуре с применением мТГ, менее выражены, сжаты в белковом матриксе сыра, что

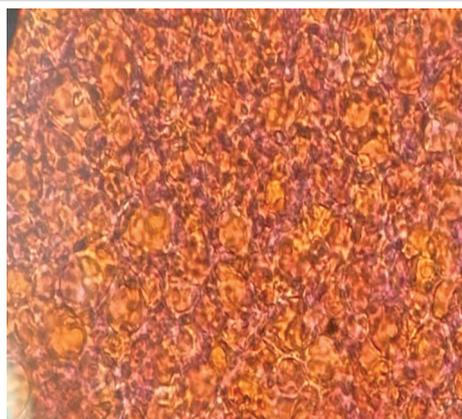
может оказать негативное влияние на органолептическую оценку данного продукта.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что образуемые дополнительные изопептидные связи, катализируемые мТГ, повышают устойчивость белкового сгустка к термомеханическим нагрузкам в процессе производства продукта и обеспечивают стабильность его в хранении.

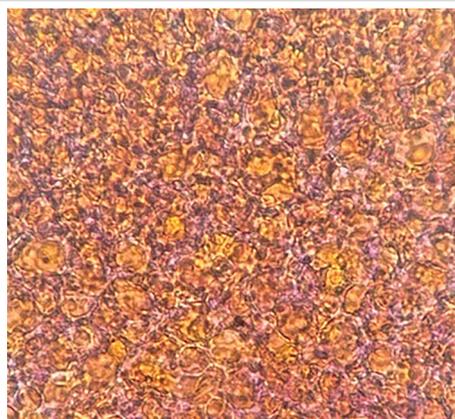
Для определения изменения каталитической активности фермента транслугтаминазы в ходе жизненного цикла выработанных продуктов проведен иммуноферментный анализ сыров и сыворотки.

В процессе проведенного анализа выявлена активная форма мТГ как в сыре, так и в сыворотке. Анализируемые образцы заложены на хранение в течение 14 дней. По истечению срока хранения проведен ИФА анализ, в ходе которого установлено, что изменение активности фермента мТГ, относительно контрольных образцов, составило не более 5% (Таблица 5).

Одними из показателей качества продукта являются органолептические показатели. Образцы имели характерный вкус и запах, консистенция плотная, немного рыхловатая; образцы из козьего молока с применением транслугтаминазы обладали более резиновой консистенцией. Выработанные сыры представлены на Рисунках 10, 11, 12, 13.

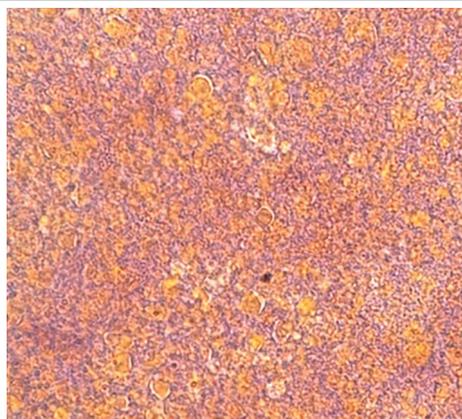


а)

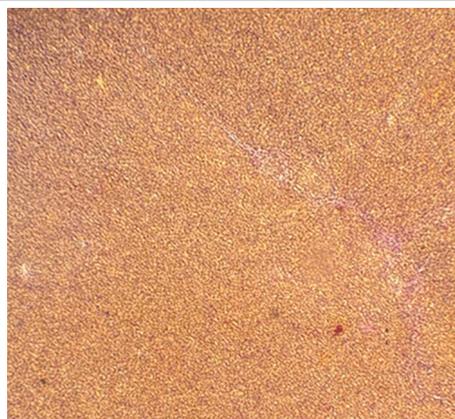


б)

**Рисунок 8.** Микроструктура сыра-брынзы из коровьего (а) и козьего (б) молока без добавления фермента транслугтаминазы (увеличение 600 раз): 1) — глобулы жира (окрашены в желто-оранжевый цвет), 2) — структура белкового матрикса (окрашены красный цвет)



а)



б)

**Рисунок 9.** Микроструктура сыра-брынзы из коровьего и козьего молока с применением фермента транслугтаминазы (увеличение 600 раз): 1) — глобулы жира (окрашены в желто-оранжевый цвет); 2) — структура белкового матрикса (окрашены красный цвет)

## Изменение активности мТГ в процессе хранения продукта

Показатель	Сыр типа брынзы, полученной из сырья (n=3)					
	Коровьего (контроль)	Коровьего +мТГ-(опыт)	Коровьего +мТГ (14 дней хранения)	Козьего-(контроль)	Козьего +мТГ-(опыт)	Козьего +мТГ (14 дней хранения)
Ед. активности	$\leq 0,018 \pm 0,001$	$0,611 \pm 0,049$	$0,586 \pm 0,047$	$\leq 0,018 \pm 0,001$	$0,738 \pm 0,059$	$0,728 \pm 0,058$
Подсырная сыворотка:						
	Коровьего (контроль)	Коровьего + мТГ-(опыт)	Коровьего +мТГ (14 дней хранения)	Козьего-(контроль)	Козьего +мТГ-(опыт)	Козьего +мТГ (14 дней хранения)
Ед. активности	$\leq 0,010 \pm 0,001$	$0,201 \pm 0,016$	$0,191 \pm 0,015$	$\leq 0,010 \pm 0,001$	$0,173 \pm 0,014$	$0,168 \pm 0,013$

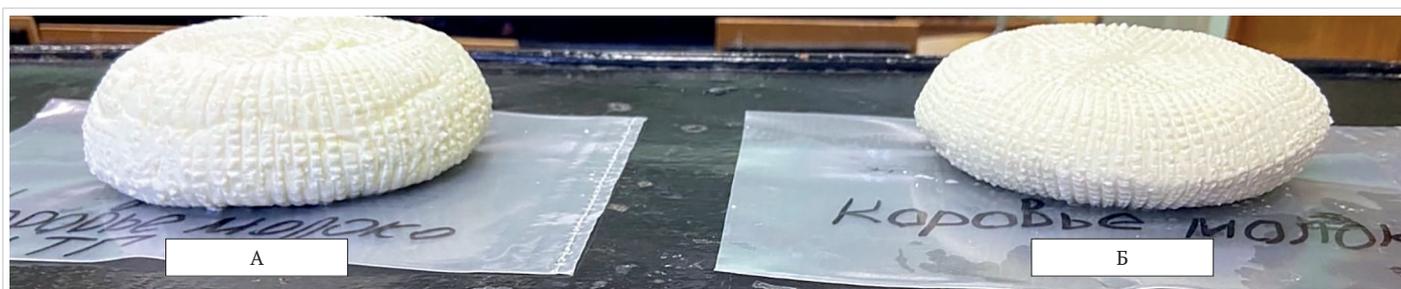


Рисунок 10. Сыр типа брынзы из коровьего молока (вид сбоку): а) с применением мТГ, б) без применения мТГ



Рисунок 11. Сыр типа брынзы из коровьего молока (вид сверху): а) с применением мТГ, б) без применения мТГ



Рисунок 12. Сыр типа брынзы из козьего молока (вид сверху): а) с применением мТГ, б) без применения мТГ

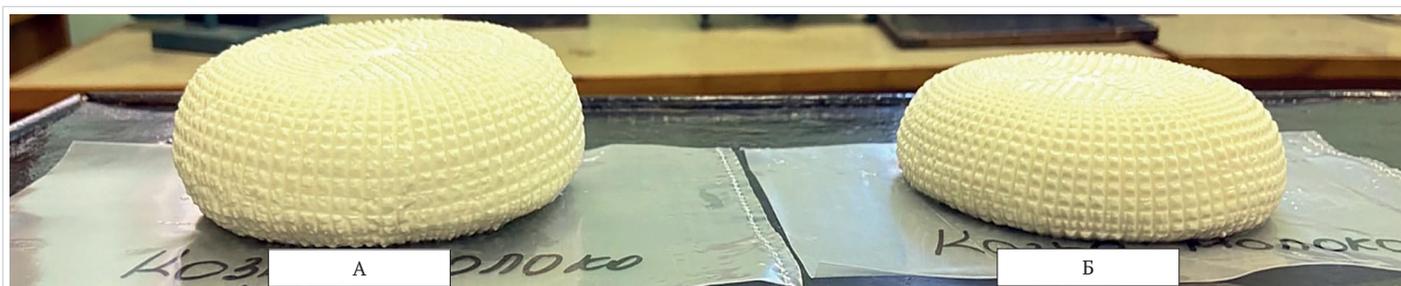


Рисунок 13. Сыр-брынза из козьего молока (вид сбоку): а) с применением мТГ, б) без применения мТГ

Результаты оценки органолептических показателей исследуемых образцов приведены в Таблице 6.

В результате полученных данных и их обработки было выявлено, что максимальным потребительскими характеристиками обладает сыр из коровьего молока без применения микробной трансглутаминазы, так как показатели среднегеометрической оценки и нечеткой меры сходства имели максимальные значения — 4,46 и 0,45 соответственно.

Экономическая эффективность является результатом экономической деятельности, которая характеризует эффективность использования основных элементов производственного процесса.

Повышение эффективности производства и ее оценка обуславливается совокупностью показателей (Рисунок 14) [33].

Эффективное использование ресурсного потенциала повышают производственно-финансовую устойчивость и обеспечивают конкурентные преимущества перед другими предприятиями. Расчет экономической эффективности определяет соотношение полученных экономических показателей и затрат по их достижению [34].

Для оценки экономической эффективности производства сыра типа брынзы необходимы конкретные показатели, отражающие влияние различных факторов на процесс производства. Исходным, безусловно, является такой показатель как выход продукта. Один и тот же выход может быть достигнут при различных затратах труда и средств. Более того, при одинаковом выходе может быть различное качество продукции, что оказывает влияние на эффективность производства.

В экспериментальной части были получены данные о выходе и качестве сыра в зависимости от вносимого ферментного препарата. Для характеристики и обоснования сделанных выводов по результатам опытов были рассчитаны показатели экономической эффективности производства сыра брынзы.

Проектная мощность цеха — 1т в смену. Продолжительность одной смены 8 часов. Количество человек в смене 6. Рыночная стоимость технологической линии для производства брынзы составляет 2 млн рублей.

Результаты расчетов экономической эффективности производства брынзы приведены в Таблице 7.

По результатам экономической эффективности производства сыра-брынзы видно, что рентабельность всех образцов находится на достаточном уровне. Рентабельность производства брынзы из коровьего молока составила 15,7%, из козьего 17,7%, с применением фермента трансглутаминазы (мТГ) — 16% и 19,4% соответственно. Эти данные позволяют сделать вывод, о том, что выгодно производить брынзу из любого вида молока, но максимальная рентабельность получена при производстве сыра из козьего молока с применением трансглутаминазы (мТГ).

#### 4. Выводы

В результате проведенных исследований отмечены различия в физико-химических и технологических свойствах сыра — брынзы, выработанного на основе цельного козьего и коровьего молока, с применением фермента трансглутаминазы (мТГ), что отражается на качестве сыра, выработанного из этих видов молока.

Выход сыра, как из коровьего, так и из козьего молока, с применением фермента трансглутаминазы (мТГ), в целом, выше, по сравнению с контрольными образцами (без фермента), за счет связывания влаги и сывороточных белков в пищевом матриксе.

Выход контрольных образцов (без фермента) сыра-брынзы из коровьего и козьего молока составил — 526 г и 507 г, а в опытных образцах (с применением фермента) — 647,2 г и 629,4 г соответственно.

Структура сыра брынзы, выработанного с применением фермента трансглутаминазы (мТГ), из козьего молока была

Таблица 6

Дегустационная оценка сыров

Образец	Дегустационная оценка образцов				Сумма баллов	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Нечет. мера сходств
	вкус	запах	цвет	консистенция				
1	4,3±0,19	4,4±0,0,15	5,0±0,0	4,2±0,26	17,9	4,48	4,46	0,45
2	4,2±0,25	4,2±0,17	5,0±0,0	4,1±0,29	17,5	4,38	4,35	0,37
3	4,0±0,26	4,15±0,20	5,0±0,0	3,93±0,26	17,08	4,27	4,23	0,31
4	3,8±0,23	4,07±0,22	5,0±0,0	3,8±0,28	16,67	4,17	4,12	0,25

1 образец — сыр типа брынзы из коровьего молока; 2 образец — сыр типа брынзы из козьего молока; 3 образец — сыр типа брынзы из коровьего молока с применением мТГ; 4 образец — сыр типа брынзы из козьего молока с применением мТГ.

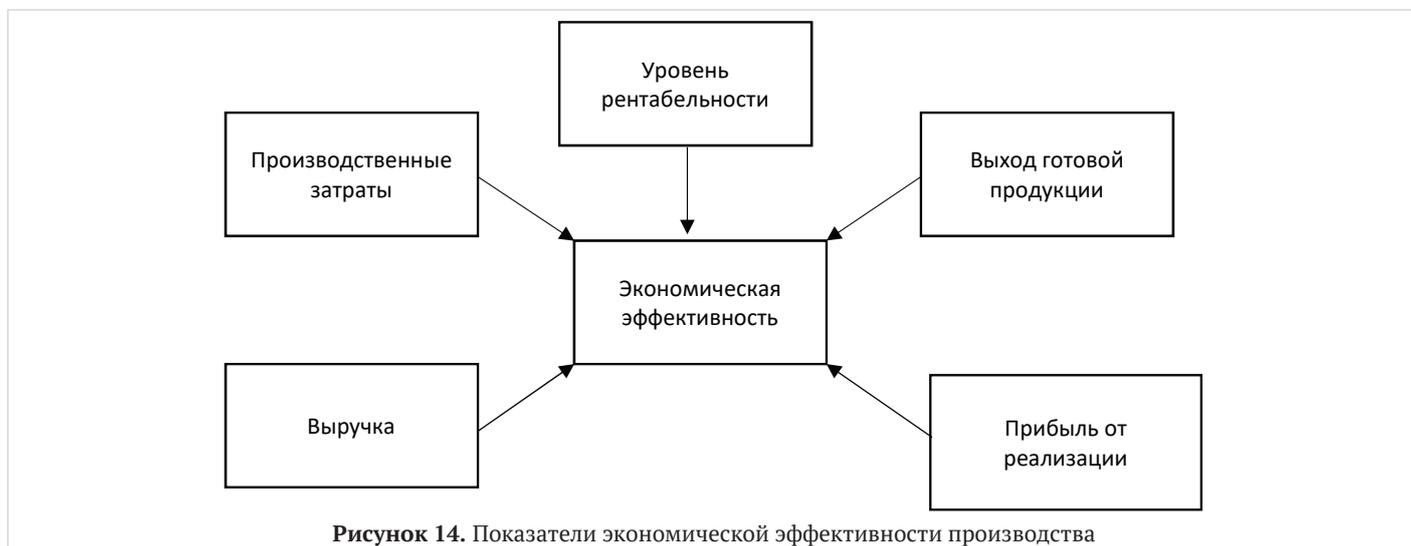


Рисунок 14. Показатели экономической эффективности производства

Таблица 7

## Расчет экономической эффективности сыра брынзы

Вид затрат	Сумма затрат при производстве 1 т сыра из молока, руб. в смену			
	коровьего	коровьего + ТГ	козьего	козьего + ТГ
Затраты на сырье, руб.	192 700	312 700	384 700	504 700
Вспомогательные материалы, руб.			900	
Зарплата, руб.			3500	
На амортизацию оборудования, руб.			781,3	
Дополнительные затраты на переработку: — электроэнергия; — вода			831,5 155	
Итого:	198 867,8	318 867,8	390 867,8	510 867,8
Цена реализации, руб.	230	370	460	610
Выручка от реализации, руб.	230 000	370 000	460 000	610 000
Прибыль, руб.	31 132,2	51 132,2	69 132,2	99 132,2
Рентабельность, %	15,7	16,0	17,7	19,4

более резиновой, по сравнению с сыром-брынзой из коровьего молока, за счет более плотного (сжатого) белкового матрикса продукта, о чем свидетельствуют результаты гистологических исследований. Что в свою очередь негативно сказывается на органолептической оценке выработанного продукта. При оценке сенсорных показателей сыра-брынзы было установлено, что сыр из коровьего молока имеет более привычный для потребителей вкус, чем сыр, выработанный из козьего молока или с применением фермента транслугтаминазы (мТГ). Поэтому сыр из коровьего молока оценен более высоким баллом 17,9 баллов.

Установлено, что уровень рентабельности производства сыра типа брынзы из козьего молока с применением фермента мТГ составил 19,4%.

В ходе проведения иммуноферментативного анализа в процессе хранения продукта установлено, что каталитическая активность фермента остается неизменной. Это свидетельствует о том, что использование мТГ в производстве пищевой, и в том числе молочной продукции, может иметь потенциальную опасность для здоровья человека. Поэтому, применение мТГ фермента, без возможности его инактивации в готовой молочной продукции, недопустимо.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попова Л. В. (2008). Влияние солей-стабилизаторов на содержание сухого вещества в сыворотке при выработке сыров. *Вестник Алтайского государственного университета*, 8(46), 56–58.
2. Тёпел, А. (2012) Химия и физика молока. Санкт-Петербург: *Профессия*, 2012.
3. МакСуини, П.Л., Фокс, П.Ф., Коттер, П.П., Эверетт, Д.У. (2019). Сыр. Научные основы и технологии, Санкт-Петербург: *Профессия*, 2019.
4. Ненюкова, Е.В., Мадосян, Г.Н. (2019). Состояние и перспективы развития производства молочной продукции в Российской Федерации. *Экономика и бизнес: теория и практика*, 11–2(57), 123–125. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-11367>
5. Толкачева, А.А., Черенков, Д.А., Корнеева, О.С., Пономарев, П.Г. (2017). Ферменты промышленного назначения — обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития. *Вестник Воронежского Государственного Университета инженерных технологий*, 79(4(74)), 197–203. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>
6. Савинова, А.А., Луценко, А.В. (20 декабря 2019). Роль ферментов в пищевой промышленности. Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Совершенствование технологий производства, переработки и экспертизы качества пищевой продукции». Персиановский, Россия, 2019.
7. D'Alessandro, A. G., Martemucci, G., Faccia, M. (2021). Effects of microbial transglutaminase levels on donkey cheese production. *Journal of Dairy Research*, 88(3), 351–356. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000601>
8. He, C., Hu, Y., Woo, M. W., Xiong, H., Zhao, Q. (2021). Effect of microbial transglutaminase on the structural and rheological characteristics and in vitro digestion of rice glutelin–casein blends. *Food Research International*, 139, Article 109832. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109832>
9. Miwa, N. (2020). Innovation in the food industry using microbial transglutaminase: Keys to success and future prospects. *Analytical Biochemistry*, 597, Article 113638. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2020.113638>
10. García-Gómez, B., Vázquez-Odériz, M. L., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M. A., Vázquez, M. (2020). Effect of the milk heat treatment on properties of low-fat yogurt manufactured with microbial transglutaminase. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(10), 739–749. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2180>
11. Cadavid, A. M., Bohigas, L., Toldrà, M., Carretero, C., Parés, D., Sauer, E. (2020). Improving quark-type cheese yield and quality by treating semi-skimmed cow milk with microbial transglutaminase. *LWT*, 131, Article 109756. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109756>
12. Fotschki, J., Wróblewska, B., Fotschki, B., Kalicki, B., Rigby, N., Mackie, A. (2020). Microbial transglutaminase alters the immunogenic potential and cross-reactivity of horse and cow milk proteins. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2153–2166. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17264> <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.015>
13. Gaspar, A. L. C., De Góes-Favoni, S. P. (2015). Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review. *Food Chemistry*, 171, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.019>
14. Aaltonen, T., Huuonen, I., Myllärinen, P. (2014). Controlled transglutaminase treatment in edam cheese-making. *International Dairy Journal*, 38(2), 179–182. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.12.004>
15. Яшкин, А.И. (2019). Современные подходы к применению микробной транслугтаминазы в сыроделии (аналитический обзор). *Молочнохозяйственный вестник*, 1(33), 98–113. <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2019-00010>
16. Моргунова, Е.М., Федоренко, Е.В., Журня, А.А. (2018). Химический состав и пищевая ценность молока и молочных продуктов, представленных на рынке республики Беларусь. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 11(4(42)), 6–20.
17. Lad, S.S., Aparnathi, K.D., Mehta, B. M., Velpula, S. (2017). Goat Milk in Human Nutrition and Health — A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1781–1792. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.194>
18. Зобкова, З.С., Фурсова, Т.П., Зенина, Д.В., Федулова, Л.В. (2017). Применение транслугтаминазы для повышения биологической ценности творога. *Пищевая промышленность*, 1, 38–40.
19. Лаврова, Т.Е., Ревакина, В.А., Боровик, Т.Э., Рославцева, Е.А. (2004). Современный взгляд на проблему пищевой непереносимости. *Вопросы современной педиатрии*, 3(6), 40–49.
20. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года № 58.
21. ГОСТ Р 52054–2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия» — Москва: Стандартинформ, 2008. — 16 с.
22. ГОСТ 3624–92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности». — Москва: Стандартинформ, 2009. — 8 с.

23. ГОСТ 33959–2016 «Сыры рассольные. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2016. — 20 с.
24. ГОСТ 5867–90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира». — Москва: Стандартинформ, 2009. — 13 с.
25. ГОСТ 3626–73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества». — Москва: Стандартинформ, 2009. — 12 с.
26. Тиняков, Г.Г. (1972). Микроструктура молока и молочных продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1972.
27. Зяблицева, М.А. (30 апреля 2019). Сравнительный анализ химического состава и пищевой ценности козьего и коровьего молока. *Материалы XIV Международной научно-практической конференции: Качество продукции, технологий и образования*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2019.
28. ГОСТ Р 54662–2011 «Сыры и сыры плавленые. Определение массовой доли белка методом Кельдаля». — Москва: Стандартинформ, 2012. — 20 с.
29. ГОСТ 5867–90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира». — Москва: Стандартинформ, 2009. — 13 с.
30. Жижин, Н.А., Юрова, Е.А., Семенова, Е.С. (2015). Использование метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для исследования пептидного состава молока и продуктов его пе-

реработки. В сборнике: *Научное обеспечение микробиологии молочной промышленности, биотехнологии, технологии, контроля качества и безопасности. Сборник научных трудов. Создание Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (ФГБНУ «ВНИМИ»)*. 2015, 54–60.

31. Трансглутаминаза. Электронный ресурс <https://tdbiopreparat.ru/transglutaminaza.html> Дата доступа 25.10.2021
32. Горлов, И. Ф., Сложенкина, М. И., Божкова, С. Е., Белова, Д. С., Воронцова, Е. С. (2020). Анализ сырпригодности молочного сырья и качества обогащённых сырных продуктов. *Известия Нижневолжского Агроуниверситетского Комплекса: наука и высшее профессиональное образование*, 3(59), 258–267. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-03-27>
33. Пастух, О.Н., Каракулова, Е. А. Канина, К.А., (2020). Применение трансглутаминазы в молочной промышленности. *Вопросы устойчивого развития общества*, 4–2, 596–599. <https://doi.org/10.34755/IROK.2020.51.77.250>
34. Жукова, Н.В., Сурай, Н.М., Майоров, А.А., Кудинов, Б.Д., Айдинов, Х.Т., Кудинова, М.Г. (2019). Отечественный и мировой опыт в развитии рынка сыров и сырных продуктов. *Экономические науки*, 180, 39–45. <https://doi.org/10.14451/1.180.39>

## REFERENCES

1. Popova, L.V. (2008). Effect of salts-stabilizers on dry matter content in whey by cheese making. *Bulletin of the Altai State University*, 8(46), 56–58. (In Russian)
2. Tepel, A. (2012) Chemistry and physics of milk. Saint-Petersburg: Profession, 2012. (In Russian)
3. McSweeney, P.L., Fox, P.F., Cotter, P.P., Everett, D.U. (2019). Cheese. Scientific foundations and technologies. Saint-Petersburg: Profession, 2019.
4. Nenyukova, E.V., Madosyan, G.N. (2019). State and prospects for the development of production of dairy products in the Russian Federation. *Economics and Business: Theory and Practice*, No. 11–2(57), 123–125. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-11367> (In Russian)
5. Tolkacheva, A.A., Cherenkov, D.A., Korneeva, O.S., Ponomarev, P.G. (2017). Enzymes of industrial purpose — review of the market of enzyme preparations and prospects for its development. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 79(4(74)), 197–203. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203> (In Russian)
6. Savinova, A.A., Lutsenko, A.V. (December 20, 2019). The role of enzymes in the food industry. *Improvement of technologies of production, processing and examination of the quality of food products*. Persianjvskiy, Russia, 2019. (In Russian)
7. D'Alessandro, A. G., Martemucci, G., Faccia, M. (2021). Effects of microbial transglutaminase levels on donkey cheese production. *Journal of Dairy Research*, 88(3), 351–356. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000601>
8. He, C., Hu, Y., Woo, M. W., Xiong, H., Zhao, Q. (2021). Effect of microbial transglutaminase on the structural and rheological characteristics and in vitro digestion of rice glutenin–casein blends. *Food Research International*, 139, Article 109832. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109832>
9. Miwa, N. (2020). Innovation in the food industry using microbial transglutaminase: Keys to success and future prospects. *Analytical Biochemistry*, 597, Article 113638. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2020.113638>
10. García-Gómez, B., Vázquez-Odériz, M. L., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M. A., Vázquez, M. (2020). Effect of the milk heat treatment on properties of low-fat yogurt manufactured with microbial transglutaminase. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(10), 739–749. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2180>
11. Cadavid, A. M., Bohigas, L., Toldrà, M., Carretero, C., Parés, D., Sager, E. (2020). Improving quark-type cheese yield and quality by treating skimmed cow milk with microbial transglutaminase. *LWT*, 131, Article 109756. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109756>
12. Fotschki, J., Wróblewska, B., Fotschki, B., Kalicki, B., Rigby, N., Mackie, A. (2020). Microbial transglutaminase alters the immunogenic potential and cross-reactivity of horse and cow milk proteins. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2153–2166. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17264> <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.015>
13. Gaspar, A. L. C., De Góes-Favoni, S. P. (2015). Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review. *Food Chemistry*, 171, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.019>
14. Aaltonen, T., Huuononen, I., Myllärinen, P. (2014). Controlled transglutaminase treatment in edam cheese-making. *International Dairy Journal*, 38(2), 179–182. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.12.004>
15. Yashkin A. I. (2019). Modern approaches to the use of microbial transglutaminase in cheese making (Analytical Review) *Molochnokhozaystvenny Vestnik*, 1(33), 98–113. <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2019-00010> (In Russian)
16. Morgunova, H.M., Fedorenko, E.V., Zhurnia, H.A. (2018). Chemical composition and food value of milk and dairy products, presented in the market of the Republic of Belarus. *Food industry: Science and Technology*, 11(4(42)), 6–20. (In Russian)
17. Lad, S.S., Aparnathi, K.D., Mehta, B. M., Velpula, S. (2017). Goat Milk in Human Nutrition and Health — A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1781–1792. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.194>
18. Zobkova, Z.S., Fursova, T.P., Zenina, D.V., Fedulova, L.V. (2017) The use of transglutaminase to increase the biological value of cottage cheese. *Food Industry*, 1, 38–40. (In Russian)
19. Lavrova, T.E., Reviakina, V.A., Borovik, T.E., Roslavtseva, E.A. (2004). Modern approach to the problem of food intolerance. *Current Pediatrics (Moscow)*, 3(6), 40–49. (In Russian)
20. TR CU029/2012 Technical Regulations of the Customs Union “Safety requirements for food additives, flavorings and process aids”, Decision of the Council of the Eurasian economic Commission of June 20, 2012, No. 58. Moscow, 2012. (In Russian)
21. ГОСТ R52054–2003 “Cow’s milk raw. Specifications” — Moscow: Standartinform, 2008. — 16 p. (In Russian)
22. ГОСТ 3624–92 “Milk and milk products. Titrimetric methods of acidity determination” — Moscow: Standartinform, 2009. — 8 p. (In Russian)
23. ГОСТ 33959–2016 “Salted cheeses. Specification” — Moscow: Standartinform, 2016. — 20 p. (In Russian)
24. ГОСТ 5867–90 “Milk and dairy products. Method of determination of fat” — Moscow: Standartinform, 2009. — 13 p. (In Russian)
25. ГОСТ 3626–73 “Milk and milk products. Methods for determination of moisture and dry substance” — Moscow: Standartinform, 2009. — 12 p. (In Russian)
26. Tinyakov, G.G. (1972). Microstructure of milk and dairy products. Moscow: Food Industry, 1972.
27. Zyblytseva, M.A. (April 30, 2019). *Comparative analysis of the chemical composition and nutritional value of goat’s and cow’s milk*. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference: Quality of products, technologies and education. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, 2019. (In Russian)
28. ГОСТ R54662–2011 “Cheeses and processed cheeses. Determination of protein mass fraction by the Kjeldahl method”. — Moscow: Standartinform, 2012. — 20 p. (In Russian)
29. ГОСТ 5867–90 “Milk and dairy products. Method of determination of fat”. — Moscow: Standartinform, 2009. — 13 p. (In Russian)
30. Zhizhin, N.A., Yurova, E.A., E. Semenova, E.S. (2015). Using the method of high-performance liquid chromatography (HPLC) to study the peptide composition of milk and its processed products. *In the collection: Scientific support of microbiology of the dairy industry, biotechnology, technology, quality control and safety. Collection of scientific papers. Creation of the All-Russian Research Institute of Dairy Industry (VNIMI)*. 2015, 54–60. (In Russian)
31. Transglutaminase. Retrieved from <https://tdbiopreparat.ru/transglutaminaza.html> Дата доступа 25.10.2021 Accessed October 25, 2021 (In Russian)
32. Gorlov, I. F., Slozhenkina, M. I., Bozhkova, S. E., Belova, D. S., Vorontsova, E. S. (2020) analysis of the raw material suitability of dairy products and the quality of enriched cheese products. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*, 3(59), 258–267. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-03-27> (In Russian)
33. Pastukh, O.N., Karakulova, E. A. Kaniina, K.A. (2020). Application of the transglutaminase enzyme in the dairy industry. *Issues of sustainable development of society*, 4–2, 596–599. <https://doi.org/10.34755/IROK.2020.51.77.250> (In Russian)
34. Zhukova, N.V., Suray N. M., Mayorov, A.A., Kudinov, B.D., Aydinov, H.T., Kudinova, M.G. (2019). Domestic and world experience in the development of the market for cheese and cheese products. *Economic Sciences*, 180, 39–45. <https://doi.org/10.14451/1.180.39> (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
<b>Принадлежность к организации</b>	<b>Affiliation</b>
<p><b>Канина Ксения Александровна</b> — кандидат технических наук, заведующий лабораторией, кафедра Технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 48 Тел.: +7-499-976-46-12 E-mail: kseniya.kanina.91@mail.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8833-4915">https://orcid.org/0000-0002-8833-4915</a> * автор для контактов</p>	<p><b>Ksenia A. Kanina</b>, Candidate of technical sciences, Head of the Laboratory, Department of Technology of storage and processing of animal products, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy 48, Timiryazevskaya str., 127434, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-46-12 E-mail: kseniya.kanina.91@mail.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8833-4915">https://orcid.org/0000-0002-8833-4915</a> * corresponding author</p>
<p><b>Жижин Николай Анатольевич</b> — кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории технохимического контроля, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35 Тел.: +7-499-976-46-12 E-mail: zhizhinmoloko@mail.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-6690-0488">https://orcid.org/0000-0002-6690-0488</a></p>	<p><b>Nikolay A. Zhizhin</b>, Candidate of technical sciences, Researcher, Laboratory of Technochemical Control, All-Russian Research Institute of the Dairy Industry 35, Lyusinovskaya str., 115093, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-46-12 E-mail: zhizhinmoloko@mail.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-6690-0488">https://orcid.org/0000-0002-6690-0488</a></p>
<p><b>Каракулова Екатерина Андреевна</b> — магистр, Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 48 Тел.: +7-499-976-46-12 E-mail: tppj@rgau-msha.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-0474-5144">https://orcid.org/0000-0002-0474-5144</a></p>	<p><b>Ekaterina, A. Karakulova</b>, Master's degree, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy 48, Timiryazevskaya str., 127434, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-46-12 E-mail: tppj@rgau-msha.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-0474-5144">https://orcid.org/0000-0002-0474-5144</a></p>
<p><b>Атанасов Петр Руменов</b> — студент, Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 48 Тел.: +7-499-976-46-12 E-mail: tppj@rgau-msha.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-9392-6851">https://orcid.org/0000-0002-9392-6851</a></p>	<p><b>Peter R. Atanasov</b>, Student, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy 48, Timiryazevskaya str., 127434, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-46-12 E-mail: tppj@rgau-msha.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-9392-6851">https://orcid.org/0000-0002-9392-6851</a></p>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
<p><b>Канина Ксения Александровна</b> написала текст рукописи, корректировала её до подачи в редакцию; <b>Жижин Николай Анатольевич</b> предложил идею оценки активности фермента мТГ в течение срока годности продукта; <b>Атанасов Петр Руменов</b> обзор литературных источников по исследуемой проблеме; <b>Каракулова Екатерина Андреевна</b> получение данных для анализа, анализ полученных данных. Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p><b>Ksenia A. Kanina</b> wrote the text of the manuscript, corrected it before submitting it to the editor; <b>Nikolay A. Zhizhin</b> proposed the idea of assessing the activity of the mTG enzyme during the shelf life of the product; <b>Peter R. Atanasov</b> made review of literary sources on the problem under study; <b>Ekaterina A. Karakulova</b> obtained data for analysis, made analysis of the received data The authors are equally related to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiary.</p>
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest