

Научная статья
УДК 637.144.5
EDN: FPGUZS
DOI: 10.21285/achb.1021



Биохимические свойства молокосвертывающих ферментов отечественного производства

А.В. Гришкова^{*,***}, Ю.Г. Стурова^{***✉}, А.Д. Коваль^{*}, О.Н. Мусина^{***}

^{*}Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Российская Федерация

^{**}Алтайский государственный медицинский университет, Барнаул, Российская Федерация

^{***}Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
Барнаул, Российская Федерация

Аннотация. На сегодняшний день первостепенной задачей пищевых и перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса, включая молочную индустрию, является снабжение всех слоев населения качественными, безопасными для здоровья и полноценными продуктами питания. Сыры в связи с уникальностью органолептических характеристик, полноценностью биохимического состава всегда сохраняют свою привлекательность для потребителей и занимают важное место в системе здорового питания. Длительность цикла производства полутвердых сыров в числе прочего связана с применяемым молокосвертывающим ферментом. Правильно подобранный ферментный препарат будет способствовать не только получению качественной продукции, но и, как следствие, повышению прибыли предприятия. Для получения продукции высокого качества важно знать особенности биохимических свойств молокосвертывающих ферментных препаратов, применяемых при выработке сыра. Проведенные исследования по изучению качественного состава, протеолитической активности, зависимости от присутствия ионов кальция, pH, устойчивости к повышению температуры – свойств, играющих важную роль в процессе свертывания молочной смеси как одного из важных этапов в производстве сыра, показали, что отечественные молокосвертывающие ферментные препараты соответствуют требованиям сыродельной отрасли. Важным является факт того, что отечественные предприятия по производству молокосвертывающих ферментных препаратов не выдерживают конкурентной борьбы с иностранными компаниями, занимающими в настоящее время подавляющую долю рынка. Согласно статистическим данным, доля рынка отечественных предприятий по производству молокосвертывающих ферментных препаратов составляет не более 10%. На наш взгляд, проблема развития производства молокосвертывающих ферментных препаратов в нашей стране является одной из самых острых и требует своего решения.

Ключевые слова: пепсин, химозин, молокосвертывающие ферментные препараты, молокосвертывающая активность, протеолитическая активность, термостабильность

Финансирование: Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (№ 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).

Для цитирования: Гришкова А.В., Стурова Ю.Г., Коваль А.Д., Мусина О.Н. Биохимические свойства молокосвертывающих ферментов отечественного производства // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2026. Т. 16. N 1. С. 40–51. DOI: 10.21285/achb.1021. EDN: FPGUZS.

Biochemical properties of Russian milk-clotting enzymes

Anastasiya V. Grishkova^{*.***}, Yuliya G. Sturova^{***✉},
Anatoliy D. Koval^{*}, Olga N. Musina^{***}

^{*}Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology, Barnaul, Russian Federation

^{**}Altai State Medical University, Barnaul, Russian Federation

^{***}Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

Abstract. The contemporary food and processing industries of the agro-industrial complex, including the dairy industry, primarily aim to supply all segments of the population with high-quality, healthy, and nutritious food. Due to the uniqueness of organoleptic characteristics and a valuable biochemical composition, cheese retains its attractiveness for consumers and occupies an important place in the system of healthy nutrition. The duration of the production cycle for semi-firm cheese, among other things, depends on used milk-clotting enzymes. A properly selected enzyme preparation will both contribute to the quality of products and increase the profit of the enterprise. The quality of cheese products depends on the biochemical properties of used milk-clotting enzyme preparations. Enzyme properties, such as the qualitative composition, proteolytic activity, dependence on the presence of calcium ions, pH, and resistance to temperature rise, important for the process of clotting as one of the main stages in cheese production were studied. The results of the studies showed that Russian milk-clotting enzyme preparations meet the requirements of the cheese industry. It is important to note that Russian enterprises producing milk-clotting enzyme preparations fail to withstand competition from foreign companies that currently occupy an overwhelming market share. According to statistics, the market share of domestic enterprises for the production of milk-clotting enzyme preparations is no more than 10%. The issue of developing the production of milk-clotting enzyme preparations in Russia is challenging and demanding for solution.

Keywords: pepsin, chymosin, milk-clotting enzyme preparations, milk-clotting activity, proteolytic activity, thermostability

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (no. 075-03-2024-105, topic no. FM-2024-0003, reg. no. 124013000666-5).

For citation: Grishkova A.V., Sturova Yu.G., Koval A.D., Musina O.N. Biochemical properties of Russian milk-clotting enzymes. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2026;16(1):40-51. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.1021. EDN: FPGUZS.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в обществе превалирует тенденция поддержания здорового образа жизни. Это стремление обусловлено множеством факторов – социальных, экономических, экологических и прочих. Так, все возрастающий уровень образования населения и его информированности по различным вопросам побуждает людей тщательнее следить за состоянием здоровья, учитывая среди прочего структуру рационального питания. Поскольку вопросы продолжительности жизни и качества питания населения страны имеют прямую взаимосвязь, они решаются на уровне правительства. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года утверждена распоряжением Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р¹ и активно реализуется в настоящее время. В связи с этим выделяется первостепенная задача пищевых и перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса, а вместе с тем и молочной индустрии –

снабжение всех слоев населения качественными, безопасными для здоровья и полноценными продуктами питания [1, 2].

Сыры различных групп в связи с уникальностью органолептических характеристик каждого конкретного вида, полноценностью биохимического состава всегда сохраняют свою привлекательность для потребителей, являясь одной из наиболее популярных и востребованных ассортиментных групп молочных продуктов, и занимают важное место в системе здорового питания.

С экономической точки зрения актуальным является вопрос интенсификации процесса созревания твердых и полутвердых сыров. Длительность цикла производства полутвердых сыров связана в числе прочего с применением молокосвертывающим ферментом. Правильно подобранный ферментный препарат будет способствовать не только получению качественной продукции, но и, как следствие, повышению прибыли предприятия [3].

¹Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р // Docs.cntd.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420363999?marker=6540IN> (дата обращения 17.02.2026).

Для получения продукции высокого качества важно знать особенности биохимических свойств молокосвертывающих ферментных препаратов (МФП), применяемых при выработке сыра. Под их воздействием происходит преобразование молочной смеси в сгусток на первых этапах технологического процесса изготовления продукта и формирование консистенции и вкуса в процессе созревания.

Целью проведенного исследования являлось изучение ряда биохимических показателей отечественных МФП, играющих значительную роль в процессе свертывания молочной смеси как одного из важных этапов в производстве сыра. Изучены качественный состав, протеолитическая активность, зависимость от присутствия ионов кальция, pH, устойчивость к повышению температуры.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования по изучению биохимических свойств МФП проводились в лаборатории биохимии молока и молочных продуктов отдела «Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия» Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий» (г. Барнаул, Россия).

В качестве образца для сравнения был взят отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ). Исследованы препараты с различным качественным составом разных отечественных предприятий, в том числе: ЗАО «КСП» (г. Энгельс), ОАО «Арбина» (г. Иваново), ОАО «МЗСФ» (г. Москва).

Применялись стандартные методы исследования свойств МФП, соответствующие ГОСТ 10288-2001 «Препараты ферментные молокосвертывающие». Протеолитическая активность препаратов определялась по методу Е.Д. Каверзнева [4]. Взятые в работу реактивы соответствовали квалификации «ч.д.а.» или «х.ч.».

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В основе формирования качественных характеристик сыров любой группы лежат ферментативные процессы основных составляющих частей сырной массы, которые образуют многочисленные соединения, влияющие на специфический вкус и аромат продукта.

Наиболее важным из них является процесс протеолиза белковых компонентов сыра, который вызывают различные ферменты: нативная протеаза молока, протеазы заквасочной микрофлоры и, конечно же, ферменты молокосвертывающих препаратов.

Нашей целью было изучение основных технологических свойств МФП.

Исследование специфической молокосвертывающей активности, которая важна с точки зрения количества вносимого фермента (так, например, при молокосвертывающей активности, равной 100000 у.е., вносят 2,5 г МФП на 100 л смеси), а также получения качественного плотного сгустка, дающего легкое отделение сыворотки на изломе, показало результаты, отображенные на рис. 1.

Специфическая, или молокосвертывающая активность заключается в разрушении пептидной связи между аминокислотами в положении 105 (Phe) и 106 (Met) в молекуле κ-казеина. Это та активность, которая обязательно должна быть указана на упаковке МФП [5]. Данный показатель был близок к декларируемой производителем величине во всех исследованных нами

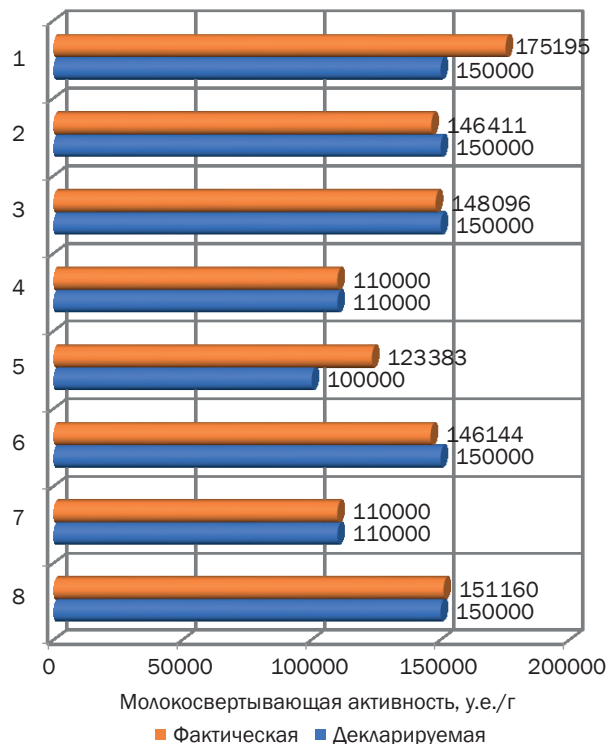


Рис. 1. Молокосвертывающая активность ферментных препаратов:

- 1 – говяжий пепсин (ГП) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 2 – куриный пепсин (КП) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 3 – свиной пепсин (СП) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 4 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ЗАО «КСП», г. Энгельс;
- 5 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 6 – сычужный порошок (СП) ОАО «Арбина», г. Иваново;
- 7 – сычужный фермент (СФ) ЗАО «КСП», г. Энгельс;
- 8 – сычужный фермент (СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва

Fig. 1. Milk-coagulating activity of enzyme preparations:

- 1 – beef pepsin (ГП), Moscow rennet plant, Moscow;
- 2 – chicken pepsin (КП), Moscow rennet plant, Moscow;
- 3 – pork pepsin (СП), Moscow rennet plant, Moscow;
- 4 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50), Special Product Corporation, Engels;
- 5 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50), Moscow rennet plant, Moscow;
- 6 – rennet powder (СП), "Arbina", Ivanovo;
- 7 – rennet (СФ), Special Product Corporation, Engels;
- 8 – rennet (СФ), Moscow rennet plant, Moscow

образцах. В отдельных образцах МФП эти отличия присутствовали, но не выходили за рамки допустимой погрешности определения, предусмотренной документацией (рис. 2). Кроме того, осуществляя постановку кружки ВНИИМС при выработке сыра, технолог может определить дозу фермента, необходимую для внесения, максимально точно.

В состав МФП животного происхождения входят два активных компонента: химозин и пепсин. Химозин способен к ограниченному воздействию на молекулу каппа-казеина, поскольку обладает узкой специфичностью действия. Этот фермент разрушает связь Phe (105) – Met (106). Участие химозина в процессе созревания



Рис. 2. Качественный состав исследуемых молокосвертывающих ферментных препаратов: 1 – куриный пепсин (КП) ОАО «МЗСФ», г. Москва; 2 – свиной пепсин (СП) ОАО «МЗСФ», г. Москва; 3 – говяжий пепсин (ГП) ОАО «МЗСФ», г. Москва; 4 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ОАО «МЗСФ», г. Москва; 5 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ЗАО «КСП», г. Энгельс; 6 – сычужный порошок (СП) ОАО «Арбина», г. Иваново; 7 – сычужный фермент (СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва; 8 – сычужный фермент (СФ) ЗАО «КСП», г. Энгельс

Fig. 2. Qualitative composition of the studied milk-converting enzyme preparations: 1 – chicken pepsin (КП), Moscow rennet plant, Moscow; 2 – pork pepsin (СП), Moscow rennet plant, Moscow; 3 – beef pepsin (ГП), Moscow rennet plant, Moscow; 4 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50), Moscow rennet plant, Moscow; 5 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50), Special Product Corporation, Engels; 6 – rennet powder (СП), “Arbina”, Ivanovo; 7 – rennet (СФ), Moscow rennet plant, Moscow; 8 – rennet (СФ), Special Product Corporation, Engels

сыра будет определять консистенцию вырабатываемого сыра, влияние же его на вкус весьма ограничено. Пепсин, в отличие от химозина, способен гидролизовать другие пептидные связи в белках молока, обуславливая тем самым вкус и процесс созревания продукта [6–8]. По этой причине необходимо было изучить качественный состав МФП, а именно соотношение пепсина и химозина, а также неспецифическую (протеолитическую) активность.

Результаты исследования качественного состава препаратов представлены на рис. 1. Важно отметить, что предприятия, производящие МФП для выработки сыра, должны в обязательном порядке указывать на этикетке информацию о количественном соотношении активных компонентов (химозина и пепсина). Это соотношение является установленным, например, для сычужного

фермента – не более 30% пепсина, в смесевых композициях – не более 50%. Для сыроделов важно иметь объективную информацию о составе фермента, которая позволит осуществить правильный выбор препарата в зависимости от того, сыры каких групп вырабатываются конкретными сыродельными заводами.

Результаты проведенных исследований показывают, что соотношение активных компонентов в составе исследованных препаратов сычужного фермента и пепсинов соответствует требованиям. Более того, препарат говяжьего пепсина содержал достаточно высокое количество химозина (29,5%). В то же время препараты смесевых композиций не соответствовали указанным выше требованиям. Так, в сычужно-говяжем ферменте ВНИИМС (СГ-50) производства ОАО «МЗСФ» наблюдалось незначительное отклонение от установленного стандарта (на 7% больше содержание пепсина). Сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) производства ЗАО «КСП» содержал только 14% химозина. Возможно, эта партия фермента не соответствовала требованиям либо при совершении логистики не соблюдались условия хранения препарата (например, варьировали температура и влажность). Гипотетически можно предположить, что при повышении указанных параметров в результате высокой неспецифической активности пепсина под воздействием последнего мог произойти гидролиз молекул химозина и таким образом снизилась его активность. Вследствие этого можно заключить, что для получения сыра с высокими качественными показателями необходимо тщательно подбирать МФП для каждого конкретного вида.

Важным показателем применяемых в сыроделии МФП является протеолитическая активность, которая заключается в неспецифическом протеолизе других пептидных связей, помимо 105 (Phe) и 106 (Met), в молекуле белка. Это приводит к накоплению относительно мелких белковых фрагментов – высоко- и низкомолекулярных пептидов [9]. Результаты исследований протеолитической активности представлены на рис. 3, 4.

В природе нет ферментов, катализирующих разрыв только связи 105 (Phe) – 106 (Met) в молекуле κ-казеина, но молокосвертывающие ферменты должны расщеплять эту связь во много раз быстрее, чем другие связи в протеинах молока, так как весь κ-казеин должен быть гидролизован молокосвертывающими ферментами во время выработки сыра, иначе не произойдет коагуляция казеина или значительная часть казеина останется в сыворотке². Протеолитическая активность необходима с технологической точки зрения, поскольку биохимические процессы, протекающие в сыре в результате ее проявления, влияют на созревание сыра, формируя вкус и аромат продукта. Важно подчеркнуть, что на этапе формирования сгустка в сыродельной ванне избыточная общая протеолитическая активность может повлиять на снижение выхода продукта из-за потерь белка с сывороткой [10].

Химозин имеет низкую общую протеолитическую активность, что определяется физиологическим зна-

²Гришкова А.В. Научное обоснование и практическая реализация композиций протеолитических и липолитических ферментных препаратов с заданными характеристиками для интенсификации процесса со-зревания сыров: дис. ... д-ра биол. наук: 4.3.5. Кемерово, 2024. 420 с.

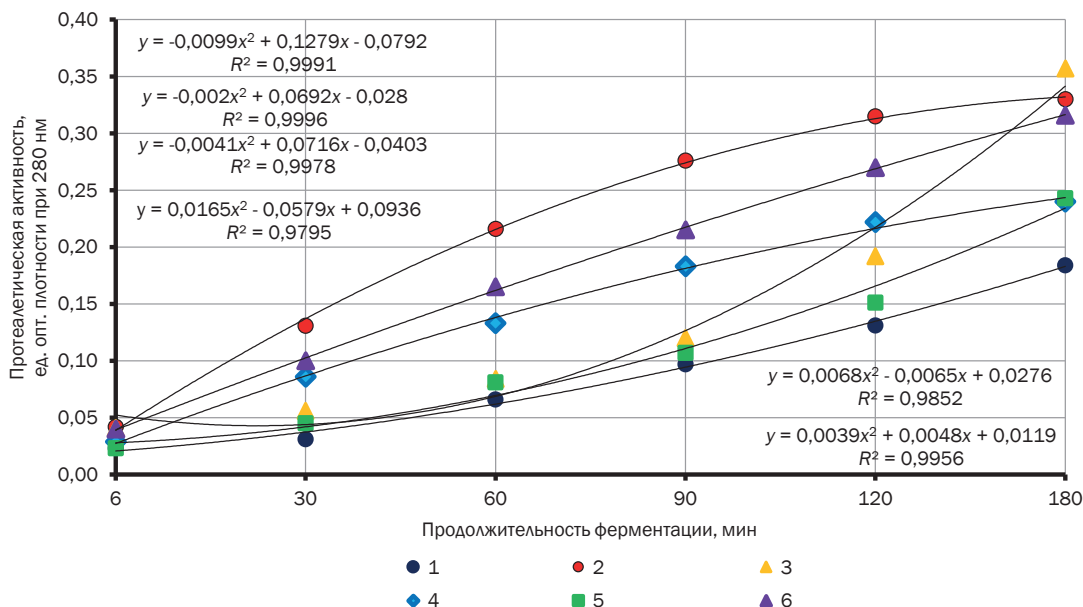


Рис. 3. Протеолитическая активность препаратов сычужного фермента и смесевых композиций:

- 1 – отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 2 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 3 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ЗАО «КСП», г. Энгельс;
- 4 – сычужный фермент (СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 5 – сычужный фермент (СФ) ЗАО «КСП», г. Энгельс;
- 6 – сычужный порошок (СП) ОАО «Арбина», г. Иваново

Fig. 3. Proteolytic activity of rennet enzyme preparations and mixed compositions:

- 1 – industrial control rennet sample (ОКО СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
- 2 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50) Moscow rennet plant, Moscow;
- 3 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50), Special Product Corporation, Engels;
- 4 – rennet (СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
- 5 – rennet (СФ), Special Product Corporation, Engels;
- 6 – rennet powder (СП), “Arbina”, Ivanovo

чением. Млекопитающие в неонатальный период не имеют собственных защитных систем и имеют потребность в нативных иммуноглобулинах молозива для защиты от инфекций [11]. Этим обусловлено то, что в МФП, имеющих в своем составе невысокое содержание пепсина, протеолитическая активность незначительна (см. рис. 1).

МФП, содержащие в своем составе 50% пепсина и более, являющиеся менее специфичными и обладают более широким спектром действия. Это объясняет их более высокую протеолитическую активность по сравнению с ОКО СФ и препаратами сычужного фермента (см. рис. 3).

Пепсин специфичен прежде всего к пептидным связям ароматических и объемных алифатических аминокислотных остатков, связям, включающим глутаминовую кислоту и прочее. Оценить степень возрастания протеолитической активности в препаратах пепсинов по сравнению с ОКО СФ можно по результатам рис. 4.

Важно отметить, что препараты с высоким уровнем протеолитической активности не рекомендуется использовать для выработки полутвердых и твердых сыров с длительным сроком созревания. Это может негативным образом повлиять на формирование консистенции (несвязная, мажущаяся) и стать причиной горечи в сыре. Последнее объясняется тем, что образующееся под влиянием пепсинов большое количество горьких соединений не расщепляется молочнокислой микрофлорой

закваски. Это связано с тем, что пептиды, образующиеся в результате действия протеаз МФП на казеин, являются субстратами для протеиназ и пептидаз микрофлоры закваски, под действием которой в сырах образуются вкусовые и ароматические соединения [12–16].

Проведенные нами исследования протеолиза казеина под воздействием МФП показали, что самая низкая протеолитическая активность отмечена у препаратов сычужного фермента, максимальная – у куриного пепсина (см. рис. 3, 4).

В производственной практике важным является понимание вопроса о возможности влияния на молокозвертывающую активность применяемого МФП. Это можно осуществить при изменении температуры, pH, количества $CaCl_2$ в молочной смеси в пределах, допустимых технологической инструкцией. Тем самым создаются оптимальные условия для действия молокозвертывающего фермента, так как снижается необходимая доза его внесения. В связи с этим актуальным является исследование МФП различного происхождения по показателям зависимости от pH среды, чувствительности к ионам Ca^{2+} и термостабильности. Кроме того, проводили оценку влияния ацетатного буферного раствора (далее по тексту – стабилизирующего) на молокозвертывающую активность и термостабильность МФП.

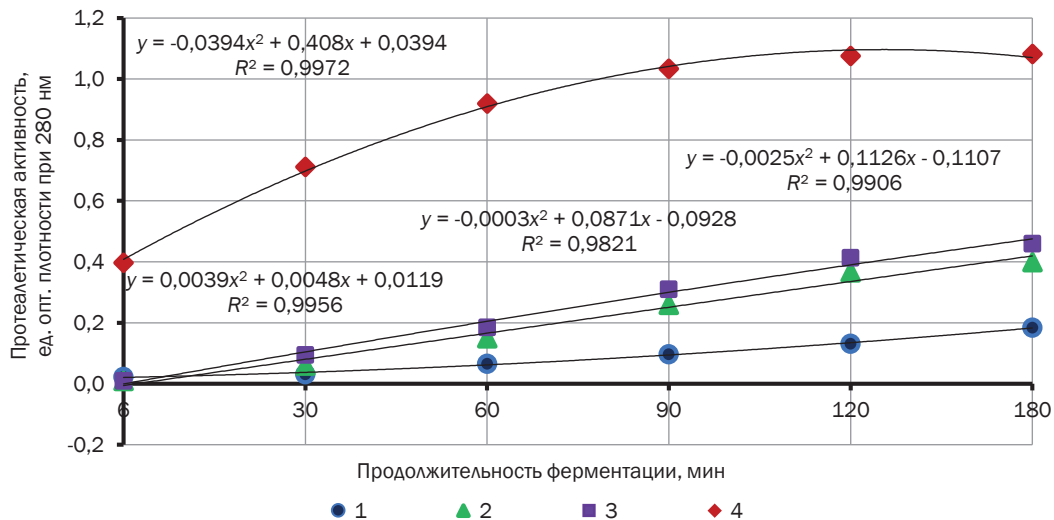


Рис. 4. Протеолитическая активность препаратов пепсина:
 1 – отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
 2 – говяжий пепсин (ГП) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
 3 – свиной пепсин (СП) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
 4 – куриный пепсин (КП) ОАО «МЗСФ», г. Москва

Fig. 4. Proteolytic activity of pepsin preparations:
 1 – industrial control rennet sample (ОКО СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
 2 – beef pepsin (ГП), Moscow rennet plant, Moscow;
 3 – pork pepsin (СП), Moscow rennet plant, Moscow;
 4 – chicken pepsin (КП), Moscow rennet plant, Moscow

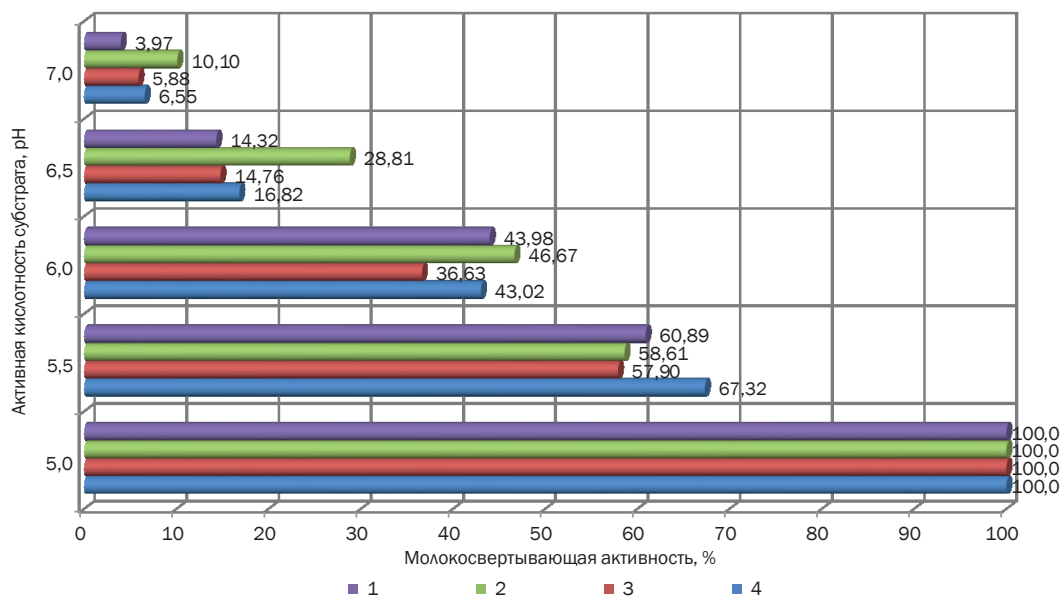


Рис. 5. Влияние концентрации ионов водорода на молокосвертывающую активность молокосвертывающих ферментных препаратов:

- 1 – говяжий пепсин (ГП) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 2 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 3 – сычужный фермент (СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 4 – отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва

Fig. 5. Effect of hydrogen ion concentration on the milk-clotting activity of milk-clotting enzyme preparations:
 1 – beef pepsin (ГП), Moscow rennet plant, Moscow;
 2 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50) Moscow rennet plant, Moscow;
 3 – rennet (СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
 4 – industrial control rennet sample (ОКО СФ), Moscow rennet plant, Moscow

Для оценки молокосвертывающей активности МФП при изменении уровня pH и температуры субстрата, а также концентрации в нем Ca^{2+} исследовали МФП животного происхождения с различным количеством пепсина в составе: сычужный фермент (СФ), сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) и говяжий пепсин (ГП) производства ОАО «МЗСФ» (г. Москва). В качестве эталонного образца сравнения применяли отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ), аттестованный по молокосвертывающей активности.

Известно, что условия pH молочной смеси при выработке сыра смещены за уровень, являющийся оптимальным для проявления ферментом максимальной молокосвертывающей активности. В связи с этим одно из требований к коммерческим МФП заключается в их способности проявлять свои свойства при условиях, не соответствующих таковым *in vivo*. Известно, что максимальная активность химозина проявляется при pH от 3,5 до 5,0, а пепсина – от 1,5 до 2,0. В нашем эксперименте рассматривался интервал активной кислотности от 5,0 до 7,0, который определен условиями, связанными с отдельными этапами производства сыра. Так, на этапе внесения МФП в смесь pH составляет около 6,5. Часть фермента после коагуляции смеси остается в сырном зерне, поэтому важно знать, как проявится их активность при других значениях pH (5,0 – на пике развития заквасочной микрофлоры, 5,5 – на этапе прессования продукта, более 6,0 и 6,5 – в сырах с длительным процессом созревания). Результаты исследования влияния концентрации ионов водорода на продолжительность свертывания молока представлены на рис. 5.

Максимальной молокосвертывающей активности все исследованные молокосвертывающие ферменты достигали при активной кислотности субстрата, равной 5,0. В этой точке активность МФП принимали за 100% (см. рис. 5). Далее при сдвиге pH в сторону понижения кислотности наблюдалось снижение специфической активности (минимальные значения в точке pH 7,0). Молокосвертывающая активность ОКО СФ с pH в точке 5,5 была выше коммерческих образцов исследуемых МФП. Интересно то, что молокосвертывающая активность смесевой композиции 50/50 и говяжьего пепсина при уменьшении pH (точки от 5,5 до 7,0) была выше по сравнению с коммерческим образцом сычужного фермента. Данный факт можно связать с уровнем активной кислотности растворов самих ферментов (сычужного фермента – 3,78, сычужно-говяжий фермент ВНИИМС – 3,28, говяжий пепсин – 3,20), которая в большей степени близка к pH-оптимуму ферментов.

В целом полученные результаты позволяют утверждать, что по рассмотренному технологическому показателю исследуемые МФП соответствуют требованиям, предъявляемым в сыроделии к коагулянтам молока.

Поскольку в Российской Федерации качество молока-сырья по микробиологическим показателям не всегда соответствует высоким требованиям ТР ТС 033/2013³, молоко для выработки сыра подвергается пастеризации. В результате повышения температуры происходит снижение концентрации Ca^{2+} , что влечет за собой увеличение дли-

тельности коагуляции молочной смеси. Согласно технологической схеме, процесс свертывания должен укладываться в четкие временные рамки (30–35 мин), поскольку отклонение в ту или иную сторону неизбежно отразится на качестве сгустка и впоследствии продукта, а также повлечет за собой потери. Чтобы этого избежать, в пастеризованное молоко вносят CaCl_2 из расчета от 0,1 до 0,5 г/л. Важно понимать, что при увеличении концентрации Ca^{2+} в молочной смеси происходит тождественное повышение не только молокосвертывающей активности МФП, но и их протеолитической активности. Учитывая тот факт, что около 6% молокосвертывающих ферментов остается в сырном зерне (по некоторым данным это значение может быть больше), следствием роста протеолитической активности МФП может быть снижение выхода и потребительских свойств сыра. В соответствии с изложенным мы сочли целесообразным произвести оценку молокосвертывающей активности при изменении $[\text{Ca}^{2+}]$ в субстрате.

Полученные результаты показали, что при повышении доли пепсина в составе МФП чувствительность к концентрации ионов Ca^{2+} в молоке возрастает (рис. 6, табл. 1). Поскольку протеолитическая активность смесевой композиции СГ-50 и говяжьего пепсина является высокой по сравнению с сычужным ферментом, чрезмерное внесение CaCl_2 (выше 0,2–0,3 г/л) неизбежно приведет к избыточному протеолизу в сырах и, как следствие, горечи, порокам консистенции. Говяжий пепсин при производстве сыров с созреванием сырной массы не применяется, но при использовании смесевых композиций 50/50 это важно учитывать.

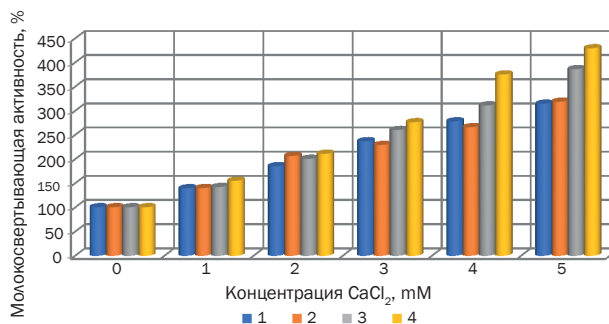


Рис. 6. Влияние концентрации ионов кальция на молокосвертывающую активность молокосвертывающих ферментных препаратов:
 1 – отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
 2 – сычужный фермент (СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
 3 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
 4 – говяжий пепсин (ГП) ОАО «МЗСФ», г. Москва

Fig. 6. Effect of calcium concentration in milk on the milk-coagulating activity of milk-coagulating enzyme preparations:
 1 – industrial control rennet sample (ОКО СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
 2 – rennet (СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
 3 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50) Moscow rennet plant, Moscow;
 4 – beef pepsin (ГП), Moscow rennet plant, Moscow

³Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013) // Docs.cntd.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/499050562>(дата обращения 17.02.2026).

Таблица 1. Зависимость молокосвертывающей активности молокосвертывающих ферментных препаратов от концентрации ионов кальция

Table 1. Dependence of the milk-converting activity of milk-converting enzyme preparations on calcium concentration in milk

Препарат	Концентрация CaCl ₂ , mM					
	0	1	2	3	4	5
Отраслевой контрольный образец	100	139,23±1,85	184,92±3,27	236,66±0,01	277,58±11,38	314,20±5,50
Сычужный фермент	100	139,62±0,01	206,21±4,23	228,81±7,6	265,55±12,03	318,36±5,03
Сычужно-говяжий фермент	100	141,95±6,78	200,15±8,72	259,94±0,01	310,70±16,96	385,81±0,01
Говяжий пепсин	100	154,80±2,62	210,66±2,43	275,96±0,01	374,81±7,82	429,03±10,25

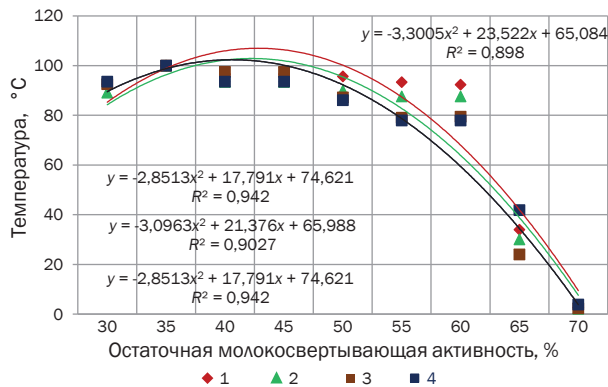


Рис. 7. Термостабильность молокосвертывающих ферментных препаратов:

- 1 – отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 2 – сычужный фермент (СФ) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 3 – сычужно-говяжий фермент ВНИИМС (СГ-50) ОАО «МЗСФ», г. Москва;
- 4 – говяжий пепсин (ГП) ОАО «МЗСФ», г. Москва

Fig. 7. Thermal stability of milk-converting enzyme preparations:

- 1 – industrial control rennet sample (ОКО СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
- 2 – rennet (СФ), Moscow rennet plant, Moscow;
- 3 – beef rennet, Russian Research Institute of Butter and Cheese Making (СГ-50) Moscow rennet plant, Moscow;
- 4 – beef pepsin (ГП), Moscow rennet plant, Moscow

Термостабильность МФП – это диапазон температур, при котором сохраняется активность фермента. Порог термостабильности МФП – температура, при которой фермент теряет не более 20% от исходной молокосвертывающей активности.

Анализ полученных данных показал, что температурный оптимум изученных МФП находился в диапазоне от 35 до 40 °С (рис. 7, табл. 2). Специфическая активность эталонного образца ОКО СФ и коммерческого образца сычужного фермента являлась стабильной в интервале от 35 до 55 °С. В образцах натуральных МФП наблюдалась закономерность снижения термостабильности при повышении доли пепсина в составе препарата; порога термоинактивации МФП отечественного производства достигали в точке от 55 до 60 °С.

Таким образом, проведенные исследования показали, что МФП отечественных производителей соответствуют требованиям, предъявляемым к ним сыродельной отрасли.

На сегодняшний день можно с уверенностью заявить, что развитие отрасли осуществляется успешно и объемы продаж с каждым годом нарастают уверенными темпами, о чем свидетельствует динамика рынка за последнее десятилетие (рис. 8). С 2014 года после введения Российской Федерацией эмбарго сыродельная отрасль расширяет объемы производства [17–19].

Вследствие роста объемов производства сычужных сыров в России увеличивается потребность в МФП [19, 20]. Несмотря на это, к сожалению, мы вынуждены констатировать факт, что отечественные предприятия по производству МФП не выдерживают конкурентной борьбы с иностранными компаниями, занимающими в настоящее

Таблица 2. Зависимость остаточной молокосвертывающей активности молокосвертывающих ферментных препаратов от температуры

Table 2. Dependence of the residual milk-converting activity of milk-converting enzyme preparations on temperature

Препарат	Остаточная молокосвертывающая активность, %									
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
Отраслевой контрольный образец	92,50±1,47	100	96,56±0,01	96,56±0,01	95,63±0,91	93,38±1,75	92,31±2,27	34,02±0,20	2,67±0,05	
Сычужный фермент	89,12±0,73	100	93,43±1,39	93,43±1,39	89,91±2,58	87,65±0,01	87,65±0,87	30,09±0,22	2,08±0,03	
Сычужно-говяжий фермент	92,59±0,01	100	97,44±2,51	97,44±2,51	87,23±2,01	79,07±4,39	79,45±2,52	24,04±0,26	2,32±0,10	
Говяжий пепсин	93,54±1,08	100	93,54±1,08	93,56±2,13	86,13±1,78	77,95±1,30	77,93±0,55	41,84±0,22	3,84±0,13	

время подавляющую долю рынка (рис. 9). Так, долгое время лидирующей среди российских предприятий на отечественном рынке ОАО «МЗСФ» на сегодняшний день прекратил свое существование.



Рис. 8. Объем производства продуктов сыродельной отрасли в России

Fig. 8. The volume of rennet cheese production in Russia

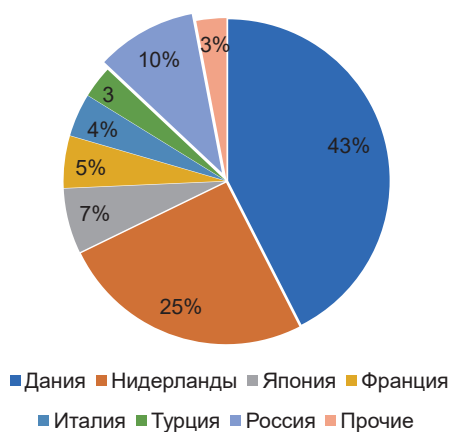


Рис. 9. Распределение производителей в структуре рынка молокосвертывающих ферментных препаратов

Fig. 9. Share of imported milk coagulants in the structure of the MFP market in the Russian Federation

Анализ отечественного рынка показывает, что около 90% ферментных препаратов приходится на долю импортных МФП (см. рис. 9). В связи с этим складывается мнение о том, что проблема развития производства МФП в нашей стране является одной из самых острых и требует своего решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по изучению качественного состава, протеолитической активности, зависимости от присутствия ионов кальция, pH, устойчивости к повышению температуры – свойств, играющих важную роль в процессе свертывания молочной смеси как одного из важных этапов в производстве сыра, показали, что отечественные МФП соответствуют требованиям сыродельной отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Швабска О.Б., Карамнова Н.С., Измайлова О.В. Здоровое питание: новые рационы для индивидуального использования // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2020. Т. 16. N 6. С. 958–965.

Соотношение активных компонентов (пепсина и химозина) в составе исследованных препаратов сычужного фермента и пепсинов соответствует требованиям. Более того, препарат говяжьего пепсина содержал достаточно высокое количество химозина (29,5%). Тем не менее препараты смесевых композиций не соответствовали указанным выше требованиям, в них наблюдалось отклонение от установленного по стандарту соотношения (50:50).

Исследования протеолиза казеина под воздействием МФП показали, что самая низкая протеолитическая активность отмечена у препаратов сычужного фермента, максимальная – у куриного пепсина. Протеолитическая активность важна с точки зрения влияния на созревание сыра, формирования вкуса и аромата продукта. В зависимости от ассортимента вырабатываемой продукции производитель может выбрать препараты с меньшей (содержащей не более 30% пепсина) или большей (содержащей 50% пепсина и более) протеолитической активностью. Так, для сыров с высокой температурой созревания предпочтительнее ферменты с низким содержанием пепсина.

Данные исследований по влиянию pH на специфический протеолиз (молокосвертывающую активность) ферментов показали, что активность всех МФП достигала максимума при активной кислотности субстрата, равной 5,0. Далее при сдвиге pH в сторону понижения кислотности наблюдалось снижение специфической активности. Минимальные значения активности наблюдали в точке pH 7,0.

Полученные результаты показали, что при повышении доли пепсина в составе МФП чувствительность к концентрации ионов Ca^{2+} в молоке возрастает.

Анализ полученных данных показал, что температурный оптимум изученных МФП находился в диапазоне от 35 до 40 °С. В образцах натуральных МФП наблюдалась закономерность снижения термостабильности при повышении доли пепсина в составе препарата. Порога термоинактивации МФП отечественного производства достигали в точке 55–60 °С.

Важным является тот факт, что отечественные предприятия по производству МФП не выдерживают конкурентной борьбы с иностранными компаниями, занимающими в настоящее время подавляющую долю рынка. Согласно статистическим данным, доля рынка отечественных предприятий по производству МФП составляет не более 10%. Вероятной причиной низкой доли рынка, помимо маркетинговых и логистических факторов, может являться нестабильность качественного состава некоторых смесевых препаратов (как показано на рис. 2 для СГ-50), что снижает их привлекательность для производителей, ориентированных на строго стандартизированные технологические процессы. На наш взгляд, проблема развития производства МФП в России является одной из самых острых и требует своего решения.

DOI: 10.20996/1819-6446-2020-12-12. EDN: LYZZUG.

2. Сухова А.В., Лапко И.В., Преображенская Е.А. Гигиенические основы здорового питания трудоспособного населения (обзор литературы) // Гигиена и санитария.

2024. Т. 103. N 12. С. 1521–1527. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-12-1521-1527. EDN: XXQNKA.

3. Абрамов Д.В., Мягконосов Д.С., Овчинникова Е.Г., Муничева Т.Э. Исследование критериальной оценки молокосвертывающих ферментных препаратов различного происхождения по их влиянию на формирование показателей качества и хранимоспособность отдельных групп сыров // Современные тренды в производстве, потреблении и контроле сыра, масла и другой молочной продукции: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Углич, 18–20 июня 2024 г.). Углич: Изд-во ВНИИМС, 2024. С. 114–119. EDN: DTLAQ.

4. Каверзнева Е.Д. Стандартный метод определения протеолитической активности для комплексных препаратов протеаз // Прикладная биохимия и микробиология. 1971. Т. 7. N 2. С. 225–228.

5. Стурова Ю.Г., Гришкова А.В., Коншин В.В., Просеков А.Ю. Влияние физико-химических факторов на специфическую активность протеаз, применяемых в биотехнологии сыров // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 3. С. 352–361. DOI: 10.21285/achb.935. EDN: GEWFBW.

5. Sturova Yu.G., Grishkova A.V., Konshin V.V., Prosekov A.Yu. Influence of physicochemical factors on the specific activity of proteases used in cheesemaking biotechnology. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(3):352-361. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.935. EDN: GEWFBW.

6. Мягконосов Д.С., Абрамов Д.В., Делицкая И.Н., Овчинникова Е.Г. Протеолитическая активность молокосвертывающих ферментов разного происхождения // Пищевые системы. 2022. Т. 5. N 1. С. 47–54. DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-47-54. EDN: FKAQJB.

7. Мягконосов Д.С., Мордвинова В.А., Абрамов Д.В., Овчинникова Е.Г., Муничева Т.Э. Технологические свойства молокосвертывающих ферментов разного происхождения. Часть II. Влияние вида используемого МФП на процессы протеолиза при созревании сыров // Сыроделие и маслоделие. 2020. N 5. С. 10–13. DOI: 10.31515/2073-4018-2020-5-10-13. EDN: SHDDGB.

8. Chen C.-C., Chen L.-Y., Li W.-T., Chang K.-L., Kuo M.-I., Chen C.-J., et al. Influence of chymosin on physicochemical and hydrolysis characteristics of casein micelles and individual caseins // *Nanomaterials*. 2021. Vol. 11, no. 10. P. 2594. DOI: 10.3390/nano11102594.

9. Wilkinson M.G., Doolan I.A., Kilcawley K.N. Enzyme-modified cheese // *Encyclopedia of dairy sciences* / eds McSweeney P.L.H., McNamara J.P. Academic Press, 2022. P. 166–171. DOI: 10.1016/B978-0-12-818766-1.00260-9.

10. Лепилкина О.В., Григорьева А.И. Ферментативный протеолиз при преобразовании молока в сыр // Пищевые системы. 2023. Т. 6. N 1. С. 36–45. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-36-45. EDN: MYSJFF.

11. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. М.: ДеЛи принт, 2004. 803 с.

12. Белов А.Н., Ельчанинов В.В., Коваль А.Д. Молокосвертывающие препараты // Сыроделие и маслоделие. 2004. N 1. С. 14–16. EDN: QCBLBD.

13. Белов А.Н., Коваль А.Д., Авданина Е.А., Ельчанинов В.В. Влияние молокосвертывающего препарата на органолептические показатели сыра // Сыроделие и маслоделие. 2009. N 1. С. 22–24. EDN: KZQVED.

14. Ardö Y., McSweeney P.L.H., Magboul A.A.A., Uradhyay V.K., Fox P.F. *Biochemistry of cheese ripening: proteolysis* // *Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology* / eds P.L.H. McSweeney, P.F. Fox, P.D. Cotter, D.W. Everett. Academic Press, 2017. P. 445–482. DOI: 10.1016/B978-0-12-417012-4.00018-1.

15. Ardö Y. *Enzymes in cheese ripening* // *Food engineering series* / eds A.L. Kelly, L.B. Larsen. Cham: Springer, 2021. P. 363–395. DOI: 10.1007/978-3-030-55482-8_15.

16. Лепилкина О.В., Григорьева А.И. Ферментативный протеолиз при преобразовании молока в сыр // Пищевые системы. 2023. Т. 6. N 1. С. 36–45. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-36-45. EDN: MYSJFF.

17. Мусина О.Н., Гришкова А.В., Просеков А.Ю. К вопросу о самообеспеченности страны молокосвертывающими ферментами // Молочная промышленность. 2024. N 1. С. 24–27. DOI: 10.21603/1019-8946-2024-1-10. EDN: KINKYI.

18. Абрамов Д.В., Мягконосов Д.С., Делицкая И.Н., Мордвинова В.А., Муничева Т.Э., Овчинникова Е.Г. Перспективы применения комплексных МФП для производства созревающих сычужных сыров // Сыроделие и маслоделие. 2019. N 1. С. 24–26. DOI: 10.31515/2073-4018-2019-1-24-26. EDN: YYIIWT.

19. Абрамов Д.В., Мягконосов Д.С., Мордвинова В.А., Делицкая И.Н., Овчинникова Е.Г. Современные тенденции рынка молокосвертывающих ферментных препаратов // Сыроделие и маслоделие. 2018. N 6. С. 7–11. EDN: YZKXZR.

20. Мягконосов Д.С., Абрамов Д.В., Мордвинова В.А., Муничева Т.Э., Овчинникова Е.Г. Обзор российского рынка молокосвертывающих препаратов и перспективы его развития // Сыроделие и маслоделие. 2019. N 2. С. 11–13. DOI: 10.31515/2073-4018-2019-2-11-13. EDN: YZOYKD.

REFERENCES

1. Shvabskaia O.B., Karamnova N.S., Izmailova O.V. Healthy diet: new rations for individual use. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2020;16(6):958-965. (In Russian). DOI: 10.20996/1819-6446-2020-12-12. EDN: LYZZUG.

2. Sukhova A.V., Lapko I.V., Preobrazhenskaya E.A. Hygienic principles of healthy nutrition in the able-bodied population (literature review). *Hygiene and Sanitation*. 2024;103(12):1521-1527. (In Russian). DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-12-1521-1527. EDN: XXQNKA.

3. Abramov D.V., Myagkonosov D.S., Ovchinnikova E.G., Munchieva T.Eh. Criterion assessment of milk-converting

enzyme preparations of various origins according to their effect on the formation of quality indicators and the storage capacity of individual groups of cheeses. In: *Modern trends in the production, consumption and control of cheese, butter and other dairy products: Proc. Int. Sci. Pract. Conf.* 18–20 June 2024, Uglich. Uglich: Russian Research Institute of Butter and Cheese Making; 2024, p. 114–119. (In Russian). EDN: DTLAQ.

4. Kaverzneva E.D. Standard method for determining proteolytic activity for complex protease preparations. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 1971;7(2):225-228. (In Russian).

5. Sturova Yu.G., Grishkova A.V., Konshin V.V., Prosekov A.Yu. Influence of physicochemical factors on the specific activity of proteases used in cheesemaking biotechnology. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(3):352-361. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.935. EDN: GEWFBW.

6. Myagkonosov D.S., Abramov D.V., Delitskaya I.N., Ovchinnikova E.G. Proteolytic activity of milk-clotting enzymes of different origin. *Food systems*. 2022;5(1):47-54. (In Russian). DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-47-54. EDN: FKAQJB.

7. Myagkonosov D.S., Mordvinova V.A., Abramov D.V., Ovchinnikova E.G., Munchieva T.E. Technological properties of milk clotting enzymes of different origin. Part II. influence of the type of milk clotting enzyme used on proteolysis processes during cheese ripening. *Cheesemaking and buttermaking*. 2020;5:10-13. (In Russian). DOI: 10.31515/2073-4018-2020-5-10-13. EDN: SHDDGB.

8. Chen C.-C., Chen L.-Y., Li W.-T., Chang K.-L., Kuo M.-I., Chen C.-J., et al. Influence of chymosin on physicochemical and hydrolysis characteristics of casein micelles and individual caseins. *Nanomaterials*. 2021;11(10):2594. DOI: 10.3390/nano11102594.

9. Wilkinson M.G., Doolan I.A., Kilcawley K.N. Enzyme-modified cheese. In: McSweeney P.L.H., McNamara J.P. (eds). *Encyclopedia of dairy sciences*. Academic Press; 2022, p. 166-171. DOI: 10.1016/B978-0-12-818766-1.00260-9.

10. Lepilkina O.V., Grigorieva A.I. Enzymatic proteolysis during the conversion of milk into cheese. *Food Systems*. 2023;6(1):36-45. (In Russian). DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-36-45. EDN: MYSJFF.

11. Gudkov A.V. *Cheese making: technological, biological and physico-chemical aspects*. Moscow: DeLi print; 2004, 803 с. (In Russian).

12. Belov A.N., Elchaninov V.V., Koval A.D. Milk clotting preparations. *Cheesemaking and buttermaking*. 2004;1:14-16. (In Russian). EDN: QCBLBD.

13. Belov A.N., Koval' A.D., Avdanina E.A., El'chaninov V.V. Effects of milk clotting preparation on cheese organoleptic indices. *Cheesemaking and buttermaking*. 2009;1:22-24. (In Russian). EDN: KZQVED.

14. Ardö Y., McSweeney P.L.H., Magboul A.A.A., Upadhyay V.K., Fox P.F. Biochemistry of cheese ripening: proteolysis. In: McSweeney P.L.H., Fox P.F., Cotter P.D., Everett D.W. *Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology*. Academic Press; 2017, p. 445-482. DOI: 10.1016/B978-0-12-417012-4.00018-1.

15. Ardö Y. Enzymes in cheese ripening. In: Kelly A.L., Larsen L.B. (eds). *Food engineering series*. Cham: Springer; 2021; p. 363-395. DOI: 10.1007/978-3-030-55482-8_15.

16. Lepilkina O.V., Grigorieva A.I. Enzymatic proteolysis during the conversion of milk into cheese. *Food Systems*. 2023;6(1):36-45. (In Russian). DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-36-45. EDN: MYSJFF.

17. Musina O.N., Grishkova A.V., Prosekov A.Yu. Domestic self-sufficiency in milk-converting enzymes. *Dairy industry*. 2024;1:24-27. (In Russian). DOI: 10.21603/1019-8946-2024-1-10. EDN: KINKYI.

18. Abramov D.V., Myagkonosov D.S., Delitskaya I.N., Mordvinova V.A., Munchieva T.E., Ovchinnikova E.G. Perspectives of using complex milk-clotting enzyme preparations for ripening rennet cheeses production. *Cheesemaking and buttermaking*. 2019;1:24-26. (In Russian). DOI: 10.31515/2073-4018-2019-1-24-26. EDN: YYIIWT.

19. Abramov D.V., Myagkonosov D.S., Mordvinova V.A., Delitskaya I.N., Ovchinnikova E.G. Current market trends of milk-coagulating enzyme preparations. *Cheesemaking and buttermaking*. 2018;6:7-11. (In Russian). EDN: YZKXZR.

20. Myagkonosov D.S., Abramov D.V., Mordvinova V.A., Munchieva T.E., Ovchinnikova E.G. Review of the Russian market of milk clotting preparations and prospects of its development. *Cheesemaking and buttermaking*. 2019;2:11-13. (In Russian). DOI: 10.31515/2073-4018-2019-2-11-13. EDN: YZOYKD.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гришкова Анастасия Викторовна,

д.б.н., к.т.н., доцент,
ведущий научный сотрудник,
Федеральный Алтайский научный
центр агробиотехнологий,
656016, г. Барнаул, ул. Советской армии, 66,
Российская Федерация,
доцент,
Алтайский государственный
медицинский университет,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 40,
Российская Федерация,
ведущий научный сотрудник,
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Российская Федерация,
anastasiya-kriger@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1117-0489>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasiya V. Grishkova,

Dr. Sci. (Biology), Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor,
Leading Researcher,
Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology,
66, Sovetskoi Armii St., Barnaul, 656016,
Russian Federation,
Associate Professor,
Altai State Medical University,
40, Lenin Ave., Barnaul, 656038,
Russian Federation,
Leading Researcher,
Polzunov Altai State Technical University,
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038,
Russian Federation,
anastasiya-kriger@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1117-0489>

Стурова Юлия Геннадьевна,
к.т.н., доцент, старший научный сотрудник,
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Российская Федерация,
✉ y_sturova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

Коваль Анатолий Дмитриевич,
к.т.н., ведущий научный сотрудник,
Федеральный Алтайский научный
центр агrobiотехнологий,
656016, г. Барнаул, ул. Советской армии, 66,
Российская Федерация,
anatokoval@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7832-7159>

Мусина Ольга Николаевна,
д.т.н., доцент, главный научный сотрудник,
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Российская Федерация,
musinaolga@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>

Yuliay G. Sturova,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Senior Researcher,
Polzunov Altai State Technical University,
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038,
Russian Federation,
✉ y_sturova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

Anatoliy D. Koval,
Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher,
Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology,
66, Sovetskoi Armii St., Barnaul, 656016,
Russian Federation,
anatokoval@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7832-7159>

Olga N. Musina,
Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Chief Researcher,
Polzunov Altai State Technical University,
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038,
Russian Federation,
musinaolga@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>

Вклад авторов

А.В. Гришкова – разработка концепции,
разработка методологии, проведение
исследования, валидация результатов,
визуализация, написание черновика рукописи.
Ю.Г. Стурова – валидация результатов,
визуализация, редактирование рукописи.
А.Д. Коваль – валидация результатов,
написание черновика рукописи.
О.Н. Мусина – получение финансирования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии
конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.*

Информация о статье

Поступила в редакцию 03.06.2025.
Одобрена после рецензирования 20.10.2025.
Принята к публикации 26.02.2026.

Contribution of the authors

Anastasiya V. Grishkova – conceptualization,
methodology, investigation, validation,
visualization, writing – original draft.
Yuliay G. Sturova – validation,
visualization, editing.
Anatoliy D. Koval – validation,
writing – original draft.
Olga N. Musina – funding acquisition.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read
and approved by all the co-authors.*

Information about the article

The article was submitted 03.06.2025.
Approved after reviewing 20.10.2025.
Accepted for publication 26.02.2026.