

DOI 10.26297/0579-3009.2021.1.1

УДК 637.1:637.13

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОАГУЛЯНТОВ БЕЛКОВ МОЛОКА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.Г. КРУЧИНИН, С.Н. ТУРОВСКАЯ, Е.Е. ИЛЛАРИОНОВА, А.В. БИГАЕВА

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности,
115093, Российская Федерация, г. Москва, ул. Люсиновская, 35, корп. 7; электронная почта: a_bigaeva@vnimi.org

Потребность в увеличении количества и качества производимой молочной продукции стимулирует исследования, направленные на повышение эффективности переработки молочного сырья, что, в свою очередь, невозможно без изучения технологических свойств молока и функционально необходимых ингредиентов, применяемых в производстве различной молочной продукции. На основе научно-технической информации международных и российских баз данных, систематизированной в рамках изучаемой тематики, представлен обзор научных работ о коагулянтах белков молока различного происхождения, применяемых при кислотной, кислотно-сычужной и сычужной коагуляции. Установлено, что в российской и международной производственной практике востребованы коагулянты животного, микробного и рекомбинантного происхождения. Наибольшим спросом среди коагулянтов животного происхождения пользуется химозин, получаемый из желудков телят. Ферменты микробного и рекомбинантного происхождения отличаются более стабильным качеством и низкой стоимостью, но их производство практически полностью сосредоточено за рубежом. Кроме того, существуют некоторые предубеждения потребителей по отношению к рекомбинантным коагулянтам, поскольку они производятся с использованием методов генной инженерии. При условии повышения лояльности потребителей ферменты рекомбинантного происхождения могут стать наиболее перспективными функциональными ингредиентами. Исследования потенциала различных протеолитических ферментов растительного происхождения выявили невысокий технологический эффект их применения. Рассмотренный материал позволяет прогнозировать перспективность научных исследований по выявлению механизмов коагуляции молока и новых эффективных и универсальных коагулянтов совокупно с селекционной практикой отбора животных, направленной на улучшение технологических свойств молочного сырья.

Ключевые слова: казеин, сывороточные белки, закваски, молокосвертывающие ферментные препараты, растительные коагулянты молока, ферменты микробного и рекомбинантного происхождения.

Молочные продукты благодаря сбалансированному поликомпонентному составу молока занимают важное место в питании человека. Наиболее ценным составным элементом молока являются белки, содержащие незаменимые для организма человека аминокислоты и находящиеся в молоке в коллоидном состоянии. Белки молока подразделяются на 3 группы: казеины, сывороточные белки и белки оболочек жировых шариков [1–3].

Основной группой белков молока являются казеины, классифицированные как 4 фракции с несколькими молекулярными формами каждой, чувствительные к ионам кальция вследствие содержания фосфосериоловых кластеров: α_{s1} -казеин, α_{s2} -казеин и β -казеин, а также защитный κ -казеин – гликопротеид, устойчивый к воздействию ионов кальция. Казеины в молоке присутствуют в основном в виде казеинаткальцийфосфатного комплекса и частично в виде разобщенных мономеров, полимеров и субмицелл.

По строению различают три основные модели казеиновых мицелл: субмицеллярную, двойного связывания и нанокластерную [3, 4].

При производстве различных молочных продуктов казеиновые фракции молока осаждаются под действием

кислот или сычужного ферmenta либо его аналогов [3, 4]. В отличие от сывороточных белков казеины выдерживают высокотемпературную обработку, что определяет возможность получения питьевого молока и молочных продуктов длительного хранения [1]. Сывороточные белки, представленные в основном β -лактоглобулином и α -лактальбумином, не осаждаются кислотой и сычужным ферментом, а выпадают в осадок при температурах более низких, чем казеины, и расщепляются различными протеолитическими ферментами. Мембранные белки, включающие липопротеины, играют роль стабилизаторов жировой эмульсии молока, вследствие чего при коагуляции казеиновых мицелл они, находясь на поверхности жировых шариков, переходят в сгусток.

Необходимость оптимизации технологического процесса производства молочных продуктов стимулировала накопление знаний о свойствах молокосвертывающих ферментов и их воздействии на основную протеиновую составляющую молока – казеины. Однако, несмотря на изученность процесса коагуляции молока, до сих пор не сформулирована общепризнанная физико-химическая модель и не описаны процессы коагуля-

ции белков молока с объяснением воздействия различных факторов, влияющих на молочную систему [5].

Потеря стабильности коллоидной мицеллярной белковой системы молока может быть связана с различными способами разрушения – кислотной, кислотно-сычужной и сырчужной коагуляцией защитного волоскового, или ворсинчатого, слоя из κ -казеина, представляющего собой отрицательно заряженные C -окончания κ -казеина, выступающие на 5–10 нм над поверхностью мицеллы [3, 5]. При кислотной коагуляции молока в поверхностный слой мицеллы попадают дополнительные водородные ионы, вследствие чего смещается ионное равновесие, уменьшается электрический заряд макропептидных волосков и разрушается защитный слой мицеллы. При сырчужной коагуляции макропептидные волоски κ -казеина отщепляются химозином, что также приводит к разрушению защитного слоя. Авторами [5] была разработана математическая модель для описания кислотно-сычужного свертывания молока. В работе подчеркивается, что основным фактором стабильности коллоидной системы молока является электрический заряд, возникающий при диссоциации ряда функциональных групп белков, особую роль при этом играют фосфорсодержащие органические соединения. Ионы кальция и магния, наоборот, способствуют коагуляции коллоидной системы молока.

Цель настоящего исследования – на основе научно-технической информации международных и российских баз данных, систематизированной в рамках изучаемой тематики, дать сравнительную оценку свойств коагулянтов белков молока различного происхождения, проанализировать их преимущества и недостатки при использовании в практике производства молочной продукции для повышения эффективности переработки сыра.

Основными добавками при производстве молочных продуктов, включающих стадию коагуляции молочных белков, являются закваски и ферменты различного происхождения.

Ассортимент заквасок и бактериальных препаратов отечественного и зарубежного производства достаточно широк. В зависимости от состава микроорганизмов различают моновидовые и поливидовые закваски, состоящие из специально подобранных непатогенных, нетоксигенных лактобактерий, лактобактерий, в том числе ацидофильных, дрожжей [6, 7].

Современный рынок молокосвертывающих ферментных препаратов (МФП) представлен агентами животного, микробного и генно-инженерного происхождения, среди которых одним из наиболее изученных является сырчужный фермент.

Сырчужный фермент – химозин, или реннин, содержится в соке четвертого отдела желудка телят. Как и пепсин, он образуется из зимогена (прореннина) и ак-

тивируется катионами водорода в присутствии ионов кальция. Сырчужный фермент характеризуется молокосвертывающей активностью (МСА), подразумевающей специфичное расщепление пептидной связи κ -казеина между фенилаланином (Phe105) и метионином (Met106) и выражющейся в количестве частей молока, прокоагулированных одной частью фермента [8].

Сырчуг, полученный из желудков телят, содержит от 88 до 94% химозина с наибольшей активностью при pH 6,2–6,4 и от 6 до 12% пепсина с наибольшей активностью при pH 1,7–2,3, тогда как сырчуг, полученный из желудков взрослых особей, содержит от 90 до 94% пепсина и до 10% химозина [9]. Лучшим и поэтому более дорогостоящим среди МФП является химозин, полученный из желудков телят. С середины прошлого века наблюдается его дефицит вследствие невозможности обеспечения непрерывно растущего спроса промышленного сыророделия [10].

В России широко выпускаются МФП-заменители сырчугов ягнят и телят на основе пепсина желудков различных сельскохозяйственных животных, а также чистые препараты говяжьего и куриного пепсина [10]. По мере увеличения доли пепсина в препарате повышается его протеолитическая активность (ПА) – способность к расщеплению пептидных связей в структуре белка, вследствие чего они могут иметь меньшую стабильность свертывания молока как по продолжительности технологического процесса, так и по качеству получаемого сгустка, меньший выход зерна, менее продолжительный срок хранения готового продукта и вызывать пороки вкуса (горечь) [11].

Вместо натурального животного сырчужного фермента были разработаны и внедрены микробные и генно-инженерные молокосвертывающие препараты [8–11]. Согласно [10], наиболее популярным продуcentом МФП микробного происхождения является гриб *Rhizomucor meihei*, а среди МФП, получаемых с помощью ДНК-технологий, наиболее распространен рекомбинантный химозин теленка, на смену которому может прийти рекомбинантный химозин верблюда.

Первые микробные препараты негативно зарекомендовали себя в отрасли. Они имели высокую ПА и термоустойчивость, вследствие чего получаемые на их основе сыры быстро перезревали, а подсырная сыворотка подвергалась ферментативной порче. К концу 80-х годов с развитием генной инженерии были разработаны рекомбинантные МФП, или ферментационный химозин, полностью соответствующий натуральному сырчугу [9].

Однако, несмотря на низкую стоимость рекомбинантных МФП и их идентичность сырчужному ферменту животного происхождения, они не получили достаточно широкого распространения из-за предубеждения потребителей по отношению к методам генной инже-

нерии. В некоторых странах применение таких МФП находится под запретом. В России в соответствии с ТР ТС 022/2011 в случае применения рекомбинантных МФП производители обязаны выносить на упаковку товара следующую информацию: «Продукт содержит компоненты, полученные с использованием генно-модифицированных микроорганизмов» [9].

В 2019 году компания Chr. Hansen, чьи коагулянты торговой марки CHY-MAX наиболее распространены на отечественном рынке, выпустила новый коагулянт – CHY-MAX Supreme, позволяющий, по словам производителя, увеличить выход продукта на 1% по сравнению с предыдущим лидером торговой марки CHY-MAX M [12]. После тестирования коагулянта на предприятиях отрасли по всему миру установлено: снижение содержания производных казеина, образующихся при гидролизе белка, увеличение удержания жира в сыре и, соответственно, получение сыворотки более высокого качества с полностью инактивированным после пастеризации ферментом.

Однако еще в 2018 году ученые Алтайского государственного университета анонсировали разработку рекомбинантного химозина в рамках программы импортозамещения. Новизна разработанной конструкции энзима заключалась в дополнительно внедренном белке-помощнике – тиоредоксине, обеспечивающем активную структуру химозина [13].

Согласно данным авторов [14], около 90% МФП для производства сыров в России поставляются иностранными компаниями. Их ассортимент представлен препаратами микробного и рекомбинантного типов, тогда как действующие в отечественной отрасли стандарты и технологические инструкции базируются на сыропродукции советского периода с применением МФП животного происхождения. Для определения влияния МФП животного, микробного и рекомбинантного происхождений на МСА и ПА и их соотношение при производстве наиболее распространенной в РФ группы сыров – полутвердые, с низкой температурой второго нагревания были исследованы 3 образца МФП микробного происхождения и по 5 образцов МФП животного и рекомбинированного происхождения. Установлено, что наибольшие показатели МСА и ПА были у микробных препаратов – 325 тыс. усл. ед./г и 80 ед./г соответственно. Однако наибольшее соотношение МСА/ПА, являющееся критерием оптимизации в странах развитого сыропродукции, было получено у рекомбинированных МФП и составило 143. Результаты выработки сыра показали, что рассчитанные с применением сырчужной пробы дозы внесения МФП разных типов нивелировали существенную разницу в их свойствах, что позволяет на практике достигнуть гарантированной продолжительности стадий технологического процесса.

Коагуляция казеина, являясь базовой для сыропродукции и других молочных технологий, в основном вызывается сырчужным ферментом или его аналогами. Однако в производстве некоторых свежих мягких сыров и обезжиренного творога могут также применяться протеолитические ферменты – растительные коагулянты молока или пищевые кислоты в комплексе с нагревом (термокислотная коагуляция), снижающие активную кислотность сырья до изоэлектрической точки казеина (рН 4,6–4,7) [3].

Растительные ферментные препараты менее изучены. Их применение имеет практически те же недостатки, что и первых микробных ферментов: частые пороки вкуса в готовом продукте, его низкий выход и непродолжительный срок хранения. Однако растительные ферментные препараты дешевле молокосвертывающих ферментов других групп.

Согласно [8, 9], в молочной промышленности применяют экстракты артишока, репейника, паслена, мальвы, чертополоха, инжира, черного василька, подмаренника, крапивы, амброзии полыннолистной, лутика, молочая, ворсянки и тысячелистника обыкновенного. Экстракти папайна из плодов дынного дерева *Carica papaya*, бромелайна из ананаса *Ananas comosus* и рицина из семян клещевины *Ricinus communis* облашают слишком высокой ПА для выработки качественных молочных продуктов.

При использовании молокосвертывающих ферментов растительного происхождения получают региональные гастрономические продукты, исторически производимые тем или иным народом. Научный интерес к ним можно объяснить усиливающейся глобализацией мира и интенсивным развитием пищевого туризма [15].

Так, одним из наиболее популярных молочных продуктов в Бенине (Западная Африка) является традиционный мягкий сыр вагаси (Wagasi), получаемый коагуляцией коровьего молока протеазами растения *Calotropis procera* (Калотропис высокий, или Содомское яблоко) [16]. Вагаси готовится непосредственно перед употреблением, его не хранят, поэтому потребитель либо не успевает столкнуться с негативными последствиями применения коагулянтов с высокой ПА, либо эти последствия могут быть замаскированы кулинарной обработкой продукта.

Растущий спрос на полезные для здоровья продукты с оригинальным вкусом инициировал межгосударственное исследование ученых по внедрению новых растительных коагулянтов в производство традиционного индийского мягкого свежего сыра панира [17]. В качестве коагулянтов использовали лимонный сок и сок плодов амлы в сравнении с 2-процентной лимонной кислотой. Оба фруктовых сока показали хорошие результаты.

Итальянские ученые исследовали возможность использования водного раствора сока киви в качестве перспективного заменителя химозина при производстве сыра моцарелла с применением заквасочной культуры *Streptococcus thermophilus* [18]. Согласно полученным результатам, МСА водного раствора киви обусловлена его составным компонентом – ферментом актинидином. С учетом широкой доступности этих фруктов для рынков Европы, особенно Италии, и стойкости водного раствора сока киви, который может храниться без изменений в течение 20 дней при температуре минус 20°C, его применение в молочной промышленности может быть экономически выгодным, что, однако, нуждается в подтверждении.

При поиске альтернативы сырчужному ферменту научное сообщество предлагает абсолютно нетрадиционные вещества. Например, в Малайзии как потенциальный коагулант для молочной отрасли рассматривали змеиный яд малайской гадюки, содержащий металлопротеиназу кистомин [19]. Вопрос о возможности коммерциализации ее использования, в том числе с применением методов генной инженерии, с точки зрения ученых требует дальнейших исследований.

Следует отметить, что энзимы более изучены и предсказуемы, чем субстрат процесса сырчужного свертывания – молоко. Как показывает практика, можно получить стандартный фермент (наиболее низкая вариабельность у рекомбинированных МФП), однако получение стандартного молока, особенно в России, все еще является проблематичным и затруднительным. Потенциальным решением стандартизации проявлений свойств ферментов всех типов при свертывании молока может стать изучение белковой составляющей молочного сырья с определением генотипа лактирующего животного по к-казеину [20]. Многочисленные исследования коров различных пород в РФ показали низкую частоту встречаемости желательного генотипа BB по к-казеину, давно введенного в селекционную практику стран с развитым молочным животноводством, поскольку молоко коров с генотипом BB характеризуется более высокими содержанием сухих веществ, в том числе белка, и скоростью сырчужного свертывания, большим выходом сыра с высокими реологическими свойствами [20, 21].

Таким образом, на основе проведенного обзора установлено, что в практике отечественной и зарубежной молочной отрасли применяют коагулянты животного, микробного и рекомбинантного происхождения. Лучшим и поэтому дорогостоящим и дефицитным среди молокосвертывающих ферментных препаратов является химозин, полученный из желудков телят. Молокосвертывающие ферментные препараты микробного и рекомбинантного происхождения имеют более стабильное качество и низкую стоимость, но их производ-

ство практически полностью сосредоточено за рубежом. Низкая востребованность рекомбинантных ферментных препаратов объясняется предубеждениями потребителей против методов генной инженерии, с помощью которых производятся эти препараты, поэтому перспектива их применения зависит от лояльности потребителей. Исследования потенциала различных протеолитических ферментов растительного происхождения выявили невысокий технологический эффект их применения.

Рассмотренный материал позволяет прогнозировать перспективность научно-исследовательской работы по выявлению механизмов коагуляции молока и новых эффективных и универсальных коагулянтов, повышению эффективности переработки молочного сырья с использованием коагулянтов молочных белков преимущественно животного и рекомбинантного происхождения совокупно с селекционной практикой, направленной на улучшение технологических свойств молочного сырья путем отбора животных с генотипом BB по к-казеину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория и практика молочно-консервного производства / А.Г. Галстян, А.Н. Петров, И.А. Радаева, С.Н. Туровская, В.В. Червцов, Е.Е. Илларионова, В.К. Семипятный. М., 2016. 181 с.
2. Agarkova E.Y., Kruchinin A.G., Glazunova O.A., Fedorova T.V. Whey protein hydrolysate and pumpkin pectin as nutraceutical and prebiotic components in a functional mousse with antihypertensive and bifidogenic properties // Nutrients. 2019. Vol. 11. Iss. 12. P. 29–30. DOI: 10.3390/nu11122930.
3. Технология производства молочных продуктов: Справочник. Tetra Pak, 2019 // <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/cblp> (дата обращения 20.10.2020).
4. Кручинин А.Г., Туровская С.Н., Илларионова Е.Е., Бигаева А.В. Молекулярно-генетические модификации к-казеина // Изв. вузов. Пищевая технология. 2020. № 4. С. 12–16. DOI: 10.26297/0579-3009.2020.4.3.
5. Осинцев А.М., Брагинский В.И., Рынк В.В., Чеботарев А.Л. Особенности коагуляции молока и его заменителей на основе растительных компонентов // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 3. С. 81–89. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-81-89.
6. Тихомирова Н.А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов. М.: ДеЛи прнт, 2007. 560 с.
7. Молочнокислые и пропионовокислые бактерии: формирование сообщества для получения функциональных продуктов с бифидогенными и гипотензивными свойствами / А.В. Бегунова, И.В. Рожкова, Е.А. Зверева, О.А. Глазунова, Т.В. Федорова // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55. № 6. С. 566–577. DOI: 10.1134/S0555109919060047.
8. Шляпникова С.В., Батырова Э.Ф. Особенности коагуляции молока: сырчужный ферментный препарат и его аналоги // Биомика. 2017. Т. 9. № 1. С. 33–41.
9. Цикунин А.Д., Гончарова С.А. Молокосвертывающие ферменты: сравнительная характеристика // Наука: комплексные проблемы. 2014. № 3. С. 20–26.
10. Современные тенденции рынка молокосвертывающих ферментных препаратов / Д.В. Абрамов, Д.С. Мягконосов, В.А. Мордвинова, И.Н. Делицкая, Е.Г. Овчинникова // Сыроделие и маслоделие. 2018. № 6. С. 7–11.
11. Абрамов Д.В., Мягконосов Д.С. Молокосвертывающие ферментные препараты // <https://produkt.by/story/>

- molokosvyortyayushchie-fermentnye-preparaty (дата обращения 26.10.2020).
12. **Маяускайт В.** CHY-MAX Supreme – выводим производство сыра на новый уровень // Сыроделие и маслоделие. 2020. № 2. С. 32–33.
13. Уникальный фермент для производства сыра разработали ученые АлтГУ // https://www.dairynews.ru/news/unikalnyy-ferment-dlya-proizvodstva-syra-razrabota.html?phrase_id=10443840 (дата обращения 02.11.2020).
14. Технологические свойства молокосвертывающих ферментов разного происхождения / Д.С. Мягконосов, В.А. Мордвинова, Д.В. Абрамов, Е.Г. Овчинникова, Т.Э. Муничева // Сыроделие и маслоделие. 2020. № 3. С. 16–19. DOI: 10.31515/2073-4018-2020-3-16-19.
15. Effects of critical fluctuations of storage temperature on the quality of dry dairy product / A.G. Galstyan, A.N. Petrov, E.E. Illarionova, V.K. Semipyatnyi, S.N. TUrovskaya, A.E. Ryabova, S.A. Khurshudyan, R.R. Vafin, I.A. Radaeva // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102. Iss. 12. P. 10779–10789. DOI: 10.3168/jds.2019-17229.
16. Dairy curd coagulated by a plant extract of *Calotropis procera*: Role of fat structure on the chemical and textural characteristics / R.I. Ado, C. Lopez, V. Lechevalier, M.E. Gounga, B. Robert, M. Harel-Oger, G. Gilles, J.F. Grongnet, F. Gaucheron // Food Research International. 2018. Vol. 105. P. 694–702. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.11.056.
17. Ahmed A., Bajwa U. Composition, texture and microstructure appraisal of Paneer coagulated with sour fruit juices // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. P. 253–261. DOI: 10.1007/s13197-018-3484-4.
18. Puglisi I., Petrone G., Lo Piero A.R. A kiwi juice aqueous solution as coagulant of bovine milk and its potential in Mozzarella cheese manufacture // Food and Bioproducts Processing. 2014. Vol. 92 (1). P. 67–72. DOI: 10.1016/j.fbp.2013.07.011.
19. Vejayan J., Zulkifli A.A., Bathmanathan R. Halijah I. Enzymic milk clotting activities of metalloproteinase kistomins // Journal of Biological Sciences. 2020. Vol. 20. P. 138–146. DOI: 10.3923/jbs.2020.138.146.
20. Мурунова Г.В., Муничева Т.Э., Калинина Г.Е. «Нестандартность» поведения молокосвертывающих ферментов // Сыроделие и маслоделие. 2012. № 6. С. 28–29.
21. Technological properties of milk of cows with different genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin / S.V. Tyulkin, R.R. Vafin, L.R. Zagidullin, T.M. Akhmetov, A.N. Petrov, F. Diel // Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. Iss. 1. P. 154–162. DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-154-162.
- REFERENCES**
1. Galstyan A.G., Petrov A.N., Radaeva I.A., TUrovskaya S.N., Chervetsov V.V., Illarionova E.E., Semipyatnyi V.K., *Teoriya i praktika molochno-konservnogo proizvodstva* (Theory and practice of dairy and canning production), Moscow, 2016, 181 p.
 2. Agarkova E.Y., Kruchinin A.G., Glazunova O.A., Fedorova T.V., Nutrients. 2019, vol. 11, iss. 12, pp. 29–30, DOI: 10.3390/nu1122930.
 3. *Tekhnologiya proizvodstva molochnykh produktov: Spravochnik* (Technology of production of dairy products: Reference), <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/cblp>.
 4. Kruchinin A.G., TUrovskaya S.N., Illarionova E.E., Bigaeva A.V., Izv. vuzov. *Pishchevaya tekhnologiya*, 2020, no. 4, pp. 12–16, DOI: 10.26297/0579-3009.2020.4.3.
 5. Osintsev A.M., Braginskiy V.I., Rynk V.V., Chebotarev A.L., *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyykh proizvodstv*, 2018, vol. 48, no. 3, pp. 81–89, DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-81-89.
 6. Tikhomirova N.A., *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva moloka i molochnykh produktov* (Technology and organization of production of milk and dairy products), Moscow, 2007, 560 p.
 7. Begunova A.V., Rozhkova I.V., Zvereva E.A., Glazunova O.A., Fedorova T.V., *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 566–577, DOI: 10.1134/S0555109919060047.
 8. Shlyapnikova S.V., Batyrova E.F., *Biomika*, 2017, vol. 9, no. 1, pp. 33–41.
 9. Tsikunib A.D., Goncharova S.A., *Nauka: kompleksnye problemy*, 2014, no. 3, pp. 20–26.
 10. Abramov D.V., Myagkonosov D.S., Mordvinova V.A., Delitskaya I.N., Ovchinnikova E.G., *Syrodelie i maslodelie*, 2018, no. 6, pp. 7–11.
 11. Abramov D.V., Myagkonosov D.S., *Molokosvertvayushchie fermentnye preparaty* (Milk-clotting enzyme preparations), <https://produkt.by/story/molokosvyortyayushchie-fermentnye-preparaty>.
 12. Mayauskayte V., *Syrodelie i maslodelie*, 2020, no. 2, pp. 32–33.
 13. *Unikalnyy ferment dlya proizvodstva syra razrabotali uchenye AltGU* (A unique enzyme for the production of cheese was developed by scientists of AltGU), https://www.dairynews.ru/news/unikalnyy-ferment-dlya-proizvodstva-syra-razrabota.html?phrase_id=10443840.
 14. Myagkonosov D.S., Mordvinova V.A., Abramov D.V., Ovchinnikova E.G., Municheva T.E., *Syrodelie i maslodelie*, 2020, no. 3, pp. 16–19. DOI: 10.31515/2073-4018-2020-3-16-19.
 15. Galstyan A.G., Petrov A.N., Illarionova E.E., Semipyatnyi V.K., TUrovskaya S.N., Ryabova A.E., Khurshudyan S.A., Vafin R.R., Radaeva I.A., Journal of Dairy Science, 2019, vol. 102, iss. 12, pp. 10779–10789, DOI: 10.3168/jds.2019-17229.
 16. Ado R.I., Lopez C., Lechevalier V., Gounga M.E., Robert B., Harel-Oger M., Gilles G., Grongnet F., Gaucheron F., Food Research International, 2018, vol. 105, pp. 694–702, DOI: 10.1016/j.foodres.2017.11.056.
 17. Ahmed A., Bajwa U., Journal of Food Science and Technology, 2019, vol. 56, pp. 253–261, DOI: 10.1007/s13197-018-3484-4.
 18. Puglisi I., Petrone G., Lo Piero A.R., Food and Bioproducts Processing, 2014, vol. 92 (1), pp. 67–72, DOI: 10.1016/j.fbp.2013.07.011.
 19. Vejayan J., Zulkifli A.A., Bathmanathan R. Halijah I., Journal of Biological Sciences, 2020, vol. 20, pp. 138–146, DOI: 10.3923/jbs.2020.138.146.
 20. Murunova G.V., Municheva T.E., Kalinina G.E., *Syrodelie i maslodelie*, 2012, no. 6, pp. 28–29.
 21. Tyulkin S.V., Vafin R.R., Zagidullin L.R., Akhmetov T.M., Petrov A.N., Diel F., Foods and Raw Materials, 2018, vol. 6, iss. 1, pp. 154–162, DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-154-162.

Поступила 09.12.20 г.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF MILK PROTEIN COAGULANTS OF DIFFERENT ORIGIN**A.G. KRUCHININ, S.N. TUROVSKAYA, E.E. ILLARIONOVA, A.V. BIGAEVA**

*All-Russian Research Institute of the Dairy Industry,
35, bld. 7, Lyusinovskaya st., Moscow, Russian Federation, 115093; e-mail: a_bigaeva@vnimi.org*

The need to increase the quantity and quality of dairy products encourages research aimed at improving the efficiency of processing dairy raw materials, which, in turn, is impossible without studying the technological properties of milk and functionally necessary ingredients used in the production of various dairy products. On the basis of scientific and technical information from international and Russian data bases, systematized within the framework of the subject under study, a review of scientific works on milk protein coagulants of various origins used in acid, acid-rennet and rennet coagulation is presented. It is established that coagulants of animal, microbial and recombinant origin are in demand in the Russian and international production practice. The greatest demand among coagulants of animal origin is chymosin, obtained from the stomachs of calves. Microbial and recombinant enzymes are characterized by more stable quality and lower cost, but their production is almost entirely concentrated abroad. In addition, there are some consumer biases towards recombinant coagulants, as they are produced using genetic engineering techniques. If consumer loyalty is increased, recombinant enzymes may become the most promising functional ingredients. Studies of the potential of various proteolytic enzymes of plant origin revealed a low technological effect of their use. The considered material allows us to predict the prospects of scientific research to identify the mechanisms of milk coagulation and new effective and universal coagulants together with the breeding practice of animal selection, aimed at improving the technological properties of dairy raw materials.

Key words: casein, whey proteins, starter cultures, milk-converting enzyme preparations, plant milk coagulants, enzymes of microbial and recombinant origin.