

# Выбор молокосвертывающего фермента в сыроделии



**Владислав Александрович Можанов**, исполнительный директор  
ООО «МКС ГРУПП», г. Тольятти  
E-mail: mcs.groop@mail.ru

Молокосвертывающий фермент в сыроделии давно перестал быть лишь вспомогательным ингредиентом, необходимым для получения сгустка. В современных условиях это полноценный технологический инструмент, который влияет на формирование сырной массы, управляемость процесса, выход продукта, консистенцию и характер созревания сыра. При этом на практике производитель сталкивается не просто с выбором «фермент есть или нет», а с выбором между разными типами молокосвертывающих препаратов, каждый из которых имеет собственные особенности действия.

Для современной сыродельной отрасли этот вопрос особенно важен. Различия в составе и качестве молока-сырья, требования к стабильности технологического процесса, расширение ассортимента и необходимость воспроизводимого результата заставляют производителей все более внимательно подходить к выбору коагулянта. От того, какой именно фермент используется, зависит не только скорость свертывания молока, но и то, как будет вести себя сгусток при обработке, как будет отделяться сыворотка, насколько пластичной окажется сырная масса и каким будет вкус готового сыра в конце созревания.

Наибольшее практическое значение в современной технологии имеют три группы молокосвертывающих ферментов: натуральный фермент, рекомбинантный химозин и микробная протеаза. Несмотря на общую функцию, они различаются по происхождению, степени специфичности и влиянию на белковую систему молока. Именно эти различия и определяют их технологическое поведение.

## Молокосвертывающий фермент и его роль в формировании сгустка

Ферментативное свертывание молока связано прежде всего с воздействием на *κ*-казеин – белковую фракцию, которая играет ключевую роль

в стабилизации казеиновых мицелл. После гидролиза определенного участка молекулы *κ*-казеина мицеллы теряют устойчивость, начинают агрегировать, и в присутствии кальция формируется пространственная белковая сетка, удерживающая жир и влагу. Так образуется сырный сгусток.

Однако действие фермента не ограничивается только первой стадией коагуляции. После образования сгустка сохраняется и второй важный аспект – дальнейшее протеолитическое воздействие на белковую матрицу. Именно оно во многом определяет текстуру сырной массы, способность к синергизму, а в дальнейшем темп и характер созревания сыра. По этой причине при оценке молокосвертывающего фермента важно учитывать не только его способность быстро свертывать молоко, но и общий уровень протеолитической активности.

С технологической точки зрения наибольший интерес представляют ферменты, которые обеспечивают эффективную коагуляцию при минимальном уровне нежелательного побочного протеолиза. Если протеолитическая активность чрезмерна и недостаточно селективна, в процессе созревания возрастает риск излишнего размягчения структуры, снижения прочности сырной массы и формирования горьких тонов во вкусе.

## Натуральный фермент: традиционный подход в классическом сыроделии

Натуральный молокосвертывающий фермент исторически связан с традиционным сыроделием и до сих пор воспринимается как классическое решение для ряда видов сыра. Его применение имеет глубокие технологические корни и во многом ассоциируется с производством сыров, для которых особенно важны традиционный профиль созревания и характерный органолептический рисунок.

Натуральный фермент обеспечивает эффективное свертывание молока и способен благоприятно влиять на формирование типичного вкуса и аромата зрелого сыра. Для многих классических технологий это остается важным преимуществом. В ряде случаев именно такой фермент помогает получить тот профиль созревания, который ожидается от продукта с точки зрения текстуры и органолептики.

Вместе с тем для современной промышленности большое значение имеют стандартизация и воспроизводимость результата. И здесь натуральные препараты могут уступать более унифицированным решениям. Для предприятий, ориентированных на высокую повторяемость от партии к партии, это становится существенным фактором. Поэтому натуральный фермент чаще рассматривается как выбор для технологий, где важна не только производственная управляемость, но и связь с традиционным стилем продукта.

### **Рекомбинантный химозин: управляемость, селективность, воспроизводимость**

Рекомбинантный химозин сегодня является одним из наиболее востребованных решений в промышленном сыроделии. Это связано прежде всего с его высокой специфичностью действия и стабильностью технологических характеристик. Для предприятий, работающих в условиях стандартизированных производственных режимов, эти свойства особенно ценны.

Ключевым преимуществом рекомбинантного химозина является направленное действие на *κ*-казеин при сравнительно низком уровне неспецифического протеолиза. На практике это означает, что фермент обеспечивает быстрое и предсказуемое образование сгустка, а также формирует условия для более контролируемого поведения сырной массы на дальнейших стадиях процесса.

Для технолога это выражается в нескольких важных эффектах. Во-первых, повышается воспроизводимость коагуляции: проще контролировать время свертывания и характеристики сгустка. Во-вторых, облегчается управление синерезисом и влажностью будущего сыра. В-третьих, снижается риск дефектов, связанных с избыточным разрушением белковой структуры в процессе созревания. Именно поэтому рекомбинантный химозин особенно удобен для производства полутвердых и твердых сыров, где ранняя стадия формирова-

ния сгустка оказывает прямое влияние на итоговую текстуру и органолептику продукта.

Еще одно значимое преимущество – стабильность от партии к партии. Биотехнологический способ получения позволяет выпускать фермент с воспроизводимыми параметрами, что важно для предприятий, стремящихся минимизировать технологические колебания. В современных условиях это делает рекомбинантный химозин не просто альтернативой традиционным коагулянтам, а одним из базовых инструментов управления качеством.

### **Микробная протеаза: отдельная технологическая ниша**

Микробные протеазы также применяются в сыроделии как молокосвертывающие агенты и занимают собственную нишу в технологии. Их получают микробиологическим путем, и в ряде случаев они рассматриваются как технологически доступное решение для определенных категорий сыров и сырных продуктов.

Главная особенность микробных протеаз заключается в том, что наряду со способностью вызывать коагуляцию молока они обычно обладают более выраженной общей протеолитической активностью. Это означает, что их действие на белковую систему молока менее селективно по сравнению с химозином. С одной стороны, это позволяет использовать их в конкретных технологических схемах. С другой – требует особенно внимательного подбора дозировки, условий свертывания и режима созревания.

Если микробная протеаза применяется вне своей оптимальной зоны, возникает риск избыточного протеолиза. Для готового продукта это может означать повышенную вероятность появления горечи, более мягкую или рыхлую консистенцию, а также снижение стабильности структуры в ходе созревания. Именно поэтому такие ферменты следует рассматривать не как универсальную замену всем другим типам коагулянтов, а как специализированный инструмент, эффективность которого напрямую зависит от правильной технологической настройки.

### **Особенности коагуляции молока при использовании разных молокосвертывающих ферментов**

Современные сравнительные данные показывают, что молокосвертывающий фермент влияет не только на сам факт образования сгустка,

но и на весь ход коагуляции. Для сыродельческой практики это особенно важно, поскольку различия между коагулянтами проявляются уже на ранних стадиях процесса: по времени начала свертывания, скорости упрочнения сгустка и уровню его плотности в контрольные моменты. Именно эти параметры во многом определяют удобство дальнейшей обработки зерна, управляемость синерезиса и общую воспроизводимость технологического режима.

В исследовании G. Stocco и соавторов<sup>1</sup> были сопоставлены 8 коммерческих коагулянтов на коровьем молоке: животный сычужный фермент, два рекомбинантных бычьих химозина, рекомбинантный верблюжий химозин, три микробных коагулянта *Rhizomucor miehei* и модифицированный вариант рекомбинантного бычьего химозина. Испытания проводили в трех дозировках – 35, 50 и 65 IMCU/л, а суммарно было выполнено 384 анализа коагуляции. Такой дизайн особенно ценен для практики, поскольку позволяет оценить не только различия между типами ферментов, но и реакцию системы на изменение дозировки.

Для оценки характера коагуляции в работе использовали несколько показателей. Время начала коагуляции (RCT) отражает, как быстро молоко начинает формировать сгусток после внесения фермента. Показатель k20 характеризует, насколько быстро сгусток достигает рабочей плотности.

Значения a45, a60 и a90 показывают плотность сгустка через 45, 60 и 90 мин соответственно, а KCF отражает скорость упрочнения сгустка. В совокупности эти параметры позволяют описать не просто свертывание как таковое, а именно особенности формирования сгустка во времени.

Результаты показали, что животный сычужный фермент занимает промежуточное положение между рекомбинантными химозинами и микробными коагулянтами. Традиционный животный фермент коагулировал молоко медленнее, чем рекомбинантные химозины, но быстрее, чем ферменты *R. miehei*. С практической точки зрения это можно описать как сбалансированный профиль коагуляции: без максимально быстрого старта, но и без выраженного замедления процесса.

Наиболее активное свертывание продемонстрировали рекомбинантные химозины, прежде всего рекомбинантный верблюжий химозин и модифицированный рекомбинантный бычий химозин. Именно они обеспечили наиболее быстрый старт коагуляции и наибольшую скорость формирования сгустка. Оба варианта также формировали высокую плотность сгустка уже на 45 и 60 мин. Это указывает на более интенсивную кинетику свертывания и более активное упрочнение структуры в начальной фазе процесса.



Источник изображения: freerik.com

<sup>1</sup>Stocco, G. Effects of animal rennet, fermentation-produced chymosin, and microbial coagulants on bovine milk coagulation properties / G. Stocco [et al.] // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108(5). P. 4614–4625. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26167>

Напротив, микробные коагулянты *R. miehei* отличались наиболее медленной динамикой коагуляции. Для них были характерны более позднее начало свертывания, более длительный выход на плотный сгусток и меньшие значения плотности на ранних контрольных точках (табл. 1). Это означает, что при использовании таких коагулянтов технолог должен особенно внимательно подходить к режиму свертывания и к дальнейшей обработке сырного зерна.

Отдельного внимания заслуживает вопрос дозировки. Исследование показало, что повышение дозы коагулянта от 35 до 65 ИМСУ/л сопровождалось закономерным ускорением коагуляции

и более интенсивным формированием сгустка. (табл. 2). При большей дозировке молоко начинало коагулировать быстрее, сгусток быстрее выходил на рабочую плотность, а значения плотности в контрольные моменты увеличивались. Для практики это означает, что доза фермента выступает не вторичным, а полноценным инструментом настройки процесса наряду с выбором самого типа коагулянта.

Важно, что общий эффект дозировки был единым, но выраженность изменений зависела от природы фермента. То есть увеличение концентрации коагулянта само по себе ускоряет процесс,

**Таблица 1. Сравнение коагулянтов по ключевым показателям коагуляции<sup>2</sup>**

Тип коагулянта	RCT, мин	k20, мин	a45, мм	a60, мм	a90, мм	kCF, %/мин
Животный сычужный фермент (BovineTR)	25,2	7,05	36,4	43,7	48,5	7,49
Рекомбинантный бычий химозин (BovineFPC, вариант 1)	22,0	6,27	40,1	45,6	49,0	8,09
Рекомбинантный бычий химозин (BovineFPC, вариант 2)	21,5	5,95	41,8	47,3	50,6	8,35
Микробный коагулянт <i>R. miehei</i> (вариант 1)	32,5	11,3	26,1	34,7	44,4	5,12
Микробный коагулянт <i>R. miehei</i> (вариант 2)	30,3	11,0	28,8	37,0	45,7	5,30
Микробный коагулянт <i>R. miehei</i> (вариант 3)	30,1	10,7	29,1	37,2	45,5	5,44
Рекомбинантный верблюжий химозин (CamelFPC)	19,2	5,14	43,7	47,1	49,1	9,58
Модифицированный рекомбинантный бычий химозин (BovineVAR)	21,3	5,13	43,2	47,4	49,7	9,59

Примечание: RCT – время начала коагуляции; k20 – время достижения рабочей плотности сгустка; a45, a60, a90 – плотность сгустка через 45, 60 и 90 мин соответственно; kCF – скорость упрочнения сгустка.

**Таблица 2. Влияние дозировки коагулянта на параметры коагуляции<sup>3</sup>**

Доза коагулянта, ИМСУ/л	RCT, мин	k20, мин	a45, мм	a60, мм	a90, мм	amax, мм	kCF, %/мин
35	33,6	10,6	26,6	35,5	44,7	46,9	5,80
50	23,5	7,13	38,2	44,5	48,8	51,6	7,52
65	18,7	5,77	43,7	47,6	49,9	52,7	8,79

Примечание: RCT – время начала коагуляции; k20 – время достижения рабочей плотности сгустка; a45, a60, a90 – плотность сгустка через 45, 60 и 90 мин соответственно; amax – максимальная плотность сгустка; kCF – скорость упрочнения сгустка.

<sup>2</sup>Stocco, G. Effects of animal rennet...

<sup>3</sup>Там же.

однако разные группы ферментов реагируют на это по-разному. Следовательно, в реальной технологии подбирают не просто «дозу вообще», а рабочую концентрацию конкретного фермента под желаемую скорость коагуляции, режим обработки зерна и тип вырабатываемого сыра.

Таким образом, сравнительные данные подтверждают важный для отрасли вывод: натуральный фермент, рекомбинантные химозины и микробные коагулянты нельзя рассматривать как полностью взаимозаменяемые решения. Рекомбинантные химозины, прежде всего верблюжий и модифицированный бычий, обеспечивают наиболее быструю и технологически активную коагуляцию. Животный фермент сохраняет промежуточный, сбалансированный профиль. Микробные коагулянты *R. miehei* работают медленнее и требуют более тщательной настройки режима. Поэтому при выборе молокосвертывающего фермента следует учитывать не только его происхождение, но и особенности коагуляции молока, а также рабочую дозировку в конкретной технологии.

### Как выбирать молокосвертывающий фермент под задачу производства

Выбор молокосвертывающего фермента в современной технологии сыроделия определяется не только его происхождением, но и тем, насколько точно он соответствует задачам конкретного производства. Для технолога принципиальное значение имеют тип вырабатываемого сыра, свойства молока, требуемая скорость коагуляции, особенности обработки зерна и планируемая продолжительность созревания. Поэтому выбор коагулянта следует рассматривать как элемент настройки всей технологии, а не как формальную замену одного препарата другим.

Для предприятий, ориентированных на стабильный и воспроизводимый результат, особенно востребованы ферменты на основе рекомбинантного химозина. Их высокая специфичность, предсказуемое действие и удобство дозирования позволяют более точно управлять коагуляцией молока и получать сгусток с устойчивыми технологическими характеристиками. В условиях промышленного производства это особенно важно, поскольку даже небольшие колебания на стадии свертывания могут в дальнейшем повлиять на влажность, структуру и органолептический профиль сыра.

Для решения таких задач могут применяться жидкие препараты рекомбинантного химозина активностью 750 и 1000 IMCU. Их использование позволяет подобрать рабочую дозировку под конкретную технологическую схему и требуемую интенсивность коагуляции. В одних случаях приоритетом является более мягкое и контролируемое формирование сгустка, в других – более активное свертывание с быстрым выходом на рабочую плотность. Наличие препаратов разной активности дает технологу возможность гибко адаптировать процесс к особенностям молока-сырья, сезонным колебаниям состава и требованиям конкретного вида сыра.

Для ряда предприятий удобным решением является и сухой рекомбинантный химозин активностью 2500 IMCU. Такой формат особенно интересен там, где важны удобство хранения, точность дозирования и технологическая гибкость при работе с различными рецептурами и объемами производства. При правильной настройке дозировки сухая форма позволяет получать тот же управляемый характер коагуляции, который ожидается от современных химозиновых систем.

Вместе с тем в сыроделии сохраняется устойчивый интерес и к натуральным молокосвертывающим ферментам, особенно в тех случаях, когда производитель ориентируется на традиционный подход, классический профиль созревания и привычный характер вкусообразования. Для таких задач может рассматриваться натуральный фермент Nature L300. Его применение особенно уместно в технологиях, где важно подчеркнуть традиционный характер продукта и обеспечить узнаваемый ход созревания сырной массы.

Если приоритетом являются высокая воспроизводимость, стабильность от партии к партии, удобство управления коагуляцией и адаптация к современным производственным линиям, наиболее рациональным решением обычно становится рекомбинантный химозин. Если же задача связана с традиционной технологией, классическим позиционированием продукта и сохранением привычного характера созревания, натуральный фермент может быть более уместным выбором.

Таким образом, выбор молокосвертывающего фермента под задачу производства должен основываться на сочетании нескольких критериев: тип сыра, свойства молока, требуемая динамика коа-

гуляции, особенности технологической линии и целевой профиль готового продукта. Для современных производств, ориентированных на высокую управляемость и стабильность, эффективным инструментом являются препараты рекомбинантного химозина в жидкой и сухой формах. Для технологий, где значима традиционная направленность и классический характер созревания, важную роль сохраняет натуральный фермент Nature L300.

### Заключение

Натуральный фермент, рекомбинантный химозин и микробная протеаза решают одну общую задачу – обеспечивают свертывание молока, но делают это по-разному. Их происхождение, степень селективности и уровень протеолитической активности определяют особенности формирования сгустка, течение процесса созревания и свойства готового сыра.

Подход нашей компании «МКС ГРУПП» строится не вокруг отдельного ингредиента, а вокруг производственной задачи клиента. Мы понимаем, что один и тот же фермент может по-разному проявлять себя в зависимости от качества молока, режима пастеризации, уровня кальция, состава заквасочной микрофлоры, времени выдержки и особенностей оборудования. Поэтому подбор препарата всегда должен учитывать реальные условия конкретного предприятия. Технологический отдел «МКС ГРУПП» сопровождает клиентов на этапе выбора решения, помогает определить оптимальную форму продукта, режим внесения и рабочую дозировку, а при необходимости участвует и в технологической отработке.

Для современного производства особенно важны скорость принятия решений и уверенность в результате. Когда технологу нужен не просто фермент «по спецификации», а рабочий инструмент для стабильной выработки, поставщик должен говорить на языке производства и понимать практику предприятия. Именно поэтому «МКС ГРУПП» делает акцент на прикладной ценности продукта: насколько удобно с ним работать, насколько предсказуемо он ведет себя в процессе и как влияет на экономику готовой продукции. Такой подход помогает нашим клиентам не только решать текущие производственные задачи, но и увереннее планировать дальнейшее развитие ассортимента.

Ферментные препараты сегодня – это уже не вспомогательная позиция, а важная часть технологической устойчивости молочного предприятия. Рекомбинантный химозин, натуральный фермент, лизоцим и лактаза, поставляемые «МКС ГРУПП», помогают производителям выстраивать надежные процессы в условиях изменившегося рынка. Мы предлагаем не просто ассортимент, а профессиональную опору для сыроделия и молочной переработки – с пониманием отрасли, практических задач и требований современного производства. ■



Источник изображения: freepik.com