

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-204-212>

Поступила 07.08.2021

Поступила после рецензирования 15.09.2021

Принята в печать 25.09.2021

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

Обзорная статья

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЯГКИХ СЫРОВ

Мягконосов Д. С.,\* Смыков И. Т., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Краюшкина В. Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

молокосвертывающие ферменты, ферментативное свертывание, мягкие сыры, подсырная сыворотка, выход сыра

### АННОТАЦИЯ

Исследовано влияние типа молокосвертывающего фермента (МФ) на продолжительность свертывания молока, показатели состава сыворотки и сыров, а также на выход сыров при производстве мягкого сыра типа «Любительский». Изучены три марки МФ разного происхождения: Marzyme® (МФ микробного происхождения на основе протеазы *Rhizomucor miehei*), Naturen® (телячий сычужный фермент) и Chy-max® M (рекомбинантный химозин верблюда). Установлено, что МФ имели разное соотношение молокосвертывающей активности (МСА) к общей протеолитической активности (ПА). Определено, что показатель МСА/ПА, характеризующий степень специфичности действия МФ в отношении каппа-казеина, у препарата Chy-max M в ~7 раз выше, чем у препарата Naturen, и в ~50 раз выше, чем у препарата Marzyme. Подобные отличия не привели к получению негативного эффекта при использовании препарата Marzyme при выработке мягких сыров. Не было отмечено статистически достоверных различий по величине потерь сухих веществ сгустка в сыворотку, а также по физико-химическим показателям и выходу между вариантами сыров, изготовленных с исследованными МФ. При использовании Marzyme наблюдалась меньшая продолжительность свертывания молока (16,5 мин), чем при использовании МФ Naturen (20,5 мин) и Chy-max M (22,5 мин). Полученные результаты по продолжительности свертывания были объяснены стимулированием активности МФ микробного происхождения уровнем рН молока перед свертыванием (ниже рН 6,4). Показано, что современные МФ микробного происхождения могут быть рекомендованы как экономически эффективная замена более дорогостоящим сычужным ферментам и рекомбинантным химозинам при производстве мягких и свежих сыров.

Received 07.08.2021

Accepted in revised 15.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Review article

## INFLUENCE OF DIFFERENT MILK-COATING ENZYMES ON THE PROCESS OF PRODUCING SOFT CHEESES

Dmitriy S. Myagkonosov\*, Igor T. Smykov, Dmitriy V. Abramov, Irina N. Delitskaya, Valentina N. Krayushkina

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Yaroslavl Region, Russia

### KEY WORDS:

Milk-clotting enzymes, enzymatic coagulation, soft cheese, cheese whey, cheese yield

### ABSTRACT

The effect of the type of milk clotting enzyme (MCE) on the duration of milk coagulation, parameters of the composition of whey and cheeses, and the output of cheeses in the production of soft cheese such as "Lyubitel'skiy" were investigated. Three brands of MCE of different origins were investigated: Marzyme® (MCE of microbial origin based on *Rhizomucor miehei* protease), Naturen® (calf rennet) and Chy-max® M (recombinant camel chymosin). It was established that MCEs had different ratios of milk clotting activity (MCA) to total proteolytic activity (PA). It was determined that the MCA/PA ratio, which characterizes the degree of specificity of the MCE action with regard to kappa-casein, in Chy-max M 1000 is ~7 times higher than that of Naturen and ~50 times higher than that of Marzyme. Such differences did not lead to a negative effect when using the Marzyme preparation in the production of soft cheeses. There were no statistically significant differences in the amount of dry matter loss of the curd into the whey, physicochemical parameters and output between the variants of cheeses made with the studied brands of MCE. Shorter duration of milk clotting (16.5 min) was observed with Marzyme than with MCE of Naturen (20.5 min) and Chy-max M (22.5 min). The results of the coagulation duration were explained by the stimulation of the activity of MCE of microbial origin, by the pH level of milk before coagulation (below pH 6.4). It was shown that modern MCEs of microbial origin could be recommended as a cost-effective replacement for more expensive rennet and recombinant chymosins in the production of soft and fresh cheeses.

### 1. Введение

Процесс ферментативного свертывания молока является составной частью технологии производства большинства разновидностей сыров. Ферментативное свертывание позволяет сконцентрировать сухие вещества через стадию получения молочного сгустка, отделяющего влагу, но удерживаю-

щего в себе основные питательные вещества молока — белки и жир. Ключевым участником ферментативного свертывания является молокосвертывающий фермент (МФ), который расщепляет молекулы каппа-казеина, что приводит к объединению казеинов в пространственную матрицу, имеющую тенденцию к уплотнению (синерезису) с отделением влаги [1].

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мягконосов, Д. С., Смыков, И. Т., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., Краюшкина, В. Н. (2021). Влияние различных молокосвертывающих ферментов на процесс изготовления мягких сыров. *Пищевые системы*, 4(3), 204-212. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-204-212>

FOR CITATION: Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Krayushkina, V. N. (2021). Influence of different milk-coating enzymes on the process of producing soft cheeses. *Food systems*, 4(3), 204-212. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-204-212>

Молокосвертывающий фермент характеризуют два вида активности:

- молокосвертывающая активность (МСА) — это специфическая протеолитическая активность в отношении каппа-казеина молока;
- общая протеолитическая активность (ПА) — это степень протеолитической активности в отношении всех казеинов и других белков.

Молокосвертывающий фермент с высокой МСА обладает высокой скоростью расщепления каппа-казеина, что способствует сокращению продолжительности свертывания молока и расщеплению большей доли каппа-казеина, который обеспечивает стабильность казеиновых мицелл [2]. Чем большая часть каппа-казеина на поверхности мицелл подвергнута расщеплению, тем большая площадь поверхности мицеллы доступна для контакта и агрегирования с другими мицеллами и тем плотнее структура формируемого молочного сгустка [1].

Молокосвертывающий фермент, обладающий высоким уровнем общей ПА, кроме расщепления каппа-казеина способен расщеплять казеины, образующие каркас белкового сгустка, что приводит к ослаблению структуры молочного сгустка, снижению его способности к синерезису и потере части белкового материала сгустка из-за его дробления при механической обработке. Также часть белкового материала сгустка может быть потеряна в форме водорастворимых пептидов, образовавшихся при расщеплении казеинов [3]. Негативный эффект от высокой ПА может проявиться и на стадии созревания сыра, что ведет к образованию излишней пластичной, мажущейся консистенции и к появлению сильного горького вкуса [4]. Поэтому результирующим критерием, характеризующим качество МФ, является соотношение МСА/ПА [2].

Длительное время, до конца 1980-х годов, самым лучшим молокосвертывающим ферментом был сычужный фермент (СФ), выделяемый из желудков телят. Но такой фермент имеет существенные недостатки в виде высокой стоимости и ограниченности сырьевой базы для производства, не позволяющей полностью обеспечить СФ производство сыров в его современных масштабах. В качестве заменителя СФ в сыродельной промышленности применяли кислые протеазы, близкие по специфичности действия к СФ — пепсины КРС, свиней, кур их смеси с СФ (комбинированные препараты), кислые протеазы микроскопических грибов и бактерий. Такие заменители имели более высокий уровень общей протеолитической активности в сравнении с СФ со всеми следующими из этого недостатками [5,6].

Ситуация с дефицитом СФ и связанные с этим проблемы с использованием заменителей СФ были решены к началу 1990-х годов с началом промышленного производства МФ на основе рекомбинантных химозинов. Такие МФ позволили обеспечить столь же высокий выход сыров и столь же высокое их качество, как и при использовании СФ [7].

Анализ состава российского рынка МФ показывает, что ферменты животного, рекомбинантного и микробного происхождения представлены на рынке примерно в равных долях. При этом среди МФ животного происхождения пепсины и препараты комбинированного состава спросом не пользуются [8]. На мировом рынке МФ доля МФ микробного происхождения более чем в два раза превышает долю МФ животного происхождения [9].

Одной из причин, объясняющей высокий спрос на МФ микробного происхождения, является их низкая стоимость. Стоимость такого МФ в пересчете на единицы МСА примерно в 3 раза ниже, чем у СФ, и примерно в 1,5 раза ниже, чем у МФ на основе рекомбинантных химозинов [10]. Однако

низкая стоимость не является основным критерием, определяющим популярность МФ микробного происхождения у сыроделов. На выбор в пользу микробных МФ влияет качество сыров, выпускаемых с их применением.

С момента начала промышленного выпуска МФ микробного происхождения технология их производства была усовершенствована. Было использовано три подхода для снижения ПА и повышения соотношения МСА/ПА для МФ микробного происхождения:

- селекция штаммов (например, препарат Meito Microbial Rennet) [5];
- улучшенная очистка (например, препараты Fromase, Hannilase) [11];
- генная инженерия (препарат Marzyme) [12].

С другой стороны, произошло совершенствование сыродельного оборудования и технологий сыроделия, позволивших нивелировать недостатки микробных МФ на стадии получения и обработки молочного сгустка. В настоящее время в сыродельной отрасли на смену открытым сыродельным ваннам пришли закрытые сыроизготовители, продолжительность операций в которых задается программой. Если ранее в открытой ванне сыродел имел свободный доступ к сгустку и мог определять момент формирования молочного геля по его консистенции, то в закрытых сыроизготовителях такая возможность отсутствует. Для контроля процесса формирования молочного сгустка в практике современного сыроделия используются приборы, основанные на разных физических принципах [13]. Контроль процесса свертывания позволяет точно определять момент приобретения сгустком оптимальной плотности, что обеспечивает высокую скорость синерезиса (т. е. сокращение продолжительности техпроцесса) и минимальные потери сухих веществ молока в сыворотку (т. е. высокий выход сыра) [1].

Целью настоящего исследования является повышение эффективности производства мягких сыров за счет обоснованного выбора молокосвертывающего фермента по оптимальному соотношению его стоимости к выходу и качеству готового продукта.

## 2. Материалы и методы

### 2.1 Материалы

В исследованиях использовали коровье молоко одного поставщика-производителя — ООО «АгриВолга» (Ярославская область, Угличский район, д. Бурмасово).

При производстве сыров использовали молочнокислую закваску на основе бактериальных концентратов БК-Углич-№ 4 и БК-Углич-№ 5А (ФГБНУ «Экспериментальная биофабрика», Россия), состоящую из набора культур *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis* с предварительной активизацией культуры на стерилизованном молоке. Для свертывания молока использовали МФ марок:

- Marzyme® МТ 2200 на основе кислой протеазы, выделенной от *R. miehei*. Номинальная МСА 2200 IMCU/г (Danisco SAS, Франция);
- Naturen® Extra 220 NB, представляющий собой натуральный сычужный фермент, выделенный из желудков телят с номинальным содержанием химозина не менее 95%, пепсина — не более 5%. Номинальная МСА 220 IMCU/см<sup>3</sup> (Chr Hansen A/S, Дания);
- Chy-max® М 1000 на основе рекомбинантного химозина верблюда. Номинальная МСА 1000 IMCU/см<sup>3</sup> (Chr Hansen A/S, Дания).

2.2 Методы

2.2.1 Методы исследования свойств молокосвертывающих ферментов

Определение общей протеолитической активности проводилось по ГОСТ 34430–2018<sup>1</sup>, применительно к слабокислым протеазами (при pH 5,3).

2.2.2 Методы исследования свойств молока, сыворотки и сыров

Активную кислотность молока, сыворотки и сыров определяли на pH-метре pH-150МИ (ООО «Измерительная техника», Россия). Активную кислотность сыров в процессе самопрессования определяли путем погружения потенциометрических электродов pH-метра в сырную массу. Активную кислотность сыра после посолки определяли в суспензии сыра, для приготовления которой 10 г сыра растирали в ступке с 10 см<sup>3</sup> деионизированной воды.

Определение массовой доли влаги в молоке и сырах проводили методом высушивания при температуре 102 ± 2 °C по российскому государственному стандарту ГОСТ 3626–73<sup>2</sup>. Определение массовой доли влаги в сыворотке проводили методом по ГОСТ 3626–73 (п. 2.3, применительно к молоку).

Определение массовой доли общего белка в молоке и сыворотке — методом Кьельдаля по российскому государственному стандарту ГОСТ 23327–98<sup>3</sup>.

Определение массовой доли общего белка в сырах — методом Кьельдаля по российскому государственному стандарту ГОСТ Р 54662–2011<sup>4</sup>.

Определение массовой доли жира в молоке и сыворотке — кислотным методом по российскому государственному стандарту ГОСТ 5867–90<sup>5</sup>.

Определение массовой доли жира в сырах — кислотным методом по российскому государственному стандарту ГОСТ Р 55063–2012<sup>6</sup>.

Определение молекулярно-массового распределения растворимых белковых веществ в сыворотке проводили методом гель-фильтрации высокого разрешения с использованием колонки Superose 12 10/300 GL (GE Healthcare, Швеция). Элюент — водный раствор 0,05 М Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> + 0,15 М NaCl, скорость подачи элюента — 0,5 мл/мин; длина волны детектора — 280 нм. Калибровку колонки проводили по времени выхода белковых веществ с известной молекулярной массой: IgG (180 кДа), альдолаза (158 кДа), BSA (69 кДа), овоальбумин (43 кДа), β-Lg (36,0 кДа), α-La (14,4 кДа), цитохром С (12,3 кДа), триптофан (0,204 кДа). Калибровочный график был построен на основе логарифмической регрессионной модели [14]. Для определения молекулярно-массового распределения растворимых белковых веществ сыворотки отбирали сыворотку в конце процесса обработки зерна, фильтровали на бумажном фильтре, а затем на фильтре из ацетата целлюлозы с размером пор 0,45 мкм (Владипор, Россия).

Выход сыров рассчитывали по формулам, приведенным в [15].

<sup>1</sup> ГОСТ 34430–2018 Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности. М.: Стандартинформ, 2018. — 12 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 3626–73 Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. М.: Стандартинформ, 2009. — 11 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 23327–98 Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка. М.: Стандартинформ, 2009. — 8 с.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 54662–2011 Сыры и сыры плавленые. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля. М.: Стандартинформ, 2012. — 16 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 5867–90 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. М.: Стандартинформ, 2009. — 12 с.

<sup>6</sup> ГОСТ Р 55063–2012 Сыры и сыры плавленые. Правила приемки, отбор проб и методы контроля. М.: Стандартинформ, 2013. — 28 с.

Фактический выход сыра рассчитывали по формуле (1):

$$B_{\phi} = \frac{M_{сыра}}{M_{мол} + M_{закв}} \quad (1)$$

где  $B_{\phi}$  — фактический выход сыра, %;  
 $M_{сыра}$  — масса сыра, кг;  
 $M_{мол}$  — масса молока, использованного для производства сыра, кг;  
 $M_{закв}$  — масса закваски, использованной для производства сыра, кг.

Долю жира молока, перешедшего в сыр, рассчитывали по формуле (2):

$$M_{жс} = \frac{M_{сыра} \cdot \%Ж_{с}}{M_{мол} \cdot \%Ж_{мол}} \quad (2)$$

где  $M_{жс}$  — доля жира молока, перешедшего в сыр, %;  
 $\%Ж_{с}$  — массовая доля жира в сыре, %;  
 $\%Ж_{мол}$  — массовая доля жира в молоке, использованном для производства сыра, %.

2.2.3 Методы контроля процесса формирования молочного сгустка

С целью получения сравнимых результатов момент готовности сгустка к разрезке определяли в онлайн-режиме с помощью измерительной системы, действующей на основе метода горячей проволоки (Hot-Wire method) [16,17].

2.2.4. Процесс производства сыров

Производили мягкий сыр типа «Любительский» с содержанием жира в сухом веществе 50%. Технологический регламент производства сыра приведен в Таблице 1.

Таблица 1

Технологический регламент производства сыра

Стадия технологического процесса	Параметры процесса
Массовая доля жира молочной смеси	2,9 ± 0,1%
Режим пастеризации молока	75 ± 1 °C; 20 сек
Доза внесения хлористого кальция	Из расчета 35 г безводной соли на 100 кг молока
Доза молочнокислой закваски	1,5%
Кислотность молока перед свертыванием	6,40 ± 0,05 ед. pH
Доза МФ	3000 IMCU / 100 кг молока
Температура свертывания молока и обработки зерна	31 ± 1 °C
Продолжительность свертывания	30 ± 10 мин
Размер граней зерна при разрезке	20 ± 2 мм
Продолжительность разрезки и постановки зерна	7,5 ± 2,5 мин
Продолжительность выдержки зерна после разрезки	10 ± 1 мин
Продолжительность обработки зерна	25 ± 5 мин
Продолжительность самопрессования	180 ± 10 мин
Температура сырной головки в конце самопрессования	22 ± 2 °C
Активная кислотность сыра после прессования	5,80 ± 0,05 ед. pH

Примечание: В таблице приведены номинальные продолжительности стадий техпроцесса ± допустимые отклонения.

После завершения самопрессования свежий сыр солили погружением в 18%-й раствор соли в течение 1 ч при температуре 4 ± 2 °C. После посолки сыры были обсушены в течение ночи (14–16 ч) при температуре 4 ± 2 °C и относительной влажности 85 ± 5%, а затем упакованы под вакуумом (давление (0,95–0,97) · 10<sup>-5</sup> Па; продолжительность вакуумирования 17 с) в пакеты из полимерной пленки Амивак СН-В (Атлантис-Пак, Россия). Упакованные сыры хранили при температуре 3 ± 1 °C.

2.2.5 Методы статистического анализа

Математическая обработка данных проводилась с применением программных пакетов Microsoft Excel и Statsoft Statistica (v.5.5). Оценку влияния категориального фактора «тип МФ» на переменные отклика проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) методом множественных сравнений Шеффе [18].

3. Результаты и обсуждение

3.1 Молокоосвертывающая и протеолитическая активность МФ

Результаты измерения протеолитической активности и значения МСА/ПА, рассчитанные исходя из номинальной активности МФ, приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Молокоосвертывающая и общая протеолитическая активность МФ

Марка МФ	Молокоосвертывающая активность (МА), номинальная, IMCU/г	Протеолитическая активность (ПА), ед. ПА/г	Соотношение МСА/ПА, IMCU/ед. ПА
Marzyme MT 2200	2200	70,90	31
Naturen Extra 220	193*	0,97	227
Chy-max M 1000	909**	0,68	1470

Примечание: молокоосвертывающая активность препаратов Naturen Extra и Chy-max пересчитана из номинальной активности в 1 см<sup>3</sup> на номинальную активность в 1 г, исходя из плотности данных препаратов (г/см<sup>3</sup>):

\* измеренная плотность препарата Naturen Extra 220 равна 1,134 г/см<sup>3</sup>;

\*\* измеренная плотность препарата Chy-max M 1000 равна 1,101 г/см<sup>3</sup>.

Из представленных в Таблице 2 данных следует, что имеют место существенные отличия по величине специфической протеолитической активности (ПА) между МФ разного происхождения, что сказывается на величине соотношения МСА/ПА. Показатель МСА/ПА, характеризующий степень специфичности действия МФ в отношении каппа-казеина, у препарата Chy-max M 1000 в ~7 раз выше, чем у препарата Naturen Extra 220, и в ~50 раз выше, чем у препарата Marzyme MT 2200. Исходя из определенной в результате исследований величины критерия МСА/ПА, следует ожидать, что продолжительность свертывания молока препаратами будет следующей: Chy-max M < Naturen Extra < Marzyme. При этом, наименьшие потери сухих веществ молока в сыворотку должны быть у вариантов сыров, производимых с препаратом Chy-max M, а наибольшие потери — у вариантов сыров, производимых с препаратом Marzyme.

3.2 Процесс свертывания молока

Для свертывания молока готовили рабочие растворы МФ с концентрацией 5,0 IMCU/см<sup>3</sup>. Доза внесения рабочих растворов МФ была рассчитана для достижения концентрации МФ равной 3000 IMCU на 100 кг перерабатываемого молока. Молоко с внесенным раствором МФ перемешивали в течение 2 мин, после в продукт погружали датчики измерительной системы. Момент завершения перемешивания считается моментом начала свертывания.

На Рисунке 1 представлены графики изменений модуля упругости (G', усл. ед.) молока в сыродельной ванне от момента начала свертывания до момента формирования пригодного к разрезке молочного стустка. Конечные точки графиков соответствуют моментам готовности стустка к разрезке. Момент завершения свертывания (готовность стустка к разрезке) подтверждался квалифицированным сыроделом органолептической пробой на излом стустка.

Готовый к разрезанию стусток при подъеме шпателем давал излом с острыми краями с выделением прозрачной желтовато-зеленой сыворотки.

На графиках, приведенных на Рисунке 1, заметны различия в динамике свертывания молока МФ разного типа. Фактическая продолжительность свертывания молока разными препаратами при одинаковой дозе внесения (в единицах IMCU) была следующей: Marzyme < Naturen Extra < Chy-max M. Полученные данные отличаются от теоретически ожидаемого результата, при котором наименьшее время свертывания должно быть достигнуто при свертывании молока препаратом Chy-max M, обладающим наибольшим показателем МСА/ПА.

Полученный результат объясняется отличием реальных условий свертывания от условий, при которых определяется молокоосвертывающая активность МФ в единицах IMCU: при температуре 32 °C и pH 6,50 (для МФ микробного происхождения — по ГОСТ ISO 15174–2014<sup>7</sup>, для говяжьих сычужных ферментов — по ГОСТ ISO 11815–2015<sup>8</sup>). В процессе выработки сыров свертывание проводилось в диапазоне температур 31,0±0,5 °C и pH 6,39±0,02. Изменение условий ферментативной реакции повлекло за собой изменение активности МФ.

Авторами статьи [19] при исследовании зависимости активности МФ на основе протеазы *R. miehei*, СФ и химозина верблюда установлено, что молокоосвертывающая активность МФ разного типа зависит от температуры и pH. В частности, продолжительность свертывания молока исследованными МФ увеличивалась при снижении температуры свертывания от 38 °C до 26 °C и сокращалась при снижении pH от 6,5 до 6,2. Снижение pH в большей степени повышает активность МФ на основе протеазы *R. miehei* и СФ, чем химозина верблюда. При уровне кислотности молока ниже pH 6,4, во всем диапазоне исследованных температур, отмечалась меньшая продолжительность свертывания молока МФ на основе протеазы *R. miehei* и СФ, чем химозином верблюда, при равных дозах внесения ферментов.

Также, следует отметить различия в плотности стустка на момент его готовности к разрезке, при использовании МФ разного типа (Рисунок 1). Подобные результаты совпадают с результатами исследований по данной теме других ученых.

В работе [16] было установлено, что плотность стустка в момент достижения кондиционной плотности (модуля упругости) зависела от типа МФ, использованного при изготовлении сыра. Soodam et al [20], исследовавшие влияние типа и дозы МФ на показатели сыра Чеддер, установили, что при использовании разных типов и доз МФ (препарат Hannilase на основе протеазы *R. miehei* и препарат Chy-max M) величина модуля упругости стустков на момент готовности стустка к разрезке отличалась. Причиной этого было различие в микроструктуре стустков, получаемых с использованием разных типов и доз МФ.

Alinovi et al [21], контролировавшие свертывание молока препаратами Naturen и Chy-max M с помощью прибора Formagraph (Foss, Дания), из-за различий в величине модуля упругости стустка в конце свертывания дополнительно контролировали момент готовности стустка традиционным методом с участием мастера-сыродела.

<sup>7</sup> ГОСТ ISO 15174–2014 Молоко и молочные продукты. Микробные коагулянты. Определение общей молокоосвертывающей активности. М.: Стандартинформ, 2015. — 10 с.

<sup>8</sup> ГОСТ ISO 11815–2015 Молоко. Определение общей молокоосвертывающей активности говяжьего сычужного фермента. М.: Стандартинформ, 2015. — 10 с.

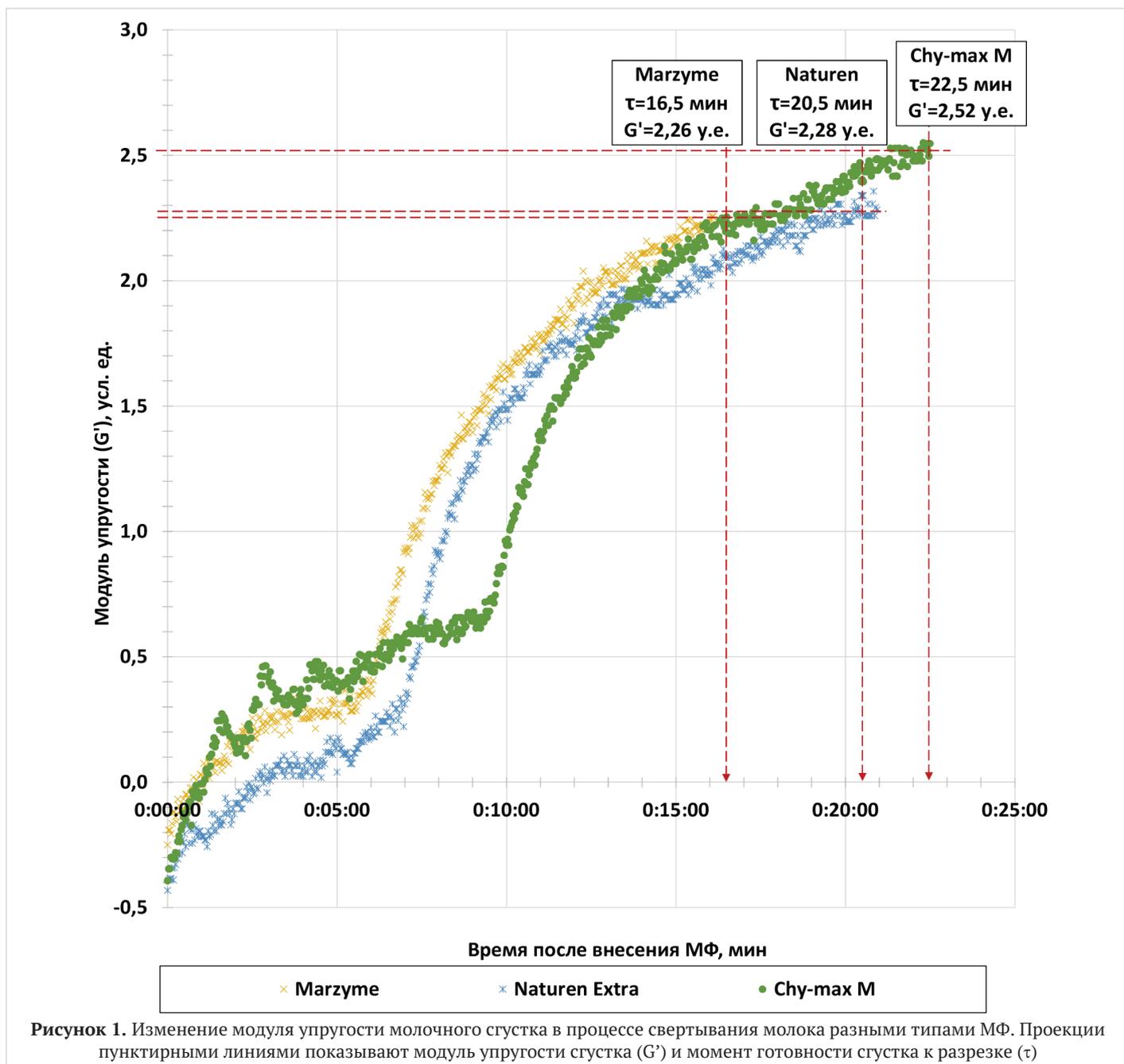


Рисунок 1. Изменение модуля упругости молочного сгустка в процессе свертывания молока разными типами МФ. Проекция пунктирными линиями показывают модуль упругости сгустка (G') и момент готовности сгустка к разрезке (τ)

### 3.3 Обработка сгустка

В процессе изготовления сыров исследовали следующие показатели:

- продолжительность отдельных стадий процесса обработки в сыродельной ванне;
- динамика изменения активной кислотности молока и молочного сгустка.

Продолжительность стадий обработки сгустка и сырного зерна в сыродельной ванне определяли по моменту достижения требуемой плотности сгустка и сырного зерна, оцениваемому мастером-сыроделом.

Фактические значения показателей технологического процесса на стадии изготовления сыра в ванне приведены в Таблице 3.

При анализе полученных данных (Таблица 3) при помощи метода множественных сравнений Шеффе было установлено, что отсутствует статистически значимое влияние ( $p < 0,05$ ) типа МФ в использованной дозировке на продолжительность свертывания молока, а также на продолжительность отдельных этапов процесса обработки зерна в сыродельной ванне.

Таблица 3

#### Показатели технологического процесса на стадии изготовления сыра в ванне

Параметр технологического процесса	Значение параметра для сыров, произведенных с МФ марки		
	Marzyme MT 2200	Naturen Extra 220	Chy-max M 1000
Активная кислотность перед свертыванием, ед. рН	6,39±0,02	6,39±0,02	6,39±0,02
Температура свертывания, °С	31,50±0,40	31,20±0,26	31,50±0,26
Продолжительность свертывания, мин	16,0±2,0	19,0±2,7	17,0±1,7
Продолжительность разрезки и постановки зерна*, мин	10	10	10
Продолжительность обработки зерна, мин	25,0±2,7	20,7±2,5	20,7±2,9
Общая продолжительность обработки**, мин	35,0±2,7	30,7±2,5	30,7±2,9

Примечание:

\* Продолжительность разрезки и постановки зерна во всех вариантах сыров проводилась одинаковое время.

\*\* Время от момента разрезки зерна до момента завершения обработки. Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение».

Ранее проведенными исследованиями установлено, что тип используемого МФ влияет на структуру и механические свойства молочного сгустка (плотность, упругость), от которых зависят степень дробления сгустка при обработке и количество сухих веществ сгустка, теряемых в подсырную сыворотку [6,20]. Также молокосвертывающий фермент на стадии обработки зерна в ванне способен проявлять протеолитическое действие в отношении казеинов с образованием растворимых пептидов, которые переходят в подсырную сыворотку. В особенности это касается МФ микробного происхождения, которые обладают высокой протеолитической активностью [3,4].

Для установления влияния типа использованного МФ на количество сухих веществ молока, теряемых в сыворотку, оценивали показатели состава сыворотки (Таблица 4).

Таблица 4

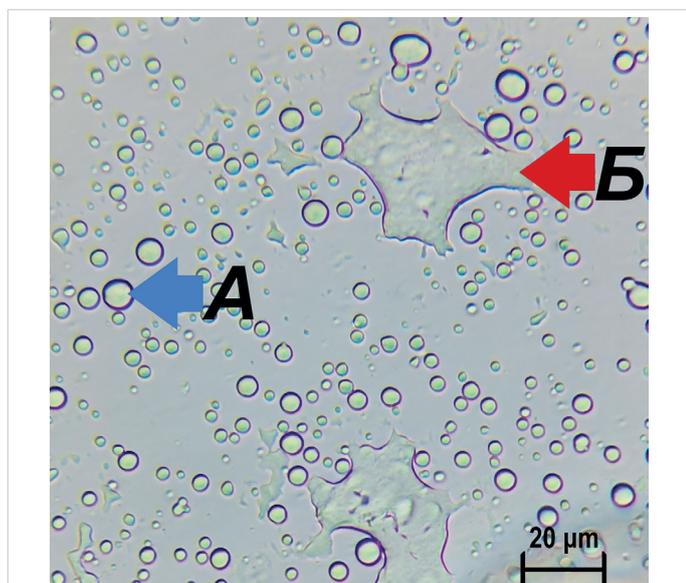
**Показатели состава сыворотки**

Показатель состава сыворотки	Значение показателя для сыворотки от сыров, произведенных с МФ марки		
	Marzyme MT 2200	Naturen Extra 220	Chy-max M 1000
Массовая доля жира, %	0,30±0,06	0,30±0,05	0,30±0,08
Массовая доля сухого вещества, %	7,28±0,13	7,32±0,07	7,26±0,08
Массовая доля общего белка, %	0,68±0,08	0,52±0,03	0,53±0,08

Примечание: Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение».

При анализе полученных данных (Таблица 4) при помощи метода множественных сравнений Шеффе было установлено, что отсутствует статистически значимое влияние ( $p < 0,05$ ) типа МФ в использованной дозировке на содержание жира и сухого вещества сыворотки. Различие по содержанию общего белка сыворотки в варианте с МФ Marzyme в сравнении с другими вариантами МФ находится на грани статистической достоверности ( $p < 0,10$ ). Это может свидетельствовать о меньшей механической прочности сырного сгустка, полученного с использованием МФ Marzyme. Такой сгусток в большей степени подвержен дроблению с потерями сухого вещества при механической обработке. Были проведены дополнительные исследования состава сыворотки.

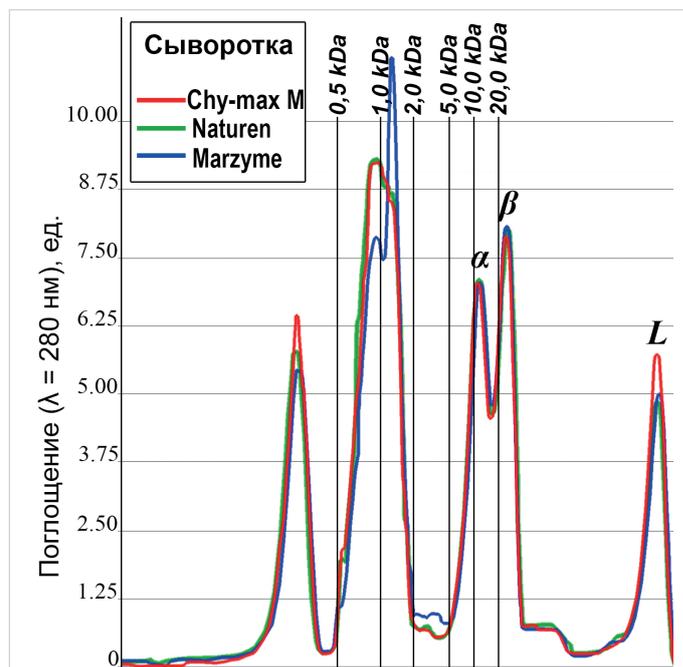
На Рисунке 2 приведен типичный микропрепарат образца подсырной сыворотки, полученной от одного из образцов сыров, произведенных в процессе работы.



**Рисунок 2.** Микропрепарат подсырной сыворотки, содержащей микрочастицы жира и белка: А) жировые шарики, Б) микрочастицы сгустка («сырная пыль»)

В микропрепарате подсырной сыворотки, представленном на Рисунке 2, наряду с жировыми шариками видны микрочастицы сгустка (т. н. «сырная пыль»). Частицы «сырной пыли» образуются в результате дробления сырного сгустка в процессе его механической обработки, они нерастворимы и могут быть отделены центрифугированием или фильтрацией. Показатель «общий белок» сыворотки включает в себя как белок, находящийся в составе «сырной пыли», так и растворимые белковые вещества сыворотки (липопротеины, фосфолипиды, казеины, сывороточные белки (альбумины, глобулины и др.), протеозо-пептоны, пептиды и свободные аминокислоты).

На Рисунке 3 показаны хроматограммы молекулярно-массового распределения растворимых белковых веществ образцов сыворотки, полученной от сыров, произведенных с разными типами МФ.



**Рисунок 3.** Молекулярно-массовое распределение растворимых белковых веществ сыворотки, полученной от сыров, произведенных с разными типами МФ: L — белковая фракция, содержащая липопротеины, фосфолипиды и казеины, α — фракция альфа-лактоальбумина, β — фракция бета-лактоглобулина (идентификация фракций по данным [22])

Из хроматограмм, приведенных на Рисунке 3, видно, что молекулярно-массовое распределение белковых веществ сыворотки от сыров, произведенных с Marzyme, отличается от молекулярно-массового распределения в образцах сыворотки от сыров, произведенных с МФ Naturen и Chy-max M. При этом молекулярно-массовое распределение белковых веществ в сыворотке от МФ Naturen и Chy-max идентично молекулярно-массовому распределению белковых веществ молочной сыворотки, выделенной путем кислотной коагуляции белков молока (хроматограмма не приведена, чтобы не загромождать график). Это говорит о наличии большего протеолитического действия Marzyme на белки молока на стадии производства сыра в ванне в сравнении с другими вариантами МФ. Большой уровень протеолитической активности Marzyme (см. Таблицу 2) может быть причиной получения более слабого сгустка и больших потерь сухих веществ сгустка в сыворотку.

Показатели свежих сыров (после обсушки, перед упаковкой) представлены в Таблице 5.

Таблица 5

Показатели свежих сыров

Показатель состава сыров	Значение показателя для сыров, произведенных с МФ марки		
	Marzyme MT 2200	Naturen Extra 220	Chy-max M 1000
Кислотность, ед. рН	5,18±0,05	5,17±0,03	5,20±0,05
Массовая доля сухого вещества, %	44,85±0,24	44,45±0,32	44,29±0,44
Массовая доля жира, %	21,27±0,27	21,27±0,70	21,23±0,64
Фактический выход сыра, %	14,91±0,33	14,96±0,20	14,97±0,19
Доля жира молока, перешедшего в сыр, %	87,64±2,74	87,93±3,81	87,77±1,89

Примечание: Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение».

При анализе полученных данных (Таблица 5) при помощи метода множественных сравнений Шеффе было установлено, что отсутствовало статистически достоверное ( $p < 0,05$ ) влияние типа МФ, использованного для производства сыра при выбранной дозе внесения, на уровень кислотности, массовую долю жира и сухого вещества свежих сыров. Выход сыров также не отличался, что соотносится с данными по отсутствию различий в потерях сухого вещества в сыворотку на стадии изготовления сыров (Таблица 4). Полученные результаты можно объяснить в том числе низкой интенсивностью и короткой продолжительностью термомеханической обработки молочных сгустков при производстве мягких сыров. Вследствие этого во всех вариантах сыров практически не было дробления сгустка и потерь сухих веществ сгустка в сыворотку.

4. Заключение

На основании полученных результатов исследований можно сделать следующие выводы:

- современные МФ вне зависимости от типа (животного, микробного происхождения или рекомбинантные)

имеют высокую степень активности и специфичности, что позволяет обеспечить стабильное время получения сгустка с минимальной вариацией по времени;

- при изготовлении сыров из зрелого молока ( $pH \leq 6,4$ ) использование МФ микробного происхождения позволяет сократить продолжительность свертывания молока в сравнении с СФ и МФ на основе рекомбинантных химозинов;
- современные МФ микробного происхождения обладают умеренным уровнем общей протеолитической активности, что позволяет при их использовании в производстве сыров достигнуть низких потерь сухого вещества молочного сгустка в сыворотку и получить такой же выход сыров, как и при использовании традиционного СФ или МФ на основе рекомбинантных химозинов;
- отсутствует существенное влияние типа используемого МФ на показатели мягких сыров и выход сыра, что связано в т. ч. низкой интенсивностью и короткой продолжительностью термомеханической обработки молочных сгустков при производстве мягких сыров;
- микробные МФ, выпускаемые в настоящее время, имеют высокое качество при более низкой цене в сравнении с СФ и рекомбинантными химозинами и могут быть рекомендованы как экономически-эффективная замена традиционному СФ и рекомбинантным химозинам при производстве мягких и свежих сыров.

Сделанные в настоящей статье выводы об отсутствии негативных последствий от использования МФ, обладающих высоким уровнем неспецифической ПА, относятся только к этапу обработки сгустка в ванне и полученным свежим сырам. Такое негативное действие может проявиться в течение срока хранения сыров в виде дефектов их вкуса и консистенции. С целью проверки данного предположения, произведенные в процессе описанного эксперимента сыры были заложены на хранение. Результаты эксперимента в стадии хранения, планируется опубликовать в отдельной статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Cheese: Enzymatic Coagulation of Milk. Chapter in a book: Fundamentals of Cheese Science, 2<sup>nd</sup> Ed. New York: Springer, 2017.
2. Jaros, D., Rohm, H. (2017). Rennets: Applied Aspects. Chapter in a book: Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. (Ed. by McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D. and David W. Everett), 4<sup>th</sup> Ed. — Vol. 1. Elsevier: Academic Press, 2017.
3. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K.B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter in a book: Technology of cheesemaking. (ed. Law B. A., Tamime A. Y.), 2<sup>nd</sup> Ed. Chichester: Blackwell Publishing Ltd., 2010.
4. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2010). The effect of coagulant type on yield and sensory properties of semihard cheese from laboratory-, pilot- and commercial-scale productions. *International Journal of Dairy Technology*, 63(3), 370–380. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00598.x>
5. Garg, S.K., Johri, B.N. (1994). Rennet: current trends and future research. *Food Reviews International*, 10(3), 313–355. <https://doi.org/10.1080/87559129409541005>
6. Garcia, H.S., López-Hernandez, A., Hill, C.G. (2017). Enzyme Technology — Dairy Industry Applications. *Comprehensive Biotechnology* (Ed. Moo-Young M.) 3<sup>rd</sup> Ed. Pergamon, 2017.
7. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>
8. Абрамов, Д.В., Мягконов, Д.С., Мордвинова, В.А., Делицкая, И.Н., Овчинникова, Е.Г. (2018). Современные тенденции рынка молокосвертывающих ферментных препаратов. *Сыроделие и маслоделие*, 6, 7–11.
9. Мягконов, Д.С., Абрамов, Д.В., Мордвинова, В.А., Овчинникова, Е.Г., Муничева, Т.Э. (2019). Рекомбинантные молокосвертывающие ферменты — использование в сыроделии. Часть II. Технологические особенности применения рекомбинантных химозинов. *Сыроделие и маслоделие*, 6, 16–20. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-6-16-20>
10. Мягконов, Д.С., Абрамов, Д.В., Мордвинова, В.А., Муничева, Т.Э., Овчинникова, Е.Г. (2019). Обзор российского рынка молокосвертывающих препаратов и перспективы его развития. *Сыроделие и маслоделие*, 2, 11–13. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-2-11-13>
11. Dekker, P. (2019). Dairy Enzymes. Chapter in a book: Industrial Enzyme Applications. (Ed. by Vogel A. and May O.), 1<sup>st</sup> Ed. — Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2019.
12. Trono, D. (2019). Recombinant Enzymes in the Food and Pharmaceutical Industries. Chapter in a book: Advances in Enzyme Technology. (Ed. by Singh R. S., Singhania R. R., Pandey A., Larroche C.). Elsevier B. V., 2019.
13. O'Callaghan, D. J., O'Donnell, C. P., Payne, F. A. (2002). Review of systems for monitoring curd setting during cheesemaking. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 65–74. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00043.x>
14. Visser, S., Slangen, C.J., Robben, A.J.P.M. (1992). Determination of molecular mass distributions of whey protein hydrolysates by high-permance size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 599(1–2), 205–209. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)85474-8](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)85474-8)
15. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Cheese Yield. Chapter in a book: Fundamentals of Cheese Science (2<sup>nd</sup> Edition). New York: Springer, 2017.
16. Смыков, И.Т. (2018). Определение момента готовности молочного сгустка к разрезке при производстве сыров. *Пищевые системы*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-12-20>
17. Smykov, I.T. (2019). Self segmenting of rennet induced milk gel in cheesemaking tank. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 591–600. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12650>
18. Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. (1998). Статистический анализ данных на компьютере. — М.: ИНФРА-М, 1998.

19. Абрамов, Д.В., Мягконосов, Д.С., Овчинникова, Е.Г., Муничева, Т.Э. (22–24 июня 2021 года). *Различия в специфике молокосвертывающей активности МФ разного происхождения*. Сборник материалов международной научно-практической конференции «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства», Углич: Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 2021

20. Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-

fat cheddar cheese during ripening. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 665–686. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250>

21. Alinovi, M., Cordioli, M., Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Monti, L. et al. (2018). Effect of fermentation-produced camel chymosin on quality of crescenza cheese. *International Dairy Journal*, 84, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.001>

22. Morr, C.V., Ha, E.Y.W. (1993). Whey Protein Concentrates and Isolates: Processing and Functional Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 431–476. <https://doi.org/10.1080/10408399309527643>

## REFERENCES

1. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Cheese: Enzymatic Coagulation of Milk. Chapter in a book: *Fundamentals of Cheese Science*, 2<sup>nd</sup> Ed. New York: Springer, 2017.

2. Jaros, D., Rohm, H. (2017). Rennets: Applied Aspects. Chapter in a book: *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. (Ed. by McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D. and David W. Everett), 4th Ed. — Vol. 1. Elsevier: Academic Press, 2017.

3. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K.B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter in a book: *Technology of cheesemaking*. (ed. Law B. A., Tamime A. Y.), 2nd Ed. Chichester: Blackwell Publishing Ltd., 2010.

4. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2010). The effect of coagulant type on yield and sensory properties of semihard cheese from laboratory-, pilot- and commercial-scale productions. *International Journal of Dairy Technology*, 63(3), 370–380. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00598.x>

5. Garg, S.K., Johri, B.N. (1994). Rennet: current trends and future research. *Food Reviews International*, 10(3), 313–355. <https://doi.org/10.1080/87559129409541005>

6. Garcia, H.S., López-Hernandez, A., Hill, C.G. (2017). Enzyme Technology — Dairy Industry Applications. *Comprehensive Biotechnology* (Ed. Moo-Young M.) 3<sup>rd</sup> Ed. Pergamon, 2017.

7. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>

8. Abramov, D. V., Myagkonosov, D. S., Mordvinova, V. A., Delitskaya, I. N., Ovchinnikova, E. G. (2018). Current market trends of milk-coagulating enzyme preparations. *Cheesemaking and Buttermaking*, 6, 7–11. (In Russian)

9. Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Mordvinova, V. A., Ovchinnikova, E. G., Municheva, T. E. (2019). Recombined milk clotting enzymes — application in cheese making. Part II. Technological issues of using recombinant chymosins. *Cheesemaking and Buttermaking*, 2, 16–20. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-6-16-20> (In Russian)

10. Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Mordvinova, V. A., Municheva, T. E., Ovchinnikova, E. G. (2019). Review of the Russian market of milk clotting preparations and prospects of its development. *Cheesemaking and Buttermaking*, 2, 11–13. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-2-11-13>

11. Dekker, P. (2019). Dairy Enzymes. Chapter in a book: *Industrial Enzyme Applications*. (Ed. by Vogel A. and May O.), 1st Ed. — Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2019.

12. Trono, D. (2019). Recombinant Enzymes in the Food and Pharmaceutical Industries. Chapter in a book: *Advances in Enzyme Technology*. (Ed. by Singh R. S., Singhanian R. R., Pandey A., Larroche C.). Elsevier B. V., 2019.

13. O'Callaghan, D. J., O'Donnell, C. P., Payne, F. A. (2002). Review of systems for monitoring curd setting during cheesemaking. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 65–74. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00043.x>

14. Visser, S., Slangen, C.J., Robben, A.J.P.M. (1992). Determination of molecular mass distributions of whey protein hydrolysates by high-permeance size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 599(1–2), 205–209. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)85474-8](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)85474-8)

15. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). *Cheese Yield*. Chapter in a book: *Fundamentals of Cheese Science* (2nd Edition). New York: Springer, 2017.

16. Smykov, I. T. (2018). Milk curd cutting time determination in cheesemaking. *Food systems*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-12-20> (In Russian)

17. Smykov, I.T. (2019). Self segmenting of rennet induced milk gel in cheesemaking tank. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 591–600. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12650>

18. Tyurin, Yu., N., Makarov, A. A. (1998). Statistical analysis of data on a computer. (Ed. by Figurnov V. E.). Moscow: INFRA-M, 1998.

19. Abramov, D. V., Myagkonosov, D. S., Ovchinnikova, E. G., Municheva, T. E. (June 22–24, 2021). *Differences in specific milk-clotting activity of milk-clotting enzymes of different origin*. Collection of scientific articles of international scientific and practical conference «Milk and milk products: actual problems of production». Uglich. All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking — Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 2021.

20. Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-fat cheddar cheese during ripening. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 665–686. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250-5>

21. Alinovi, M., Cordioli, M., Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Monti, L. et al. (2018). Effect of fermentation-produced camel chymosin on quality of crescenza cheese. *International Dairy Journal*, 84, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.001>

22. Morr, C.V., Ha, E.Y.W. (1993). Whey Protein Concentrates and Isolates: Processing and Functional Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 431–476. <https://doi.org/10.1080/10408399309527643>

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

#### Принадлежность к организации

**Мягконосов Дмитрий Сергеевич** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом прикладной биохимии и экзимологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия  
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19  
Тел.: +7-915-973-63-13  
E-mail: mds-mail@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4443-7573>  
\* автор для контактов

**Смыков Игорь Тимофеевич** — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия  
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19  
Тел.: +7-48532-9-81-21  
E-mail: i\_smykov@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-3662>

**Абрамов Дмитрий Васильевич** — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления биохимических исследований по сыроделию и маслоделию, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия  
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19  
Тел.: +7-910-970-42-97  
E-mail: uglich.dva@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8326-1932>

### AUTHOR INFORMATION

#### Affiliation

**Dmitry S. Myagkonosov** — candidate of technical sciences, leading researcher, head of research department in applied biochemistry and enzymology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking  
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia  
Tel.: +7-915-973-63-13  
E-mail: mds-mail@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4443-7573>  
\* corresponding author

**Igor T. Smykov** — doctor of technical sciences, chief research scientist, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking  
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia  
Tel.: +7-48532-9-81-21  
E-mail: i\_smykov@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-3662>

**Dmitry V. Abramov** — candidate of biological sciences, leading researcher, head of biochemical research in cheesemaking and buttermaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking  
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia  
Tel.: +7-910-970-42-97  
E-mail: uglich.dva@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8326-1932>

**Делицкая Ирина Николаевна** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел сыроделия, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия  
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19  
Tel.: +7-48532-98-1-28  
E-mail: irina\_delickaya@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-4050>

**Irina N. Delitskaya** — candidate of technical sciences, leading researcher, department of cheesemaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking  
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia  
Tel.: +7-48532-98-1-28  
E-mail: irina\_delickaya@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-4050>

**Краюшкина Валентина Николаевна** — младший научный сотрудник, отдел биохимии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия  
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19  
Тел.: +7-48532-98-1-33  
E-mail: uglich-cheese@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-6152>

**Valentina N. Krayushkina** — junior researcher, department of biochemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking  
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia  
Tel.: +7-48532-98-1-33  
E-mail: uglich-cheese@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-6152>

**Критерии авторства**

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат

**Contribution**

Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest