ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2539
https://elibrary.ru/RSPQGC

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Применение концентрата мицеллярного казеина в производстве твердых сычужных сыров

Е. И. Мельникова, Е. В. Богданова*, Е. Б. Станиславская, Е. С. Рудниченко, М. С. Чекмарева

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

Поступила в редакцию: 15.04.2024
Принята после рецензирования: 08.05.2024
Принята к публикации: 04.06.2024

**Е. В. Богданова: ek-v-b@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5053-2273*
Е. И. Мельникова: https://orcid.org/0000-0002-3474-2534
Е. Б. Станиславская: https://orcid.org/0000-0002-0955-6238
Е. С. Рудниченко: https://orcid.org/0009-0001-6176-2952
М. С. Чекмарева: https://orcid.org/0009-0002-8003-5758

© Е. И. Мельникова, Е. В. Богданова, Е. Б. Станиславская, Е. С. Рудниченко, М. С. Чекмарева, 2024

Аннотация.
Важным резервом повышения товарности молока и выхода готового продукта является развитие технологий, обеспечивающих комплексную переработку исходного сырья. В сыроделии для этого применяют микрофильтрацию, позволяющую получать концентрат мицеллярного казеина и изменять в нем соотношение между казеином и сывороточными белками с 80:20 до 90:10–95:5. Цель данного исследования – разработка технологических рекомендаций для производства твердого сыра из нормализованной смеси с добавлением концентрата мицеллярного казеина.
Объектами исследования являлись сыропригодное сырое молоко, концентрат мицеллярного казеина, нормализованные смеси и твердые сыры, выработанные по технологии сыра Грюйер. Изучение химического состава и свойств объектов проводили с применением арбитражных и общепринятых методик.
В результате проведенных исследований установили, что при достижении pH = 6,1 мицеллы казеина в опытном образце разрушались быстрее. Нормализованная смесь с концентратом мицеллярного казеина образовала более упругий гель в результате сычужной коагуляции ввиду изменения соотношения между ионами кальция и фосфора, связанными с казеином (для нормализованной смеси с добавлением 10 % концентрата мицеллярного казеина составило 0,54, а для контрольного образца – 0,46). Это позволило увеличить выход готового продукта на 17 %, что можно объяснить большей степенью вовлечения белков в сычужный сгусток. Опытный образец характеризовался более продолжительной лаг-фазой развития молочнокислых микроорганизмов. Содержание влаги в обезжиренном веществе сыра в опытном образце на 15 % ниже, чем в контрольном, что свидетельствует о менее интенсивном развитии заквасочной микрофлоры в процессе созревания. Высокое содержание системы плазмина в опытной нормализованной смеси (327 нмоль АМС/см^3) относительно контрольной (149 нмоль АМС/см^3) является предопределяющим фактором первичного протеолиза, при созревании образца сыра с добавлением концентрата мицеллярного казеина без участия заквасочных микроорганизмов. Для твердых сыров рекомендуется внесение в нормализованную смесь концентрата мицеллярного казеина в количестве не менее 10 %, что обеспечит получение продукта, отвечающего действующим стандартам качества.

Ключевые слова. Обезжиренное молоко, микрофильтрация, белки, сыр, нативные ферменты, созревание, выход

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта с использованием мер государственной поддержки развития кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики, в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренного ПП Российской Федерации от 09 апреля 2010 г. № 218, по теме «Создание высокотехнологичного импортозамещающего производства белковых ингредиентов на основе молочного сырья для продуктов здорового питания» (соглашение № 075-11-2022-020 от 07.04.2022 г.). Проект выполняется при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. НИОКТР проводятся в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Для цитирования: Применение концентрата мицеллярного казеина в производстве твердых сычужных сыров / Е. И. Мельникова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024 Т. 54. № 4. С. 722–730. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2539

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2539
https://elibrary.ru/RSPQGC

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Micellar Casein Concentrate in Hard Cheese Production

Elena I. Melnikova, Ekaterina V. Bogdanova*, Ekaterina B. Stanislavskaia, Elena S. Rudnichenko, Mariya S. Chekmareva

Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

Received: 15.04.2024
Revised: 08.05.2024
Accepted: 04.06.2024

**Ekaterina V. Bogdanova: ek-v-b@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5053-2273*
Elena I. Melnikova: https://orcid.org/0000-0002-3474-2534
Ekaterina B. Stanislavskaia: https://orcid.org/0000-0002-0955-6238
Elena S. Rudnichenko: https://orcid.org/0009-0001-6176-2952
Mariya S. Chekmareva: https://orcid.org/0009-0002-8003-5758

© E.I. Melnikova, E.V. Bogdanova, E.B. Stanislavskaia, E.S. Rudnichenko, M.S. Chekmareva, 2024

Abstract.
New technologies provide comprehensive processing of raw materials, increase the yield of the finished product, and improve the marketability of dairy products. For instance, microfiltration is popular in cheese production. It makes it possible to obtain micellar casein concentrate, as well as to change the ratio between casein and whey proteins from 80:20 to 90:10 or even 95:5. This article introduces some technological recommendations for hard cheese production from a standardized mix with a micellar casein concentrate.
The authors used standard research methods to study the chemical composition and properties cheese raw milk, micellar casein concentrate, standardized mixes, and hard Gruyere cheeses.
Casein micelles were destroyed faster at pH = 6.1 in the test sample. The standardized mix with micellar casein concentrate developed a more elastic gel. It happened as a result of rennet coagulation due to a change in the ratio between calcium and phosphorus ions associated with casein. It was 0.54 in the standardized mix with 10% micellar casein concentrate and 0.46 in the control sample. The yield of the finished product increased by 17% due to a more active protein involvement in the rennet curd. The test sample demonstrated a longer lag phase in the development of lactic acid microorganisms. The non-fat substance in the experimental cheese sample had a 15% lower moisture content than the control sample. This variable indicated a less intensive development of starter microflora during ripening. The experimental standardized mix had a higher content of plasmin (327 nmol AMC/cm^3) than the control (149 nmol AMC/cm^3). The ratio indicated that the cheese sample with micellar casein concentrate ripened without starter cultures due to primary proteolysis.
In this study, the optimal share of micellar casein concentrate to be added to standardized mix was 10%, and the experimental cheese was of high-quality.

Keywords. Skim milk, microfiltration, proteins, cheese, native enzymes, ripening, yield

Funding. The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) as part of research topic: High-Tech Import-Substituting Healthy Food Products from Dairy-Based Protein Ingredients (Agreement No. 075-11-2022-020, April 07, 2022). The R & D was performed by the Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUET) using state support for cooperation between institutions of higher education and real economy organizations, Decree of the Russian Federation Government (April 09, 2010, No. 218).

For citation: Melnikova EI, Bogdanova EV, Stanislavskaia EB, Rudnichenko ES, Chekmareva MS. Micellar Casein Concentrate in Hard Cheese Production. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(4):722–730. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2539

Введение

Молоко и молочные продукты входят в список Доктрины продовольственной безопасности и имеют первостепенное значение в рационе питания населения. В сложившейся политической и экономической ситуации переработка молока становится все более затратной в силу целого ряда причин: дефицит молока-сырья, сезонность, снижение внутреннего спроса на молочную продукцию вследствие ухудшения платежеспособности населения, низкая рентабельность

и инвестиционная привлекательность, изношенность основных производственных фондов, недостаточная защищенность внутреннего рынка и др. [1].

Полноценное функционирование предприятий молочной отрасли России требует повышения эффективности производства. Это касается ресурсосбережения, т. к. затраты на сырье достигают 80 % себестоимости молочных продуктов [2, 3]. Важным резервом повышения товарности молока является развитие и совершенствование технологий, обеспечивающих комплексную безотходную переработку исходного сырья и повышающих выход готового продукта, особенно при производстве творога и сыра.

Этот подход в сыроделии реализуется посредством повышения эффективности использования молочных белков, степень перехода которых в молочный сгусток различна [4]. Казеин – основной белок молока – имеет степень перехода 87 %, а сывороточные белки – до 40 % [5]. Изменение соотношения «казеин:сывороточные белки» в сторону увеличения казеина позволит получить не только продукт с новыми органолептическими свойствами и физико-химическими показателями, но и повысить эффективность использования молочного сырья. Изменение нативного соотношения «казеин:сывороточные белки» (80:20) увеличивает выход сыра за счет повышения содержания связанной влаги [6, 7]. Количество захватываемого и удерживаемого пространственной сеткой сгустка молочного жира также коррелирует с содержанием казеина: чем выше содержание казеина, тем большая часть жира из нормализованной смеси перейдет в сыр. Повышение содержания жира в сгустке способствует снижению скорости синерезиса при разрезке, т. к. жировые шарики могут механически закупоривать капилляры и препятствовать выходу сыворотки.

В настоящее время в сыроделии существует несколько способов повышения массовой доли казеина в нормализованной смеси, в том числе микрофильтрация с использованием керамических мембран (размер пор – 0,1 мкм), позволяющая разделять казеин и сывороточные белки. Это приводит к увеличению содержания казеина в исходном молоке от 2,5 до 3,5 г/100 г, изменению соотношения между казеином и сывороточными белками с 80:20 до 90:10–95:5 и позволяет повысить выход сыра [8]. Применение микрофильтрационных мембран с размером пор 0,2 мкм для обработки молока, предварительно охлажденного ниже 5 °С, позволяет выделить из него фракцию β-казеина, плохо подвергающуюся сычужному свертыванию и образующую горькие пептиды [9]. При низких температурах β-казеин подвергается солюбилизации, поэтому в результате микрофильтрации переходит в пермеат. Удаление сывороточных белков и фракции β-казеина способствует повышению активности в ретентате комплекса нативного фермента плазмина [10]. При внесении сычужного фермента в нормализованную смесь плазмин и плазминоген свертываются вместе с мицеллами казеина и концентрируются в сырном зерне. В дальнейшем комплекс плазмина принимает участие в протеолизе сырной массы при созревании, что особенно важно учитывать при производстве сыров с высокой температурой второго нагревания, т. к. сычужный фермент полностью инактивируется еще до окончания технологического цикла.

Известны исследования по применению концентрата мицеллярного казеина в сырах с чеддеризацией сырной массы, а также твердых сырах с низкой температурой второго нагревания [11–15]. Определенный научный и практический интерес представляет совершенствование технологии твердых сыров с высокой температурой второго нагревания, выработанных с внесением концентрата мицеллярного казеина в нормализованную смесь для изменения соотношения между массовой долей белка и жира.

Цель выполненного исследования – разработка технологических рекомендаций для производства твердого сыра с высокой температурой второго нагревания из нормализованной смеси с добавлением концентрата мицеллярного казеина.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны сыропригодное молоко сырое от коров породы Монбельярд; концентрат мицеллярного казеина, полученный на установке микрофильтрации «Chemtron GmbH» (поставщик ООО «Хемтрон-Восток», г. Екатеринбург) с применением полупроницаемых керамических мембран с диаметром пор 0,1 мкм при t = 10–15 °С и давлением 0,2–0,3 МПа; нормализованные смеси (контрольный образец и опытный образец с добавлением концентрата мицеллярного казеина), а также сыры с высокой температурой второго нагревания, выработанные по технологии сыра Грюйер [16]. Необходимость применения 10 % концентрата мицеллярного казеина от массы смеси в опытном образце установлена на основании стандартного коэффициента нормализации для данной группы сыров, определяемого отношением массовой доли белка к массовой доле жира в нормализованной смеси.

Экспериментальные исследования проводили в лабораториях «Молоко» ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ВНИМИ, г. Москва), ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», ПАО МК «Воронежский». Отбор проб и их подготовку к анализу осуществляли согласно ГОСТ 26809.1-2014 «Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты (с поправкой)». Исследование химического состава и свойств объектов проводили с применением стандартных арбитражных и общепринятых методик, а также модифицированных, усовершенствованных и специальных, выполненных с

применением современных приборов и информационных технологий (табл. 1). Соотношение между казеином и сывороточными белками в % от общего содержания истинного белка определяли экспериментально методом Къельдаля для каждого объекта исследования, последовательно устанавливая массовую долю общего белка, небелкового азота, истинного белка, сывороточных белков и казеина в пробе.

После нормализации смеси подвергали пастеризации при температуре 68 ± 2 °С, выдерживали в течение 30 с, затем охлаждали до 34–35 °С и вносили мезотермофильную закваску Chr. Hansen RST-743 (Chr. Hansen, Дания), состоящую из *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и *Streptococcus thermophilus*, и хлорид кальция из расчета 30 г сухой безводной соли на 100 кг нормализованной смеси с последующим созреванием в течение 10 мин. Затем в смесь вносили молокосвертывающий фермент CHY-MAX Extra 600 IMCU (Chr. Hansen, Дания) в количестве 0,83 г/50 IMCU, перемешивали и оставляли в покое для образования сгустка при 32 ± 1 °С в течение 37 мин для опытного образца и 50 мин для контрольного. Далее сгусток разрезали и проводили постановку зерна до размера 5 ± 1 мм и его вымешивание при 32 ± 1 °С в течение 5 мин. В контрольном образце проводили раскисление путем слива 30 % сыворотки и внесения такого же объема горячей пастеризованной воды. Для опытного образца раскисление не применяли. Перед проведением второго нагревания сгусток подогревали в течение 30 мин до 45 ± 2 °С, зерно обоих образцов вымешивали при этой температуре 20 мин до достижения готовности к формованию, которое проводили наливом. Формы с сыром подвергали сначала самопрессованию в течение 30 мин, затем прессованию при давлении 10 кПа и температуре 18–20 °С в течение 3 ч с одной перепрессовкой. Выработанные головки сыра солили 12 ч в рассоле с концентрацией хлорида натрия 10 % масс. при 10–12 °С. Затем обсушивали 24 ч при 12 °С, покрывали латексом и отправляли на созревание при температуре 12–14 °С и относительной влажности воздуха 85 % в течение 80 сут.

Определение размера мицелл казеина. Для установления среднего диаметра мицелл казеина в 1 см^3 нормализованных смесей применяли лазерный дифракционный анализатор LS 13 320 XR (США, производитель Beckman Coulter) и метод динамического светорассеяния. Полученные результаты обрабатывали с помощью программного обеспечения «ADAPT Software».

Упругость геля, образованного в процессе сычужной коагуляции рассчитывали по отношению вязкости полученного сычужного сгустка к вязкости нормализованной смеси до внесения сычужного фермента. Вязкость измеряли с помощью ротационного вискозиметра Brookfield RVDV-II+Pro (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., США) с термостатированием образца, путем пересчета крутящего момента, необходимого для вращения шпинделя прибора с постоянной скоростью при погружении его в исследуемую среду.

Содержание кальция определяли в сыром молоке, нормализованных смесях и сыворотке титриметрическим методом по ГОСТ Р 55331-2012. Количество кальция, связанного с казеином, рассчитывали по разнице между нормализованными смесями и сывороткой.

Содержание фосфора в казеине рассчитывали по разности общего количества фосфора, количества

Таблица 1. Химический состав и свойства используемого сырья

Table 1. Chemical composition and properties of raw materials

Наименование показателя	Молоко коровье сырое	Концентрат мицеллярного казеина	Нормализованная смесь (контрольный образец)	Нормализованная смесь с добавлением 10 % концентрата мицеллярного казеина (опытный образец)
Массовая доля сухих веществ, %	12,76 ± 0,23	12,28 ± 0,19	12,42 ± 0,22	13,53 ± 0,25
Массовая доля жира, %	4,00 ± 0,15	0,15 ± 0,05	3,65 ± 0,10	4,00 ± 0,15
Массовая доля общего белка, %	3,30 ± 0,05	10,60 ± 0,10	3,30 ± 0,05	3,89 ± 0,06
Массовая доля сывороточных белков, %	0,56 ± 0,08	0,84 ± 0,14	0,52 ± 0,06	0,60 ± 0,08
Соотношение «казеин:сывороточные белки» в общей массовой доле истинного белка	80:20	92:8	81:19	85:15
Общее содержание кальция, %	0,112 ± 0,002	0,146 ± 0,003	0,115 ± 0,002	0,124 ± 0,003
Содержание фосфора, связанного с казеином, %	0,178 ± 0,003	0,166 ± 0,003	0,165 ± 0,003	0,161 ± 0,003
Массовая доля лактозы, %	4,68 ± 0,70	< 0,70	4,75 ± 0,700	4,59 ± 0,70
Активная кислотность, ед. pH	6,65 ± 0,04	6,88 ± 0,04	6,65 ± 0,04	6,70 ± 0,04
Коэффициент нормализации	–	–	0,900	0,970
Коэффициент флокуляции	–	–	3,000	3,000

фосфора в сыворотке после осаждения белков и количества фосфора липидов, которые определяли методом мокрого озоления согласно [17].

Активность плазмина и плазминогена определяли методом, описанным Richardson и Pearce, по концентрации флуоресцентного 7-амидо-4-метилкумарина (AMC), нмоль/г, выделяемого плазмином из специфического нефлуоресцентного пептида N-сукцинил-L-аланил-L-фенилаланил-лизил-7-амидо-4-метилкумарина [10, 18]. Флуориметрический анализ проводили при $\lambda = 370$ нм и $\lambda = 440$ нм на анализаторе Флюорат 02-5М (ООО «Люмэкс», Санкт-Петербург, Россия). Содержание плазминогена рассчитывали путем вычитания активности нативного плазмина из общей активности плазмина после активации плазминогена урокиназой [19].

Обработка данных. Каждый показатель был измерен не менее 5–10 раз в трехкратной последовательности. Расчеты проводились методами математической статистики с использованием программного обеспечения STATTECH (Статтех, Россия). Ограничениями экспериментальных исследований были ошибки и неопределенности используемых методов анализа. Нормальное распределение переменных по каждому показателю было определено с использованием критерия Шапиро-Уилка. Результаты выражены как среднее ± стандартное отклонение и медиана (минимальное значение ~ максимальное значение) для данных с нормальным и ненормальным распределением соответственно. Доверительный интервал – $P > 0{,}95$ при условии, что рассчитанные величины были значимыми.

Результаты и их обсуждение

Мицеллы казеина на 92 % состоят из белка и на 8 % – из соли (65 % кальция, 45 % неорганического фосфора, 35 % магния и 10 % цитратов от их общего содержания в молоке). Диаметр мицелл казеина колеблется от 20 до 300 нм. Частицы размером менее 50 нм представляют собой скорее субмицеллы или полимеры казеина, которые не принимают участие в образовании сычужного сгустка. С уменьшением размера мицелл увеличивается прочность сгустка и скорость его образования [20–23].

При фракционировании белков молока с применением микрофильтрации в полученном концентрате увеличивается средний размер мицелл казеина, а также концентрация фосфата кальция, связывающего между собой субмицеллы. Данная обработка позволяет удалить в пермеат белки размером менее 100 мкм (в соответствии с диаметром пор используемых полупроницаемых мембран). При понижении pH коллоидный фосфат кальция из мицелл казеина переходит в раствор, при pH ниже 5,2 они начинают распадаться с образованием геля. Скорость этого процесса будет зависеть от изменения размера мицелл казеина (рис. 1). По результатам проведенных исследований установлено, что при достижении pH = 6,1 мицеллы казеина в опытном образце разрушались быстрее, чем в контрольном, что можно объяснить изменением солевого равновесия вследствие добавления концентрата мицеллярного казеина.

Поскольку дестабилизированные казеиновые частицы сначала образуют агрегаты и цепочки, которые при достижении критических размеров соединяются между собой продольными и поперечными связями и формируют сплошную пространственную сетку с дисперсионной средой в своих ячейках, то для образца с добавлением концентрата мицеллярного казеина улучшается процесс постановки сырного зерна за счет слияния все большего количества мицелл. В результате образуется более компактная структура, т. к. пространство между мицеллами сужается. Это способствует выдавливанию воды и более мелких частиц из матрицы. Таким образом ускоряется отделение сыворотки при разрезке и постановке сырного зерна. Размер мицелл казеина в этих условиях влияет на упругость полученного геля. Нормализованная смесь с концентратом мицеллярного казеина образует более упругий гель в результате сычужной коагуляции в сравнении с контролем (рис. 2). Этому способствует и повышенная концентрация ионов кальция в растворе. Выход сыра во многом определяет баланс солевого состава, в частности соотношение кальций:фосфор [24, 25]. Определено влияние изменения соотношения между ионами кальция и фосфора, связанными с казеином, на расход нормализованных смесей. Для нормализованной смеси с добавлением 10 % концентрата мицеллярного казеина это соотношение составило 0,54, а для контрольного образца – 0,46 (табл. 1 и 2), что позволило увеличить выход готового продукта на 17 % в результате большей степени вовлечения белков в сычужный сгусток.

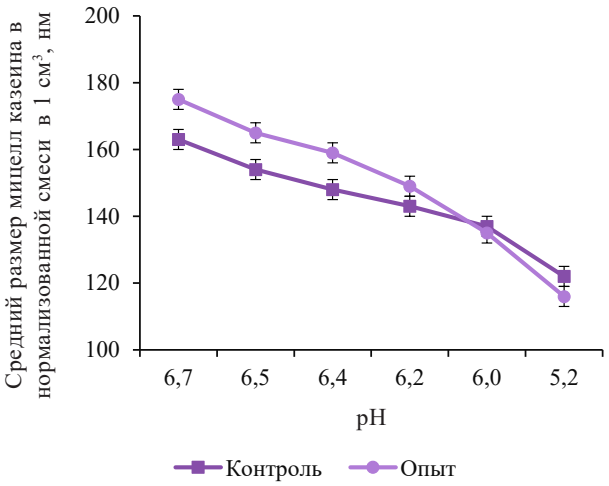

Рисунок 1. Изменение размера мицелл казеина в нормализованной смеси при снижении ее pH

Figure 1. Effect of lower pH on the size of casein micelles in standardized mixes

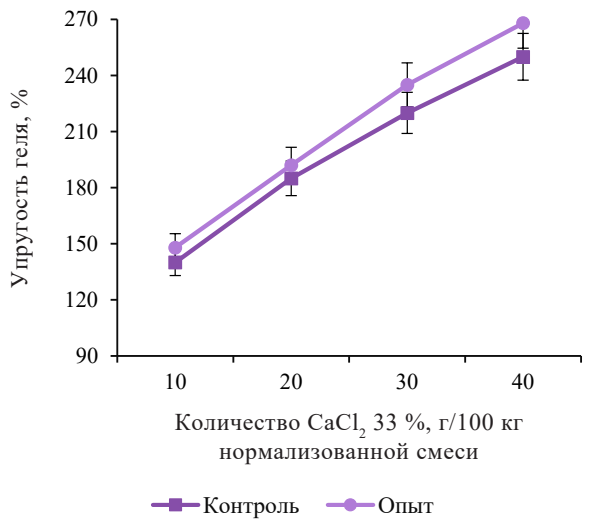

Рисунок 2. Влияние количества внесенного хлорида кальция на упругость геля, образованного исследуемыми нормализованными смесями

Figure 2. Effect of calcium chloride on gel elasticity in standardized mixes

В классической технологии твердых сыров температура второго нагревания варьируется от 47 до 58 °С, в зависимости от вида сыра и способности зерна к обезвоживанию. Во время второго нагревания изменяются свойства сырных зерен. В начале при нагревании до 45–50 °С повышается клейкость сырной массы, вследствие начинающегося плавления монокальций-параказеината. При повышении температуры до 50 °С клейкость зерна постепенно снижается, но усиливается дегидратация белка. Поэтому ввиду повышенного содержания казеина в опытном образце и ускоренного синерезиса в нем, при разрезке и обработке сгустка нецелесообразно поднимать температуру второго нагревания до 50 °С, т. к. это будет способствовать излишнему обезвоживанию сырной массы, а также появлению пороков готового продукта.

Изучены показатели, влияющие на технологический процесс и качество готового продукта (табл. 3 и 4). Внесение 10 % концентрата мицеллярного казеина с низким содержанием лактозы в нормализованную смесь не оказывало существенного влияния на развитие заквасочных культур (табл. 3). Опытный образец характеризовался более продолжительной лаг-фазой развития молочнокислых микроорганизмов. Содержание влаги в обезжиренном веществе сыра выше в контрольном образце (табл. 4), что свидетельствует о более интенсивном развитии заквасочной микрофлоры в процессе созревания вследствие активной работы протеолитических и липолитических ферментов, вырабатываемых молочнокислыми микроорганизмами. Влага в обезжиренном веществе сыра, является постоянным показателем и зависит только от степени синерезиса в технологическом процессе [26, 27].

Таблица 2. Химический состав и свойства подсырной сыворотки

Table 2. Chemical composition and properties of cheese whey

Наименование показателя	Контрольный образец	Опытный образец
Массовая доля сухих веществ, %	6,43 ± 0,38	5,71 ± 0,25
Массовая доля белка, %	0,92 ± 0,05	0,57 ± 0,04
Массовая доля жира, %	0,35 ± 0,05	0,30 ± 0,05
Массовая доля кальция в сыворотке, %	0,040 ± 0,001	0,037 ± 0,001
Плотность, кг/м^3	1025 ± 1	1022 ± 1
pH	6,40 ± 0,04	6,46 ± 0,04
Кислотность, Т°	19,00 ± 0,50	19,00 ± 0,50

Таблица 3. Изменение активной кислотности образцов по ходу технологического процесса

Table 3. Active acidity during processing

Наименование показателя	Контрольный образец	Опытный образец
pH сыворотки после разрезки	6,50 ± 0,04	6,55 ± 0,04
pH сыра после пресса	5,70 ± 0,04	5,63 ± 0,04
pH сыра после посолки	5,64 ± 0,04	5,60 ± 0,04

Таблица 4. Химический состав и свойства зрелого сыра

Table 4. Chemical composition and properties of ripe cheese

Наименование показателя	Контрольный образец	Опытный образец
Массовая доля сухих веществ, %	68,38 ± 0,20	71,33 ± 0,20
Массовая доля жира в сухом веществе, %	48,93 ± 0,10	40,70 ± 0,10
Массовая доля жира, %	33,46 ± 0,15	29,08 ± 0,15
Массовая доля белка, %	26,35 ± 0,22	30,41 ± 0,22
Влага в обезжиренном веществе, %	47,52 ± 0,20	40,43 ± 0,20
Массовая доля поваренной соли, %	2,20 ± 0,10	2,50 ± 0,10
pH	5,55 ± 0,05	5,54 ± 0,05
Расход сырья, т/т готового продукта	9,00	7,50

Большинство жировых шариков и молочнокислых бактерий слишком велики, чтобы пройти через казеиновую сетку и поэтому остаются в сгустке после разрезки и постановки сырного зерна. С учетом высокого содержания жира в контрольном образце относительно опытного и степени усушки, а также одинаковых условий созревания обоих образцов, можно сделать вывод о том, что увеличение содержания влаги

Таблица 5. Активность системы «плазмин – плазминоген» в пастеризованных нормализованных смесях

Table 5. Plasmin-plasminogen system in pasteurized standardized mixes

Наименование образца	Ферментативная активность плазмина, нмоль АМС/см^3	Общая ферментативная активность системы «плазмин – плазминоген», нмоль АМС/см^3
Опытный с добавлением 10 % концентрата мицеллярного казеина	327	1582
Контрольный	149	1021
Исходное молоко коровье сырое	163	1138

Таблица 6. Органолептический профиль исследованных образцов сыра

Table 6. Sensory profile of cheese samples

Наименование показателя	Опытный образец	Контрольный образец
Внешний вид	Корка ровная тонкая, чистая, без повреждений и тонкого подкоркового слоя, покрыта латексным составом	Корка ровная тонкая, чистая, без повреждений и тонкого подкоркового слоя, покрыта латексным составом
Вкус и запах	Выраженный сырный, сладковатый, без посторонних привкусов и запахов	Выраженный сырный, сладковатый, без посторонних привкусов и запахов
Консистенция	Плотная, твердая, слегка колющаяся	Плотная, твердая
Рисунок	На разрезе рисунок отсутствовал	На разрезе рисунок отсутствовал
Цвет	Слабо-желтый, равномерный по всей массе	Слабо-желтый, равномерный по всей массе

в обезжиренном веществе контрольного образца обусловлено способностью жира блокировать взаимодействие между частицами казеина, частично закупоривать капилляры и ингибировать синерезис в процессе обсушки и созревания головки.

Удаление при микрофильтрации из обезжиренного молока ингибиторов системы плазмина, связанных с β-лактоглобулином, а также фракции β-казеина способствует повышению активности плазмина, плазминогена и его активаторов, концентрирующихся на мицеллах казеина, а также переориентации субстратной специфичности этой ферментной системы с β-фракции на α_{s2}-фракцию казеина [28]. Плазмин является термоустойчивым ферментом, его полная инактивация происходит только при воздействии температуры выше 80 °С не менее 10 мин [10, 29]. Важное значение имело изучение активности системы плазмина в опытной нормализованной смеси в сравнении с контрольным образцом после пастеризации (табл. 5).

Высокое содержание системы плазмина в опытной нормализованной смеси является предопределяющим фактором первичного протеолиза при созревании образца сыра с добавлением концентрата мицеллярного казеина без участия заквасочных микроорганизмов и получении готового продукта со стандартными органолептическими показателями (табл. 6).

Опытный образец в отличии от контрольного имел более плотную слегка колющуюся консистенцию и содержал незначительное количество кристаллов лактата кальция, что обусловлено высоким содержанием кальция и фосфора, связанных с казеином, в исходной нормализованной смеси, а также большим количеством связанной с параказеином влаги в белковом сгустке после его обработки.

Выводы

Применение концентрата мицеллярного казеина в составе нормализованной смеси (в количестве 10 % от массы нормализованной смеси) при производстве сыров с высокой температурой второго нагревания позволяет:

– снизить до 20–25 % продолжительность сычужной коагуляции ввиду изменения соотношения между кальцием и фосфором, связанными с казеином;
– исключить технологическую операцию по раскислению сгустка из-за увеличения продолжительности лаг-фазы развития заквасочных культур в среде со сниженным содержанием лактозы и свободных аминокислот;
– увеличить выход готового продукта на 15–17 % вследствие повышения содержания казеина в общем белке и изменения соотношения «казеин:сывороточные белки»;
– получить более плотную консистенцию вследствие снижения содержание влаги в обезжиренном веществе сыра;
– обеспечить первичный протеолиз сырной массы без участия заквасочных культур для получения готового продукта со стандартными органолептическими показателями вследствие увеличения содержания в нормализованной смеси нативного фермента плазмина в 2 раза и ферментов системы «плазмин – плазминоген» в 1,5 раза.

Дальнейшие исследования будут ориентированы на изучение изменений, происходящих с фракциями

казеина в процессе обработки сычужного сгустка и созревания сырной массы, полученных из нормализованной смеси с добавлением концентрата мицеллярного казеина.

Критерии авторства

Е. И. Мельникова руководила проектом, предложила методику проведения эксперимента, проводила консультации в ходе исследования. Е. В. Богданова готовила и оформляла рукопись, корректировала ее до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат. Е. Б. Станиславская проводила поиск литературных источников и патентный поиск по исследуемой проблеме. Е. С. Рудниченко организовала производственные испытания. М. С. Чекмарёва выполнила экспериментальные исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.I. Melnikova managed the project, proposed the methodology of the experiment, and consulted during the research. E.V. Bogdanova wrote the manuscript, corrected it before submission to the editorial board and is responsible for plagiarism. E.B. Stanislavskaia conducted literature search and patent search on the problem under study. E.C. Rudnichenko organized the production trials. M.S. Chekmareva carried out experimental research.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Panasenko SV, Suray NM, Tatochenko AL, Rodinova NP, Ostroukhov VM. Sustainable Raw Material Base as a Factor of Competitiveness of Cheese-Making Enterprises. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):706–717. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2400; https://elibrary.ru/AWDXKN

2. Ivanova S, Vesnina A, Fotina N, Prosekov A. An Overview of Carbon Footprint of Coal Mining to Curtail Greenhouse Gas Emissions. Sustainability. 2022;14(22):15135. https://doi.org/10.3390/su142215135; https://elibrary.ru/RQTOAI

3. Dolganyuk V, Sukhikh S, Kalashnikova O, Ivanova S, Kashirskikh E, Prosekov A, *et al.* Food Proteins: Potential Resources. Sustainability. 2023;15(7):5863. https://doi.org/10.3390/su15075863; https://elibrary.ru/QGSLDC

4. Illarionova EE, Kruchinin AG, Turovskaya SN, Bigaeva AV. Methods of Assessing Milk Proteins Coagulation as a Part of the Forecasting System of Technological Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):503–519. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-503-519; https://elibrary.ru/PRTTXK

5. Khramtsov AG, Dinyakov VA, Lodygin AD. Current methods of cheese enrichment with calcium salts. Modern Science and Innovations. 2022;(1):68–79. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.1.7; https://elibrary.ru/ZVECKB

6. France TC, Kelly AL, Crowley SV, O'Mahony JA. Cold Microfiltration as an Enabler of Sustainable Dairy Protein Ingredient Innovation. Foods. 2021;10(9):2091. https://doi.org/10.3390/foods10092091

7. Hammam ARA, Kapoor R, Salunke P, Metzger LE. Compositional and Functional Characteristics of Feta-Type Cheese Made from Micellar Casein Concentrate. Foods. 2021;11(1):24. https://doi.org/10.3390/foods11010024

8. Salunke P, Marella C, Metzger LE. Microfiltration and Ultrafiltration Process to Produce Micellar Casein and Milk Protein Concentrates with 80% Crude Protein Content: Partitioning of Various Protein Fractions and Constituents. Dairy. 2021;2(3):367–384. https://doi.org/10.3390/dairy2030029

9. van der Schaaf JM, Goulding DA, Fuerer C, O'Regan J, O'Mahony JA, Kelly AL. A novel approach to isolation of β-casein from micellar casein concentrate by cold microfiltration combined with chymosin treatment. International Dairy Journal. 2024;148:105796. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105796

10. Vélez MA, Perotti MC, Candioti MC, Bergamini CV, Hynes ER. Plasmin and coagulant activities in a minicurd model system: Study of technological parameters. Journal of Dairy Science. 2016;99(9):7053–7062. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10799

11. Abbas HM, Abd El-Gawad MAM, Kassem JM, Salama M. Application of fat replacers in dairy products: A review. Foods and Raw Materials. 2024;12(2):319–333. http://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-612; https://elibrary.ru/MVBGHV

12. Carter BG, Cheng N, Kapoor R, Meletharayil GH, Drake MA. Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. Journal of Dairy Science. 2021;104(3):2465–2479. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18811

13. Li B, Waldron DS, Tobin JT, Subhir S, Kelly AL, McSweeney PLH. Evaluation of production of Cheddar cheese from micellar casein concentrate. International Dairy Journal. 2020;107:104711. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104711

14. Xia X, Tobin JT, Fenelon MA, Mcsweeney PLH, Sheehan JJ. Production, composition and preservation of micellar casein concentrate and its application in cheesemaking: A review. International Journal of Dairy Technology. 2022;75(1):46–58. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12829

15. Chebotarev SN, Dibrova ZhN, Suray NM. Cheese Market in Moscow and the Moscow Region: A Regional Analysis. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):413–422. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-021-2-413-422; https://elibrary.ru/MLBGXC

16. Melnikova EI, Stanislavskaya EB, Bogdanova EV, Shabalova ED. Micellar Casein Production and Application in Dairy Protein Industry. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(3):592–601. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2389; https://elibrary.ru/TETAWN

17. Inikhov GS, Brio NP. Analysis methods for milk and dairy products. Moscow: Food Industry; 1971. 424 p. (In Russ.). [Инихов Г. С., Брио Н. П. Методы анализа молока и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1971. 424 с.].

18. Denis TS, Humbert G, Gaillard J-L. Heat inactivation of native plasmin, plasminogen and plasminogen activators in bovine milk: a revisited study. Le Lait. 2001;81(6):715–729. https://doi.org/10.1051/lait:2001159

19. Rampilli M, Raja V. Osservazioni sull'atti-vitá di plasmina e plasminogeno nel formaggio. Scienza e Tecnica Lattiero Casearia. 1998;49:341–50.

20. Tyopel A. Chemistry and physics of milk. Saint Petersburg: Profession; 2012. 824 p. (In Russ.). [Тёпел А. Химия и физика молока. СПб.: Профессия; 2012. 824 с.].

21. Smykov IT. The kinetics of milk gel structure formation studies by electron microscopy. Food Systems. 2023;6(4): 547–553. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-547-553; https://elibrary.ru/KIUTZO

22. Osintsev AM, Braginsky VI, Baburchin DS, Rynk VV. Dependence of viscoelastic properties of rennet gels on concentrations of milk fat and solids. Food Processing: Techniques and Technology. 2015;37(2):53–61. (In Russ.). [Зависимость вязкоупругих свойств сычужных гелей от концентраций молочного жира и сухих веществ / Осинцев А. М. [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2015. Т. 37. № 2. С. 53–61.]. https://elibrary.ru/UCQNHB

23. Smykov IT. Milk gelation mechanism. Dairy Industry. 2016;(9):45-48. (In Russ.). [Смыков И. Т. Механизм образования молочного геля // Молочная промышленность. 2016. № 9. С. 45–48.]. https://elibrary.ru/WINQTV

24. van de Langerijt T, O'Mahony JA, Crowley SV. The influence of sodium caseinate and β-casein concentrate on the physicochemical properties of casein micelles and the role of tea polyphenols in mediating these interactions. LWT. 2022; 154:112775. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112775

25. Lelièvre J. Influence of the casein/fat ratio in milk on the moisture in the non-fat substance in Cheddar cheese. International Journal of Dairy Technology. 1983;36(4):119–120. https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1983.tb02231.x

26. France TC, Kelly AL, Crowley SV, O'Mahony JA. The effects of temperature and transmembrane pressure on protein, calcium and plasmin partitioning during microfiltration of skim milk. International Dairy Journal. 2020;114:104930. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104930

27. Lepilkina OV, Lepilkina ON, Loginova IV. Eyes in cheese: reasons for formation and methods of assessment. Food Systems. 2021;4(3):180–189. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-180-189; https://elibrary.ru/CKXBBC

28. Fedortsov NM, Budkevich EV, Evdokimov IA, Ryabtseva SA, Budkevich RO. Bovine serum albumin with gallic acid: Molecular modeling and physicochemical profiling. Foods and Raw Materials. 2022;10(1):163–170. http://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-163-170; https://elibrary.ru/GMZNUA

29. France TC, Kelly AL, Crowley SV, O'Mahony JA. Influence of processing temperature on plasmin activity and proteolysis in process streams from cold microfiltration of skim milk. International Dairy Journal. 2023;140:105590. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105590