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

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2389
https://elibrary.ru/TETAWN

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Особенности получения и применения мицеллярного казеина в технологии молокоемких белковых продуктов

Е. И. Мельникова, Е. Б. Станиславская, Е. В. Богданова*, Е. Д. Шабалова

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

Поступила в редакцию: 02.06.2022
Принята после рецензирования: 11.08.2022
Принята к публикации: 06.09.2022

**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. Д. Шабалова: https://orcid.org/0000-0002-7802-6150

© Е. И. Мельникова, Е. Б. Станиславская, Е. В. Богданова, Е. Д. Шабалова, 2022

Аннотация.
Современные тенденции развития пищевой индустрии определяют новый взгляд на молоко как сырье для получения широкого ассортимента ингредиентов с различными функционально-технологическими свойствами. В этой связи большое научное и практическое значение имеют технологии белковых ингредиентов с применением мембранных методов фракционирования компонентов для сохранения нативных свойств белков. В нашей стране подобные технологии не разработаны. Цель работы – сформулировать технологические рекомендации по производству отечественного концентрата мицеллярного казеина.
Объектами исследования являлись обезжиренное молоко, коммерческие концентраты мицеллярного казеина зарубежных производителей, образцы творога с массовой долей жира 9,0 % и сыра «Российский», выработанные по традиционной технологии. Показатели качества и безопасности опытных образцов, в том числе фракционный состав белков обезжиренного молока, анализ гранулометрического и аминокислотного составов, определяли с применением стандартных арбитражных и общепринятых методик.
Был проведен сравнительный анализ химического состава и функционально-технологических свойств коммерческих образцов концентратов мицеллярного казеина различных производителей. Это позволило охарактеризовать тепловое воздействие на сырье при производстве концентратов и спрогнозировать перспективы их применения в технологии различных молочных продуктов. Экспериментально доказано, что образцы с высоким соотношением казеин:сывороточные белки и умеренно высокой тепловой обработкой увеличивают выход творога и сыра на 10–12 % в сравнении с традиционной рецептурой. Образцы с максимальной концентрацией неденатурированного сывороточного белкового азота обеспечивают повышение выхода белковых молочных продуктов на 2–3 % в сравнении с другими концентратами мицеллярного казеина. Было установлено соотношение казеин:сывороточные белки 80:20 в обезжиренном молоке, полученном в условиях ПАО МК «Воронежский». КМАФАнМ в нем составило не более 6×10^4, патогенные микроорганизмы отсутствуют.
По результатам исследования рекомендованы режимы микрофильтрации, тепловой обработки и сушки обезжиренного молока для максимального сохранения нативных свойств белков. Для повышения массовой доли казеина в молоке целесообразно проводить микрофильтрацию с применением мембран с диаметром пор не менее 15 нм. Микробиологические показатели молока позволяют применять низкотемпературную пастеризацию (не выше 76 ± 2 °C с выдержкой 10–15 с).

Ключевые слова. Мицеллярный казеин, белковые ингредиенты, переработка, обезжиренное молоко, фракционирование, сывороточные белки

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта с использованием мер государственной поддержки развития кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики с целью 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). Проект выполняется при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России). НИОКТР проводятся во ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ).

Для цитирования: Особенности получения и применения мицеллярного казеина в технологии молокоемких белковых продуктов / Е. И. Мельникова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 592–601. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2389

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2389
https://elibrary.ru/TETAWN

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

Micellar Casein Production and Application in Dairy Protein Industry

Elena I. Melnikova, Ekaterina B. Stanislavskaya, Ekaterina V. Bogdanova*, Ekaterina D. Shabalova

Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

Received: 02.06.2022
Revised: 11.08.2022
Accepted: 06.09.2022

**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. Stanislavskaya: https://orcid.org/0000-0002-0955-6238
Ekaterina D. Shabalova: https://orcid.org/0000-0002-7802-6150

© E.I. Melnikova, E.B. Stanislavskaya, E.V. Bogdanova, E.D. Shabalova, 2022

Abstract.
The modern food industry sees raw milk as a source of functional ingredients. Technologies of protein ingredients have a great scientific and practical importance because membrane fractionation methods preserve the native structure and properties of protein components. The resulting proteins have good fat profile, moisture retention, and emulsification characteristics, as well as perform some useful technological functions in food systems. They have no status of food additives and can be applied in various branches of food production. Unfortunately, the Russian food industry has no such technologies of its own. This article introduces some technological recommendations for the production of domestic micellar casein concentrate.
The research involved skim milk, commercial micellar casein concentrates from various manufacturers, curd samples with 9.0% of fat in dry matter, and Rossiysky cheese produced according to traditional formulation and technology. The experiment relied on standard research methods of physical and chemical analysis to establish the chemical composition of the samples, e.g., fractional composition of skim milk proteins, grain-size distribution, amino acid profile, etc.
The study involved a comparative analysis of the chemical composition, as well as functional and technological properties of commercial micellar casein concentrates from various manufacturers. A set of experiments made it possible to define the thermal effect on raw material and to predict the prospects for usage of the new technology. Samples with a high ratio of casein:whey proteins and a moderately high heat treatment increased the curd and cheese yield by 10–12% in comparison with the traditional formulation. Samples with the maximal concentration of undenatured milk-serum protein nitrogen increased the yield of protein dairy products by 2–3% in comparison with other samples of micellar casein concentrates. The ratio of casein:whey proteins was 80:20 in skim milk obtained at PJSC Dairy "Voronezhsky". The optimal pore diameter was ≥ 15 nm. As for the microbiological properties, QMA&OAMO was 6×10^4 CFU/dm^3, and no pathogenic microorganisms were detected. Therefore, low-temperature pasteurization proved feasible at ≤ 76 ± 2°C and 10–15 s of hold time. The micellar casein concentrate added certain functional and technological properties to the finished product, depending on the specific application scope.
The new technology will enable the domestic food industry to overcome the existing import dependence.

Keywords. Micellar casein, protein ingredients, processing, skim milk, fractionation process, whey proteins

Funding. The research was financed 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). 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, 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

Введение

Молоко и молочные продукты входят в список Доктрины продовольственной безопасности РФ и имеют большое значение в рационе питания населения. Пищевая ценность молока состоит в том, что оно содержит все необходимые для человеческого организма питательные вещества (белки, жиры, углеводы, минеральные вещества, витамины и

воду) в сбалансированных соотношениях и легко перевариваемой форме [1]. Современные тенденции развития пищевой индустрии определяют новый взгляд на молоко-сырье как источник для получения широкого ассортимента ингредиентов с различными функционально-технологическими свойствами [2]. Благодаря своим уникальным характеристикам они нашли применение при производстве продуктов функционального, специализированного и детского питания, а также в мясной, молочной, пивобезалкогольной, кондитерской и хлебопекарной отраслях пищевой промышленности [3, 4].

Большое научное и практическое значение в развитии данного направления имеют технологии разработки белковых ингредиентов, содержащих различные фракции казеина и сывороточных белков. Их высокая биологическая ценность обусловлена сбалансированным содержанием аминокислот с разветвленной алифатической боковой цепью (валина, лейцина и изолейцина), а также легкой и почти полной перевариваемостью в желудочно-кишечном тракте человека [5, 6]. К таким ингредиентам относятся кислотный и сычужный казеины, казеинаты, копреципитаты, концентраты и изоляты молочных и сывороточных белков. Темпы их производства в последние несколько лет постоянно растут (рис. 1).

Технологии традиционных белковых ингредиентов (казеины, казеинаты, копреципитаты) не обеспечивают сохранение их нативных свойств. К более востребованным ингредиентам с высокой биологической ценностью относятся белковые концентраты, полученные с применением мембранных технологий фракционирования компонентов как молока, так и вторичного молочного сырья (например, концентраты молочных белков, мицеллярного казеина и сывороточных белков) [8, 9]. Это обусловлено их способностью проявлять важные физико-химические свойства, такие как жиро- и влагоудерживание, эмульгирование, а также выполнять ряд технологических функций в пищевых системах [10]. У белковых концентратов отсутствует статус пищевых добавок и литера с индексом «Е», что обеспечивает «чистую» этикетку готового пищевого продукта. Такие ингредиенты имеют широкую сферу применения в различных отраслях пищевой промышленности.

За рубежом рынок подобных белковых продуктов развит и востребован. Например, компания Arla Foods Ingredients выделяет белки из молочного сырья и использует их для производства продуктов детского, клинического, спортивного и здорового питания. Сырьем является молочная сыворотка, обезжиренное молоко и пахта. Это обеспечивает высокую доходность предприятия, т. к., помимо возможности производства ингредиентов с высокой пищевой и биологической ценностью и маржинальностью, отсутствует необходимость в решении вопроса утилизации вторичных отходов отрасли.

Набирает популярность производство таких молочных ингредиентов, как концентрат и изолят мицеллярного казеина. Их получают с использованием микро- и ультрафильтрации, которые обеспечивают максимальное сохранение нативной структуры белков и изменение соотношения казеин:сывороточные белки в сторону снижения содержания последних [7, 11]. В зависимости от размера пор мембран соотношение казеин:сывороточные белки в этом продукте может находится в пределах от 85:15 до 95:5. Наиболее распространенной формой мицеллярного казеина

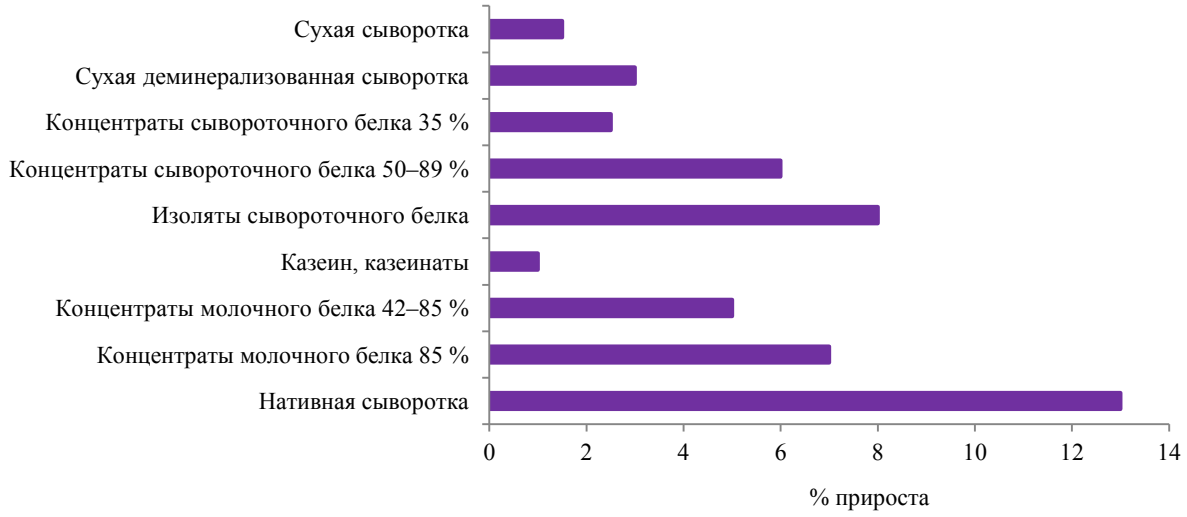

Рисунок 1. Рост производства молочных ингредиентов за период 2018–2021 гг. [7]

Figure 1. Dairy ingredients: production growth in 2018–2021 [7]

является продукт с соотношением 92:8. Реализация технологий фракционирования в этом направлении позволяет получать концентрат мицеллярного казеина и нативную сыворотку, характеризующуюся отсутствием гликомакропептида [12].

Концентрат мицеллярного казеина содержит казеин в нативной (мицеллярной) форме, а также часть нативных сывороточных белков, поэтому имеет аминокислотный профиль, отличающийся от традиционных казеинов, казеинатов и копреципитатов. Он характеризуется самой высокой биологической ценностью и высоким коэффициентом эффективности белка среди молочных продуктов [13]. Более медленный метаболизм казеина, по сравнению с сывороточными белками, позволяет отнести мицеллярный казеин к идеальной смеси белков для обеспечения положительного азотистого баланса в течение длительного периода времени.

Сохранение нативных свойств белков молока обеспечивает уникальные функционально-технологические характеристики концентрата мицеллярного казеина. Например, высокую термостабильность, т. е. концентрат мицеллярного казеина устойчив к температурам выше 80 °С при нейтральном pH [14]. Низкое содержание лактозы в нем обуславливает снижение скорости протекания реакции меланоидинообразования при тепловой обработке и уменьшение вероятности покоричневения пищевых продуктов по сравнению с другими белковыми ингредиентами. В отличие от классических казеинов концентрат мицеллярного казеина характеризуется практически полным отсутствием посторонних вкусов и запахов, а также лучшей растворимостью в воде. Концентрат мицеллярного казеина способен связывать 5–8 г воды и 2–3 г жира на 1 г. Это позволяет увеличить выход молокоемкой белковой продукции (сыр и творог) и улучшить ее консистенцию [14, 15]. Растворы концентрата мицеллярного казеина характеризуются высокой стабильностью пены – она практически не разрушается.

Мировые объемы производства концентрата мицеллярного казеина небольшие. В нашей стране подобные продукты не выпускаются. Поэтому организация производства концентратов мицеллярного казеина на отечественных предприятиях является актуальной задачей молочной отрасли, решение которой позволит обеспечить пищевую промышленность и население страны полноценными белками животного происхождения.

Цель работы – сформулировать технологические рекомендации по производству концентрата мицеллярного казеина из обезжиренного молока в условиях филиала «Калачеевский сырзавод» ПАО Молочный Комбинат «Воронежский». Для ее достижения сформулированы следующие задачи:

– исследовать состав и свойства образцов концентрата мицеллярного казеина различных производителей;
– определить требования к качеству и безопасности молока-сырья для производства концентрата мицеллярного казеина;
– обосновать режимы отдельных технологических операций получения концентрата мицеллярного казеина с учетом необходимых функционально-технологических характеристик готового продукта для организации его производства в условиях филиала «Калачеевский сырзавод» ПАО Молочный Комбинат «Воронежский».

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследований были выбраны обезжиренное молоко, выработанное на ПАО МК «Воронежский», концентраты мицеллярного казеина различных зарубежных производителей (ZUK «Pienas LT» (Литва), Ingredia (Франция), Murray Goulburn (Австралия)), а также образцы творога с массовой долей жира 9,0 % и сыра «Российский», выработанные с применением концентрата мицеллярного казеина по традиционной технологии.

Отбор проб объектов исследования и подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 26809.1-2014. Для изучения физико-химических показателей, а также установления химического состава сырья и опытных образцов использовали стандартные арбитражные и общепринятые в исследовательской практике методики, описанные в различных нормативных документах РФ, а также модифицированные, усовершенствованные и специальные, выполненные с применением современных приборов и информационных технологий. Исследования проводили в лабораториях кафедры технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», ПАО МК «Воронежский», научно-испытательной лаборатории «Молоко» ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ВНИМИ, Москва).

Фракционный состав белков обезжиренного молока. Анализ осуществляли посредством модульной системы для высокоэффективной жидкостной хроматографии с диодноматричными, рефрактометрическими, флуориметрическими и низкотемпературными по светорассеянию «Маэстро ВЭЖХ» (ООО «ИНТЕРЛАБ», Москва) детекторами в сочетании с тандемной масс-спектрометрией. Для обработки результатов было использовано специальное программное обеспечение для сервисного обслуживания прибора.

Анализ гранулометрического состава. Размеры частиц коммерческих образцов концентратов мицеллярного казеина различных зарубежных производителей определяли с применением лазерного дифракционного анализатора размера частиц LS 13 320 XR («Beckman Coulter», США). Анализ

осуществляли методом динамического светорассеяния с обработкой результатов с помощью программного обеспечения ADAPT Software. Преимуществом этого прибора является возможность установления размера частиц в наноэмульсиях и наносуспензиях. Эксперименты проводили с использованием сухого модуля и модуля с непрерывной многократной рециркуляцией анализируемого образца. Это позволило изучить кинетику его восстановления [16].

Аминокислотный состав определяли с применением системы капиллярного электрофореза P/ACA MDQ («SCIEX LLC», США). Сущность метода заключается в разложении пробы для анализа кислотным гидролизом с переводом аминокислот в свободные формы, получении фенилизотиокарбамильных производных аминокислот, дальнейшем их разделении и количественном определении методом капиллярного электрофореза. Для количественного определения результатов анализа было использовано встроенное программное обеспечение 32 Karat Software.

Каждый показатель был измерен от 5 до 10 раз в трехкратной последовательности. Расчеты, построение графиков и их описание проводили методами математической статистики с помощью приложений Microsoft Office 16 для Windows 10. Графические интерпретации и обработку данных осуществляли посредством пакета прикладных программ MathCad 16.0.

Результаты и их обсуждение

Технологический процесс получения концентрата мицеллярного казеина включает следующие операции: пастеризацию обезжиренного молока, его микро-, ультра- и диафильтрацию, а также распылительную сушку. С целью выявления возможных особенностей технологических режимов обработки обезжиренного молока для получения высококачественного концентрата мицеллярного казеина проведен сравнительный анализ химического состава и свойств нескольких коммерческих образцов готового продукта различных зарубежных производителей (табл. 1 и 2, рис. 2 и 3). В Российской Федерации безопасность подобных продуктов определяется ТР ТС 033/2013 и ТР ТС 021/2011. Конкретные стандарты, регламентирующие качество и безопасность концентрата мицеллярного казеина, отсутствуют.

Об избыточном температурном воздействии при производстве продукта свидетельствуют результаты анализа на наличие пригорелых частиц. Образец ZUK «Pienas LT» (Литва) содержит минимально возможное их количество.

Тепловое число сухих продуктов характеризует степень воздействия высокой температуры на белковые компоненты, приводящую к их возможной последующей денатурации. В основе принятой международной классификации сухих продуктов по этому показателю лежит зависимость увеличения доли связанного с казеином сывороточного белка β-лактоглобулина в результате его денатурации по мере повышения температуры или продолжительности тепловой обработки сырья и промежуточных продуктов. Это нежелательное явление для технологического процесса, поскольку

Таблица 1. Химический состав концентратов мицеллярного казеина различных производителей

Table 1. Chemical composition of micellar casein concentrates from various manufacturers

Наименование показателя	Образцы		
	ZUK «Pienas LT» (Литва)	Ingredia (Франция)	Murray Goulburn (Австралия)
Массовая доля влаги, %	6,18 ± 0,20	6,02 ± 0,20	6,06 ± 0,20
Массовая доля общего белка, %	78,60 ± 0,22	77,79 ± 0,22	79,85 ± 0,22
Массовая доля белка в СОМО, %	84,68	82,86	85,92
Соотношение казеин: сывороточные белки	87:13	90:10	85:15
Массовая доля жира, %	1,00 ± 0,15	0,10 ± 0,05	1,00 ± 0,15
Массовая доля лактозы, %	4,80 ± 0,50	4,51 ± 0,50	3,56 ± 0,50
Кислотность, °Т	15,70 ± 1,00	14,50 ± 1,00	15,40 ± 1,00
Активная кислотность, ед. pH	7,01 ± 0,02	7,05 ± 0,02	6,93 ± 0,02
Массовая доля золы, %	8,55 ± 0,06	7,59 ± 0,06	7,00 ± 0,06
Пригорелые частицы, диск	A	A/B	A/B
Содержание кальция, мг%	2506,40 ± 375,96	2460,40 ± 369,06	2180,47 ± 327,07
Содержание фосфора, мг%	690,60 ± 0,30	669,90 ± 0,30	640,90 ± 0,30
Содержание натрия, мг/кг	808,16 ± 121,22	277,90 ± 41,69	359,46 ± 53,92
Содержание калия, мг/кг	4312,31 ± 517,48	1406,11 ± 168,73	1696,97 ± 203,64
Содержание магния, мг/кг	498,53 ± 64,81	365,86 ± 47,56	486,89 ± 63,30

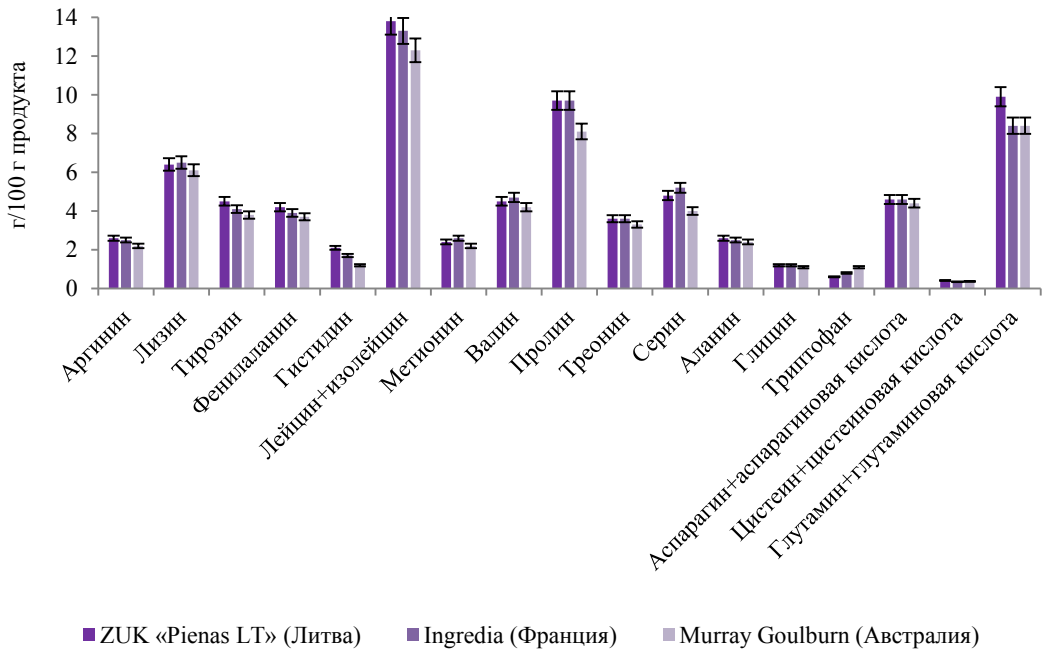

Рисунок 2. Аминокислотный состав изученных коммерческих образцов

Figure 2. Amino acid composition of commercial samples

Таблица 2. Сравнительный анализ функционально-технологических свойств концентратов мицеллярного казеина различных коммерческих образцов

Table 2. Functional and technological properties of various commercial micellar casein concentrates

Наименование показателя	Образцы		
	ZUK «Pienas LT» (Литва)	Ingredia (Франция)	Murray Goulburn (Австралия)
Показатель термообработки, тепловое число	86,4	88,6	83,6
Класс термообработки	Умеренно высокотемпературная	Высокотемпературная	Умеренно высокотемпературная
UMSPN, мг/г сухого продукта	2,2	1,2	3,4
Диспергируемость, %	55,94 ± 2,24	55,84 ± 2,22	59,53 ± 2,38
Смачиваемость, %	Менее 1,0	Менее 1,0	Менее 1,0
Объемная насыпная плотность, г/см^3	0,357 ± 0,028	0,390 ± 0,030	0,364 ± 0,030
Рыхлая насыпная плотность, г/см^3	0,458 ± 0,036	0,448 ± 0,035	0,461 ± 0,036
Насыпная плотность, г/см^3	0,503 ± 0,039	0,479 ± 0,037	0,497 ± 0,039
Индекс растворимости, см^3 сырого осадка	0,20 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,10 ± 0,01

денатурированные белки теряют способность к полной регидратации, эмульгированию, пенообразованию, а также снижают их водосвязывающие и влагоудерживающие свойства. Тепловое число является значимым показателем для регулирования температуры пастеризации и распылительной сушки в технологии концентрата мицеллярного казеина.

Важная характеристика сухих продуктов – размер частиц, влияющий на физические свойства: насыпную плотность, плотность частиц, межклеточный воздух и сыпучесть [17]. Размер частиц и их распределение в сухом концентрате мицеллярного казеина определяют способность к восстановлению сухого продукта, его смачиваемость, диспергируемость и возможность применения в рецептурах других продуктов [18–21]. В связи с этим был изучен гранулометрический состав коммерческих образцов концентрата мицеллярного казеина (рис. 3).

Небольшой размер частиц (до 90 мкм) и правильная форма позволяют получить плотную упаковку с незначительным содержанием абсорбированного воздуха, а также способствуют полной

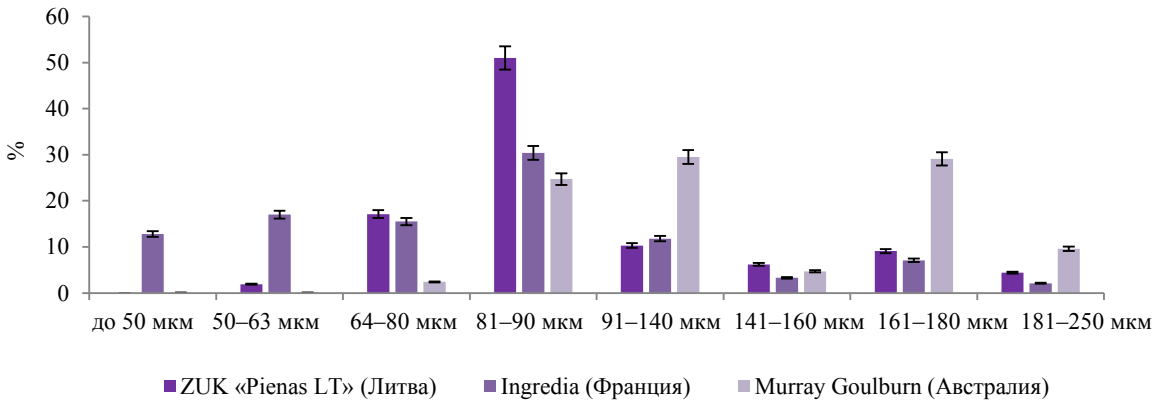

Рисунок 3. Распределение сухих частиц концентрата мицеллярного казеина различных коммерческих образцов по размерам

Figure 3. Dry particle garin-size distribution of various commercial micellar casein concentrates

Таблица 3. Химический состав и свойства средней пробы обезжиренного молока

Table 3. Chemical composition and properties of average skim milk sample

Показатель	Нормативная документация на метод анализа	Значение
Массовая доля сухих веществ, %	ГОСТ Р 54668-2011	10,3 ± 0,4
Массовая доля СОМО, %	ГОСТ Р 54668-2011	9,8 ± 0,4
Массовая доля общего белка, %, в т. ч. казеина сывороточных белков, в т. ч. α-лактальбумина, мг/см^3 β-лактоглобулина, мг/см^3 альбумина сыворотки крови, мг/см^3 лактоферрина, мг/см^3 небелкового азота, % неказеинового азота, %	ГОСТ Р 53951-2010 ISO/CD 17997-1/IDF 29-1 ГОСТ 34536-2019 Метод ВЭЖХ ГОСТ 55246-2012 СТБ ISO 17997-1-2012	3,35 ± 0,05 2,460 ± 0,033 0,62 ± 18,00 % относ. 1,54 ± 0,50 % относ. 3,69 ± 0,50 % относ. 0,491 ± 0,500 % относ. 0,025 ± 0,500 % относ. 0,0313 ± 0,0030 0,061 ± 0,004
Массовая доля жира, %	ГОСТ 5867-90	0,05 ± 0,03
Массовая доля лактозы, %	ГОСТ Р 54667-2011	4,95 ± 0,70
Содержание кальция, мг%	ГОСТ Р 55331-2012	118,37 ± 0,50
Содержание общего фосфора, мг%	ГОСТ 31980-2012	69,08 ± 0,12
Титруемая кислотность, °Т	ГОСТ 3624-92	18 ± 2
Активная кислотность, pH	ГОСТ 32892-2014	6,74 ± 0,04
Плотность, кг/м^3	ГОСТ Р 54758-2011	1034,0 ± 1,0
Группа термоустойчивости по алкогольной пробе	ГОСТ 25228-82	I
КМАФАнМ, КОЕ/см^3	ГОСТ 32901-2014	6×10^4
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в 25 см^3 продукта	ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002)	Отсутствуют

регидратации с более высокой скоростью в сравнении с крупными сухими частицами (табл. 2, рис. 3) [22]. Крупные частицы концентрата мицеллярного казеина характеризуются большей смачиваемостью и диспергируемостью. Этому способствует низкое содержание молочного жира в исходной смеси. Регулирование условий сушки отдельной партии концентрата мицеллярного казеина позволит обеспечить варьирование функционально-технологических свойств готового продукта в зависимости от конкретной сферы его применения.

Коммерческие образцы концентрата мицеллярного казеина были применены для выработки нескольких партий творога с массовой долей жира 9,0 % на поточно-механизированной линии Tewes-Bis и сыра «Российский» в условиях ПАО МК «Воронежский». Установлено, что концентрат мицеллярного казеина с высоким соотношением казеин:сывороточные

белки и умеренно высокой тепловой обработкой (ZUK «Pienas LT» (Литва) и Murray Goulburn (Австралия)) увеличивают выход готового продукта на 10–12 % в сравнении с традиционной рецептурой. Концентрат мицеллярного казеина производства Murray Goulburn (Австралия) характеризуется максимальной концентрацией неденатурированного сывороточного белкового азота (табл. 2). Это обеспечивает повышение выхода белковых молочных продуктов на 2–3 % в сравнении с другими образцами концентрата мицеллярного казеина. Таким образом, перспективным является производство концентрата мицеллярного казеина с максимально возможным изменением соотношения казеин:сывороточные белки (92:8), но с тепловым числом, соответствующим умеренно высокотемпературной обработке.

Определены требования к качеству обезжиренного молока-сырья и обоснованы технологические режимы его обработки для максимального сохранения нативных свойств в процессе получения концентрата мицеллярного казеина. Наиболее важными характеристиками являются массовая доля белка и микробиологические показатели (в соответствии с ТР ТС 033/2013 КМАФАнМ не более 5×10^5 КОЕ/см^3, сальмонеллы не допускаются в 25 см^3). Это обусловлено щадящими режимами тепловой обработки в технологическом процессе. Усредненные значения показателей качества обезжиренного молока, полученного в условиях ПАО МК «Воронежский», представлены в таблице 3.

Установлено, что соотношение казеин:сывороточные белки в исследованном обезжиренном молоке составляет 80:20. Поскольку средний диаметр казеиновых мицелл в коровьем молоке находится в диапазоне 30–400 нм, субмицелл – 10–30 нм, а сывороточных белков – 4–15 нм, то для повышения содержания массовой доли казеина целесообразно подвергать его микро- и диафильтрации с применением мембран с диаметром пор не менее 5 нм [23]. Различные типы микрофильтрационных мембран (полимерные или керамические) характеризуются разной селективностью по белку. В сочетании со строго установленным фактором концентрирования этот вид обработки обезжиренного молока будет определять состав конечного продукта и выход концентрата мицеллярного казеина.

Микробиологические показатели обезжиренного молока (КМАФАнМ и отсутствие патогенных микроорганизмов), полученного в условиях ПАО МК «Воронежский», позволяют применять низкотемпературную пастеризацию в процессе выработки концентрата мицеллярного казеина для максимально возможного сохранения нативных свойств используемого сырья.

Выводы

По результатам проведенных исследований образцов концентрата мицеллярного казеина различных производителей установлено, что на повышение выхода белковых молочных продуктов, выработанных с применением концентрата мицеллярного казеина, влияние оказывают соотношение в них казеин:сывороточные белки и степень денатурации белков в процессе производства.

Поэтому технология получения концентрата мицеллярного казеина из обезжиренного молока в условиях филиала «Калачеевский сырзавод» ПАО Молочный Комбинат «Воронежский» должна включать применение мембранных методов для изменения соотношения казеин:сывороточные белки до 92:8, а также пастеризацию молока-сырья при температуре не выше 76 ± 2 °С с выдержкой 10–15 с и щадящие режимы сушки концентрированной смеси для максимального сохранения нативных свойств молочных белков. В этой связи для обеспечения безопасности концентрата мицеллярного казеина по микробиологическим показателям общая бактериальная обсемененность обезжиренного молока-сырья не должна превышать 5×10^5 КОЕ/см^3.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.I. Melnikova managed the project, proposed a scheme of the experiment and organized production trials, conducted consultation during the study. E.B. Stanislavskaya reviewed of the literature and conducted the patent search on an investigated problem. E.V. Bogdanova wrote the manuscript, corrected it before filing in editing and is responsible for plagiarism. E.D. Shabalova conducted an experiment.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Prosekov AYu, Ivanova SA. Food security: The challenge of the present. Geoforum. 2018;91:73–77. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.02.030

2. Volodin DN, Gridin AS, Evdokimov IA. Prospects of the production of dry protein ingredients based on the milk raw materials. Dairy Industry. 2020;(1):29–30. (In Russ.). [Володин Д. Н., Гридин А. С., Евдокимов И. А. Перспективы производства сухих белковых ингредиентов на основе молочного сырья // Молочная промышленность. 2020. № 1. С. 28–30.].

3. Królczyk JB, Dawidziuk T, Janiszewska-Turak E, Sołowiej B. Use of whey and whey preparations in the food industry – A review. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2016;66(3):157–165. https://doi.org/10.1515/pjfns-2015-0052

4. Meena GS, Singh AK, Panjagari NR, Arora S. Milk protein concentrates: Opportunities and challenges. Journal of Food Science and Technology. 2017;54(10):3010–3024. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2796-0

5. Gmoshinskiy IV, Zilova IS, Zorin SN, Demkina EYu. Membrane technologies – an innovative method of protein biological value increasing in young children feeding. Current Pediatrics. 2012;11(3):57–64. (In Russ.). https://doi.org/10.15690/vsp.v11i3.297

6. Halavach TN, Kurchenko VP, Zhygankov VG, Evdokimov IA. Determination of physicochemical, immunochemical and antioxidant properties, toxicological and hygienic assessment of whey protein concentrate and its hydrolysate. Foods and Raw Materials. 2015;3(2):105–114. https://doi.org/10.12737/13127

7. 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

8. Lyalin VA, Mikheev MS. Membrane technologies and equipment in the dairy industry. Milk Processing. 2020;254(12): 28–31. (In Russ.). [Лялин В. А., Михеев М. С. Мембранные технологии и оборудование в молочной промышленности // Переработка молока. 2020. Т. 254. № 12. С. 28–31.].

9. Korotkiy IA, Plotnikov IB, Mazeeva IA. Current trends in whey processing. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(2):227–234. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-227-234

10. Kumar P, Sharma N, Ranjan R, Kumar S, Bhat ZF, Jeong DK. Perspective of membrane technology in dairy industry: A review. Asian-Australasian Journal of Animal Science. 2013;26(9):1347–1358. https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13082

11. Chelnokov VV, Mikhailov AV, Zabolotnaya E. The relevance of industrial use of membrane technology in the Russian Federation. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2020;34(6):69–71. (In Russ.). [Челноков В. В., Михайлов А. В., Заболотная Е. Актуальность использования в промышленных масштабах мембранных технологий в Российской Федерации // Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. 34. № 6. С. 69–71.].

12. Ahmad T, Aadil RM, Ahmed H, Rahman U, Soares BCV, Souza SLQ, *et al.* Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. Trends in Food Science and Technology. 2019;88:361–372. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003

13. Smirnova IA, Gutov NYu, Lukin AA. Research of composition of milk protein concentrates. Food Processing: Techniques and Technology. 2018;48(1):85–90 (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-85-90

14. Verruck S, Sartor S, Marenda FB, Barros ELS, Camelo-Silva C, Canella MHM, *et al.* Influence of heat treatment and microfiltration on the milk proteins properties. Advances in Food Technology and Nutritional Sciences. 2019;5(2):54–66. http://doi.org/10.17140/AFTNSOJ-5-157

15. Kruchinin AG, Illarionova EE, Bigaeva AV, Turovskaya SN. The role of dry milk technological properties in forming the quality of food systems. Bulletin of KSAU. 2020;161(8):166–173. (In Russ.). https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-8-166-173

16. Galstyan AG, Petrov AN, Illarionova EE, Semipyatniy VK, Turovskaya SN, Ryabova AE, *et al.* Effects of critical fluctuations of storage temperature on the quality of dry dairy product. Journal of Dairy Science. 2019;102(12):10779–10789. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17229

17. Radaeva IA, Illarionova EE, Turovskaya SN, Ryabova AE, Galstyan AG. Principles of domestic dry milk quality assurance. Food Industry. 2019;(9):54–57. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10145

18. Felix da Silva D, Ahrné L, Ipsen R, Hougaard AB. Casein-based powders: Characteristics and rehydration properties. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2018;17(1)240–254. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12319

19. Wu S, Cronin K, Fitzpatrick J, Miao S. Updating insights into the rehydration of dairy-based powder and the achievement of functionality. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022;62(24):6664–6681. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1904203

20. Kruchinin AG, Turovskaya SN, Illarionova EE, Bigaeva AV. Evaluation of the effect of κ-casein gene polymorphism in milk powder on the technological properties of acid-induced milk gels. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):53–66. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-53-66

21. Batista MA, Campos NCA, Silvestre MPC. Whey and protein derivatives: Applications in food products development, technological properties and functional effects on child health. Cogent Food and Agriculture. 2018;4(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1509687

22. Ji J, Fitzpatrick J, Cronin K, Maguire P, Zhang H, Miao S. Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility. Food Hydrocolloids. 2016;58:194–203. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.030

23. Tyopel A. Chemistry and physics of milk. St. Petersburg: Professiya; 2012. 831 p. (In Russ.). [Тёпел А. Химия и физика молока. СПб.: Профессия, 2012. 831 с.].