

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-246-252>



Поступила 13.02.2024

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

Поступила после рецензирования 20.05.2024

Научная статья

Принята в печать 24.05.2024

Open access

© Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б., Богданова Е. В., Шабалова Е. Д., 2024

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕМБРАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗОЛЯТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

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

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

микрофильтрация, ультрафильтрация, диафильтрация, сывороточные белки, керамические мембраны, фракционирование

Работа посвящена изучению совместного влияния технологических параметров микро- и ультрафильтрации для обоснования рациональных режимов при производстве изолята сывороточных белков. Установлена последовательность технологических операций в производстве изолята сывороточных белков: очистка молочной сыворотки от казеиновой пыли и жира, пастеризация, ультрафильтрация, микрофильтрация, ультрафильтрация (совмещенная с диафильтрацией), распылительная сушка. Концентрирование проводили от массовой доли сухих веществ 5,4–5,6% до 11,3–12,6% (фактор концентрирования по белку — 6,5–13). Полученный ретентат направляли на микрофильтрацию для максимального удаления молочного жира. Процесс проводили с применением керамических мембран (размер пор от 0,14 мкм до 1,4 мкм). Задерживающая способность мембран по белку составляла 0,2–0,4%, по жиру 64,6–76,2%. Установлены рациональные режимы микрофильтрации: входящее давление 0,15–0,2 МПа, температура — 10–15 °С. Микрофильтрационный пермеат подвергали повторной ультрафильтрации, совмещая ее с диафильтрацией. При диафильтрации половинным объемом воды удавалось достигнуть содержания белка в сухом веществе продукта не более 87%, что не соответствовало требованиям к изоляту. Увеличение количества воды для диафильтрации способствовало повышению содержания белка в сухом веществе концентрата. Массовая доля белка изолята сывороточных белков перед сушкой составляла не менее 17%. Сухой изолят сывороточных белков характеризовался высоким содержанием белка — 93% (в пересчете на СОМО), показатели качества и безопасности соответствовали требованиям нормативной документации.

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). НИОКР проводятся во ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ).

Received 13.02.2024

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

Accepted in revised 20.05.2024

Review article

Accepted for publication 24.05.2024

Open access

© Melnikova E. I., Stanislavskaya E. B., Bogdanova E. V., Shabalova E. D., 2024

JUSTIFICATION OF MEMBRANE FILTRATION PARAMETERS IN THE PRODUCTION OF WHEY PROTEIN ISOLATE

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

Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

KEY WORDS:

microfiltration, ultrafiltration, diafiltration, whey proteins, ceramic membranes, fractionation

ABSTRACT

The research was aimed at studying the combined effect of micro- and ultrafiltration technological parameters for justification of rational modes in the production of whey protein isolate. The process flow of whey protein isolate production was determined. It includes whey purification from casein dust and fat, pasteurization, ultrafiltration, microfiltration, ultrafiltration (combined with diafiltration), spray drying. Concentration was carried out from a dry matter mass fraction of 5.4–5.6% to 11.3–12.6% (protein concentration factor is 6.5–13). Microfiltration of the resulting retentate was used to maximize disposal of milk fat. The process was carried out using ceramic membranes (pore size from 0.14 μm to 1.4 μm). Their protein retention capacity was 0.2–0.4%, fat retention capacity was 64.6–76.2%. Rational microfiltration modes were selected. They are inlet pressure 0.15–0.2 MPa and temperature 10–15 °C. The microfiltration permeate was treated via repeated ultrafiltration combining it with diafiltration. It was possible to achieve the protein content in dry matter of the product not more than 87% using diafiltration with half the volume of water. However, it does not meet the requirements for the isolate. Increasing the amount of water for diafiltration caused a rise in the protein content in dry matter of the concentrate. The protein mass fraction in the whey protein isolate before drying was at least 17%. The whey protein isolate powder was characterized by the high protein content (93% in terms of SNF), quality and safety indicators met the requirements of regulatory documentation.

FUNDING: The research was performed within the framework of the project using state support for the development of cooperation between Russian institutions of higher education and real sector of economy with the aim of realization of the complex project on creation of hi-tech production envisaged by the Decree of the Russian Federation Government (April 09, 2010, No. 218) on the theme “Creation of the high-tech import-substituting production of protein ingredients based on dairy raw materials for healthy food products” (Agreement No. 075–11–2022–020, April 07, 2022). The project has been carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. R&D has been performed in the FSBEI HE Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUET).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мельникова, Е. И., Станиславская, Е. Б., Богданова, Е. В., Шабалова, Е. Д. (2024). Обоснование параметров мембранной фильтрации при производстве изолята сывороточных белков. *Пищевые системы*, 7(2), 246–252. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-246-252>

FOR CITATION: Melnikova, E. I., Stanislavskaya, E. B., Bogdanova, E. V., Shabalova, E. D. (2024). Justification of membrane filtration parameters in the production of whey protein isolate. *Food Systems*, 7(2), 246–252. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-246-252>

1. Введение

Развитие индустрии продуктов функционального и специализированного питания — основной драйвер в разработке и практической реализации технологий пищевых ингредиентов, в т. ч. концентратов и изолятов сывороточных белков [1]. Сывороточные белки содержат оптимальный набор незаменимых аминокислот, в том числе с разветвленной цепью (валин, лейцин и изолейцин) и превосходят альтернативные белки животного и растительного происхождения по своей биологической ценности [2]. Наиболее значимыми фракциями сывороточных белков являются β -лактоглобулин, α -лактоальбумин, иммуноглобулины, альбумин сыворотки крови, лактоферрин, лактопероксидаза и др. Сывороточные белки демонстрируют широкий диапазон биологической активности, положительно влияя на пищеварение, метаболизм нутриентов, резистентность к заболеваниям [3]. β -лактоглобулин является источником пептидов, обладающих антигипертензивной, антимикробной, антиоксидантной, противораковой, иммуномодулирующей, опиоидной и гипохолестеринемической активностью [4]. Одной из важных физиологических функций этого белка является транспорт ирвонка и защита ретинола. Кроме того, β -лактоглобулин связывает свободные жирные кислоты и тем самым способствует липолизу, поскольку жирные кислоты являются сильными ингибиторами липаз [5]. Вторым белком сыворотки по количественному соотношению является α -лактоальбумин. Это компактный глобулярный белок, который характеризуется самыми малыми размерами по сравнению с другими сывороточными белками. Биологическая функция α -лактоальбумина заключается в регулировании синтеза лактозы из УДФ-Д-галактозы и D-глюкозы [6]. В присутствии α -лактоальбумина активизируется фермент галактозилтрансфераза, который катализирует перенос галактозы в N-ацетилглюкозаминиловые остатки на боковых углеводных цепях гликопротеина. α -лактоальбумин и его гидролизаты обладают антистрессовой активностью, антимикробным и иммуномодулирующим действием, гипотензивной активностью, способностью регулировать рост клеток. Лактоферрин и церулоплазмин — белки, связывающие железо и медь. Лактоферрин является гликопротеидом, имеет два участка для связывания металла, по структуре и функциям идентичен трансферрину крови. Главной функцией лактоферрина является, в связи с этим, транспорт железа. Кроме того, лактоферрин способен выполнять важнейшую защитную функцию, он проявляет бактериостатическое действие на микрофлору кишечника, способствуя усилению бактерицидного действия лизоцима. Церулоплазмин является медьсодержащим белком с молекулярной массой около 15000. Регулирует содержание меди в организме, обладает ферментативными свойствами ферроксидазы — катализирует окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} . Церулоплазмин является наиболее сильным среди сывороточных белков ингибиторов образования гипохлорита в системе «миелооксидаза — H_2O_2 — Cl⁻»; супрессивный эффект обусловлен его прямым взаимодействием с миелооксидазой. В физиологических условиях церулоплазмин на порядок более эффективно захватывает OCl⁻, чем трансферрин, альбумид, супероксиддисмутаза и выполняет, таким образом, ведущую роль в антиоксидантной защите клеток в острой фазе воспаления. Способность церулоплазмينا окислять ионы Fe^{2+} , а также эффективно ингибировать гидроксильные радикалы делает его наиболее эффективным сывороточным ингибитором активированных кислородных метаболитов, образующихся в реакции Фентона. Молекулы иммуноглобулинов представляют собой мономеры и полимеры, построенные из одинаковых структурных единиц или субъединиц. Иммуноглобулины относятся к гликопротеидам — к тяжелым цепям субъединиц присоединены олигосахариды. Последние представлены остатками гексоз, гексозаминов и сиаловой кислоты. Иммуноглобулины молока способствуют агглютинации бактериальных клеток и антигенов, связыванию белков системы комплемента, предотвращению адгезии патогенных микроорганизмов к клеткам эндотелия, ингибированию метаболизма бактерий путем блокирования секретиремых бактериальных ферментов, нейтрализации токсинов и вирусов. Ангиогенин — специфическая рибонуклеаза, являющаяся активным фактором роста кровеносных сосудов и основой создания лекарственных препаратов для лечения ран различного генезиса [7].

Перспективность развития производства белковых сывороточных ингредиентов подтверждена существующим сырьевым потенциалом [8], а также крайне незначительной долей собственного производства, не обеспечивающего продовольственную безопасность страны. Ежегодно в Российскую Федерацию импортируется более 50 тыс. т белковых ингредиентов, в то время как собственное производство составляет не более 25% от потребности в них [9]. Наиболее концентрированной и очищенной формой сывороточных белков яв-

ляется изолят [10]. Его производство характеризуется применением баромембранных методов, основанных на разнице размеров частиц молочной сыворотки (Таблица 1).

Таблица 1. Дисперсная характеристика молочной сыворотки [11]
Table 1. Dispersion characteristic of whey [11]

Компонент сыворотки	Размер молекулы или частицы, нм
Жир	200–10000
Казеин	40–300
α -Лактоглобулин	5–20
β -Лактоглобулин	25–50
Молочный сахар (лактоза)	1,0–1,5
Минеральные соли	0,1–1,0

Мембранная фильтрация (ультра- и микрофильтрация) обеспечивает максимальное удаление из сыворотки жира, лактозы, минеральных веществ, а также концентрирование сывороточных белков [12]. Фракционирование сухих веществ молочной сыворотки с последующим концентрированием белка на практике реализуется, как правило, с применением ультрафильтрации [13]. Удаление из УФ-концентрата молочного жира может быть обеспечено технологической операцией микрофильтрации [14]. Дополнительное снижение доли истинно растворимых веществ возможно с применением диафильтрации [15]. Особую важность при проведении мембранной фильтрации имеют характеристики мембран, обеспечивающие получение белковых ингредиентов заданного качества. Индикаторами способности мембраны задерживать молекулы определенного размера могут служить размер пор, пропускная и задерживающая способность [16]. На проницаемость мембран влияют параметры эксплуатации: температура, давление, концентрация сухих веществ [17]. Чтобы определить, пройдут ли те или иные вещества через мембрану, важно знать размер, форму, деформируемость и гидродинамический радиус их молекул. Обычно молекулы с линейной, легко деформируемой формой хуже задерживаются мембраной, чем структурированные, жесткие молекулы с той же молекулярной массой. Под действием давления более гибкие молекулы могут деформироваться и проходить через поры, которые иначе были бы слишком малы для них. На кажущийся размер молекулы в свою очередь влияют ионная сила и значение pH раствора. Так, сильно заряженный полиэлектролит легче задерживается мембраной, когда ионная сила раствора меньше. В этих условиях радиус молекулы увеличивается и, следовательно, прохождение молекулы через поры мембраны затрудняется [18]. На проницаемость мембраны влияет также состав фильтруемого материала [19]. Так, низкомолекулярные белки лучше проходят через мембрану, находясь в чистом растворе, чем если бы они подвергались мембранной фильтрации в присутствии высокомолекулярных белков [18].

В известной литературе приводятся разные варианты комбинирования мембранных методов для получения изолятов [20]. Процесс ультрафильтрации изучен более широко, разработаны и апробированы его технологические режимы. Однозначного решения по параметрам микрофильтрации не установлено [21]. Определению ее рациональных режимов посвящен ряд работ российских и зарубежных авторов, в которых изучено влияние размера пор мембран, температуры и давления микрофильтрации. Показано, что данные технологические параметры оказывают наиболее существенное влияние на пропускную и задерживающую способность мембран и возможность достижения конкретного результата по содержанию белка. Определенное значение имеет размер пор [22] и материал, из которого изготовлена мембрана [23]. Так, мембранную фильтрацию проводят с использованием полимерных, керамических и других типов мембран, выбор которых зависит от условий производства и целей процесса. Исследование совместного влияния технологических параметров микро- и ультрафильтрации имеет большое значение при производстве изолята сывороточных белков с заданными качественными показателями.

Цель работы — определение рациональных технологических параметров микро- и ультрафильтрации, позволяющих получить изолят сывороточных белков с заданными качественными показателями. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определить последовательность операций ультра-, микро- и диафильтрации при производстве изолята сывороточных белков;
- обосновать выбор мембран (селективную проницаемость), а также рациональных параметров микрофильтрации;

□ исследовать состав продуктов мембранного фракционирования и концентрирования на всех стадиях технологического процесса и конечных продуктов.

2. Объекты и методы

Исследования проводились в экспериментальных, исследовательских и производственных лабораториях ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (г. Воронеж, РФ), ПАО Молочный комбинат «Воронежский» (г. Воронеж, РФ), Филиала ПАО МК «Воронежский» «Калачеевский сырзавод» (г. Калач, РФ).

Объекты исследования — очищенная (в т. ч. обезжиренная) пастеризованная подсырная сыворотка, полученная при производстве полутвердых сыров (Российский, Калачеевский, Сливочный), УФ-концентрат и пермеат подсырной сыворотки, микрофильтрационный концентрат и фильтрат, полученные в результате микрофильтрации УФ-концентрата подсырной сыворотки, сгущенный изолят сывороточных белков, сухой изолят сывороточных белков.

Переработке подвергали не менее 600 л очищенной пастеризованной молочной сыворотки. Для проведения процесса диафильтрации применяли питьевую воду, прошедшую обратноосмотическую очистку.

Для проведения процессов мембранной фильтрации применяли следующее оборудование:

1. Установка пилотная мембранная марки «ВОДОПАД УМТКп-1» производства ООО «ФИЛЬТРОПОР ГРУПП» (РФ), оснащенная керамическими микрофильтрационными мембранами с размером пор 0,14 и 1,4 мкм.
2. Установка мембранной фильтрации УУФ-1М19-6 производства компании CEMTRON (Германия), оснащенная керамическими микрофильтрационными мембранами с размером пор 0,1 и 0,8 мкм, полимерными ультрафильтрационными мембранами с размером пор 20 кДа.

Сушку осуществляли на лабораторной распылительной сушилке УС-500 (КНР) при температуре входящего воздуха 160–170 °С, исходящего воздуха — 85–95 °С.

При выполнении экспериментальных исследований использовали стандартные методы. Массовую долю сухих веществ объектов исследования определяли гравиметрическим методом, основанным на высушивании анализируемой пробы продукта при постоянной температуре и вычислении массовой доли сухих веществ по потере массы анализируемой пробы в процентах. Массовую долю общего белка, истинного белка, сывороточных белков оценивали методом Кьельдаля. Метод основан на минерализации органического вещества анализируемой пробы продукта концентрированной серной кислотой в присутствии катализатора с образованием сернокислого аммония, переведении его в аммиак, отгонке последнего в раствор борной кислоты, количественном учете аммиака титриметрическим методом и расчете массовой доли белка в анализируемой пробе. Для определения доли сывороточных белков предварительно проводят осаждение казеина раствором уксусной кислоты. Массовую долю жира определяли кислотным методом Гербера, основанным на выделении жира из продукта под действием концентрированной серной кислоты и изоамилового спирта с последующим центрифугированием и измерении объема выделившегося жира в градуированной части жиромера. Массовую долю углеводов оценивали поляриметрическим методом с помощью автоматического поляриметра-сахариметра AP-500 (ATAGO CO., Япония). Метод основан на измерении степени поляризации света и угла вращения плоскости поляризации света при прохождении его через оптически активные вещества. Определение массовой доли золы проводили весовым методом после озонирования пробы продукта при температуре (550±25) °С. Плотность объектов исследования оценивали ареометрическим методом, основанным на определении объема вытесненной жидкости и массы плавающего в ней ареометра. Титруемую кислотность определяли титриметрическим методом, основанным на определении точки эквивалентности в присутствии индикатора фенолфталеина. Значение активной кислотности определяли потенциометрическим методом, основанным на измерении разности потенциалов между двумя электродами (измерительным и электродом сравнения), погруженными в анализируемую пробу. Определение индекса растворимости проводили по методике, основанной на измерении объема нерастворившегося осадка в восстановленной пробе сухого молочного продукта. Количество дрожжей и плесневых грибов определяли методом, основанным на их способности при посеве продукта либо его разведений на плотную питательную среду образовывать видимые характерные колонии через 3–5 сут при температуре (24±1) °С или (30±1) °С. Общее количество микроорганизмов оценивали методом, который основан на подсчете колоний микроорганизмов, вырастающих на твердой

питательной среде КМАФАнМ при температуре (30±1) °С в течение 72 ч. Идентификацию колоний Salmonella проводили с помощью биохимических и серологических тестов. Определение листерий было основано на их культивировании при температуре (37±1) °С в течение (24±3) ч и идентификации по соответствующим морфологическим, культуральным и биохимическим признакам. Пропускную способность мембраны определяли как количество пермеата, прошедшего через единицу поверхности мембраны в единицу времени. Задерживающую способность мембраны рассчитывали по формуле:

$$R = \frac{c_f - c_p}{c_f},$$

где c_f — исходная концентрация некоторого компонента; c_p — концентрация компонента в пермеате.

Полученные экспериментальные данные были проанализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA с использованием статистического программного обеспечения STATISTICS (версия 13, StatSoft Inc., США). Различия при $p < 0,05$ считались статистически значимыми, тогда как тенденция рассматривалась, когда $0,05 = p < 0,1$.

3. Результаты и обсуждение

Состав и качественные показатели подсырной сыворотки (Таблица 2), подвергнутой ультрафильтрации, соответствовали требованиям нормативной документации к сыворотке-сырью.

Таблица 2. Физико-химические показатели подсырной сыворотки

Table 2. Physico-chemical characteristics of cheese whey

Наименование показателя	Значение показателя
Вкус и запах	Характерный для молочной сыворотки, сладковатый, без посторонних привкусов и запахов
Внешний вид и консистенция	Однородная непрозрачная или полупрозрачная жидкость. Допускается наличие незначительного белкового осадка
Цвет	от светло-желтого до бледно-зеленого
Массовая доля сухих веществ, %	5,5±0,1
Массовая доля белка, %	0,76±0,2
Массовая доля жира, %	0,01
Массовая доля лактозы, %	4,2±0,5
Массовая доля золы, %	0,52 ±0,03
Плотность, кг / м ³	1021±1
Кислотность, °Т	10–11
Активная кислотность, ед. рН	6,46 6,53

Концентрирование белков молочной сыворотки на установке ультрафильтрации проводили при следующих параметрах: температура в интервале 10–15 °С, давление 0,1–0,5 МПа, что согласуется с известными литературными данными. В процессе ультрафильтрации в концентрате наблюдали закономерное увеличение массовой доли сухих веществ и белка (Таблица 3, Рисунок 1).

Таблица 3. Состав и свойства продуктов ультрафильтрационного фракционирования подсырной сыворотки

Table 3. Composition and properties of the products of ultrafiltration fractionation of cheese whey

Наименование показателя	Значение показателя	
	концентрат	фильтрат
Массовая доля сухих веществ, %	12,00±0,60 ^a	4,48±0,22 ^b
Массовая доля общего белка, %	7,50±0,37 ^a	0,27±0,01 ^b
Массовая доля жира, %	0,2±0,1 ^a	менее 0,02 ^b
Массовая доля лактозы, %	3,70±0,18 ^b	4,00±0,20 ^a
Массовая доля золы, %	0,54±0,02 ^a	0,52±0,02 ^b
Титруемая кислотность, °Т	20±1 ^a	9 ^b
Плотность, кг / м ³	1040±3 ^a	1019±2 ^b
Активная кислотность, ед. рН	6,57±0,01 ^b	6,67 ±0,01 ^a

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы $n = 5$. Средние значения в столбце без общей надстрочной буквы различаются ($p < 0,05$) по данным однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

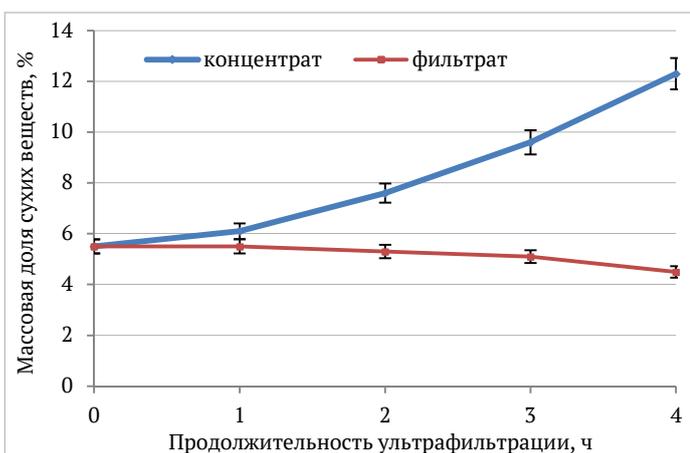


Рисунок 1. Изменение массовой доли сухих веществ молочной сыворотки в процессе ультрафильтрации
Figure 1. Changes in the mass fraction of dry substances of whey during ultrafiltration

Содержание сухих веществ в фильтрате незначительно снижалось за счет перехода белков в концентрат, массовая доля белка уменьшалась на 50–70%.

Процесс ультрафильтрации проводили до массовой доли сухих веществ концентрата 11,3–12,6%, в том числе белка 5–10%, продолжительность ультрафильтрации в среднем составила 4 ч. Вязкость получаемого ретентата повышалась, что существенно снижало производительность ультрафильтрационной мембраны. Далее ретентат направляли на микрофильтрацию с целью максимального удаления молочного жира при минимальных потерях белка и микробиологической очистки.

Единого мнения по размеру пор мембран, предназначенных для микрофильтрации сыворотки, в литературных источниках нет. Так, Babenyshev с соавторами [24] отмечает возможность микрофильтрации сыворотки с использованием мембран 0,1 и 0,2 мкм. Результаты оптимизации процесса, вместе с тем, показывают целесообразность применения мембран 0,3–0,4 мкм и более [24]. Mourouzidis-Mourouzidis и др. использует керамические мембраны с размером пор 0,8 мкм [25]. В исследовании Varukčić с соавторами [26] наилучшие результаты микрофильтрации были получены для мембран с размером пор 0,1 мкм и 0,5 мкм.

При проведении экспериментов изучали селективную проницаемость мембран с разным размером пор. Микрофильтрация на мембранах с размером пор 0,1 мкм обеспечивала полный переход молочного жира в ретентат. Вместе с тем, было установлено значительное перераспределение и других компонентов сухих веществ (Рисунок 2), в том числе белка, между концентратом и фильтратом.

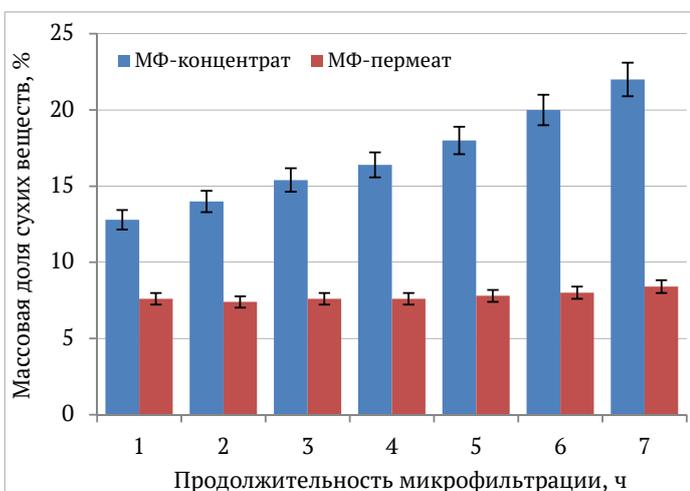


Рисунок 2. Изменение массовой доли сухих веществ концентрата и фильтрата в процессе микрофильтрации УФ-концентрата подсырной сыворотки
Figure 2. Changes in the mass fraction of dry substances of the concentrate and filtrate during microfiltration of the UF-concentrate of cheese whey

Повышение массовой доли сухих веществ концентрата в процессе микрофильтрации обусловлено переходом не только молочного жира в концентрат, но и белка (Таблица 4).

Таблица 4. Состав и физико-химические свойства микрофильтрационного концентрата и пермеата

Table 4. Composition and physico-chemical properties of the microfiltration concentrate and permeate

Наименование показателя	Значение показателя	
	МФ-концентрат	МФ-пермеат
Массовая доля сухих веществ, %	21,98 ± 1,09 ^a	8,21 ± 0,41 ^b
Массовая доля общего белка, %	12,18 ± 0,60 ^a	1,52 ± 0,07 ^b
Массовая доля жира, %	0,50 ± 0,02 ^a	0 ^b
Массовая доля лактозы, %	8,7 ± 0,4 ^a	4,98 ± 0,24 ^b
Массовая доля золы, %	0,60 ± 0,03 ^a	0,35 ± 0,01 ^b
Титруемая кислотность, °Т	35 ± 1 ^a	11 ^b
Активная кислотность, ед. рН	6,45 ± 0,32 ^a	6,38 ± 0,31 ^b

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 5. Средние значения в столбце без общей надстрочной буквы различаются (p < 0,05) по данным однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

Эффективность мембранного фракционирования (размер пор 0,1 мкм) по белку — (70,3 ± 3,5)%, по жиру 100%.

Применение мембраны с размером пор 1,4 мкм приводило к максимальному сохранению белков в фильтрате. Однако, МФ-пермеат содержал значительное количество жира (Таблица 5).

Задерживающая способность мембраны с размером пор 1,4 мкм по белку составила 0,2%, по жиру (68 ± 3,4)%.

Таблица 5. Состав и физико-химические свойства микрофильтрационного концентрата и пермеата

Table 5. Composition and physico-chemical properties of the microfiltration concentrate and permeate

Наименование показателя	Значение показателя	
	МФ-концентрат	МФ-пермеат
Массовая доля сухих веществ, %	13,00 ± 0,65 ^a	10,09 ± 0,50 ^b
Массовая доля общего белка, %	7,48 ± 0,37 ^a	5,37 ± 0,26 ^b
Массовая доля жира, %	0,50 ± 0,02 ^a	0,16 ^b
Массовая доля истинного белка, %	7,26 ± 0,36 ^a	5,42 ± 0,27 ^b
Массовая доля казеина, %	3,18 ± 0,15 ^a	1,51 ± 0,07 ^b
Массовая доля сывороточных белков, %	4,09 ± 0,20 ^a	3,91 ± 0,19 ^b
Массовая доля небелкового азота, %	0,056 ± 0,002 ^a	0,005 ^b

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 5. Средние значения в столбце без общей надстрочной буквы различаются (p < 0,05) по данным однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

Исследовали возможность микрофильтрации УФ-концентрата подсырной сыворотки на мембранах с размером пор 0,14 мкм. Установлено, что применение такой мембраны позволяло максимально сохранить белковую составляющую при значительном удалении жира из фильтрата (Таблица 6).

Таблица 6. Состав и физико-химические свойства микрофильтрационного концентрата и пермеата

Table 6. Composition and physico-chemical properties of the microfiltration concentrate and permeate

Наименование показателя	Значение показателя	
	МФ-концентрат	МФ-пермеат
Массовая доля сухих веществ, %	13,94 ± 0,69 ^a	10,41 ± 0,35 ^b
Массовая доля общего белка, %	8,78 ± 0,43 ^a	5,13 ± 0,13 ^b
Массовая доля жира, %	0,42 ± 0,02 ^a	0,1 ^b
Массовая доля истинного белка, %	8,21 ± 0,41 ^a	5,06 ± 0,20 ^b
Массовая доля казеина, %	7,57 ± 0,37 ^a	0,18 ± 0,01 ^b
Массовая доля сывороточных белков, %	0,64 ± 0,03 ^b	4,88 ± 0,24 ^a
Массовая доля небелкового азота, %	0,090 ± 0,004 ^a	0,070 ± 0,003 ^b

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 5. Средние значения в столбце без общей надстрочной буквы различаются (p < 0,05) по данным однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

Задерживающая способность мембраны с размером пор 0,14 мкм по белку составила 0,4%, по жиру 76,2%.

Таким образом, можно сделать вывод о рациональном использовании керамических мембран с размером пор от 0,14 мкм до 1,4 мкм для микрофльтрации УФ-концентрата подсырной сыворотки в технологии изолята сывороточных белков.

Давление микрофльтрации оказывает существенное влияние на эффективность процесса. В работе [27] приводится оптимальное значение рабочего давления для микрофльтрации сыворотки — 1,5 бар (0,15 МПа). В то же время, Heidebrecht с соавторами [28] проводили микрофльтрацию при трансмембранном давлении в интервале от 0,6 до 3 бар (0,06–0,3 МПа). Для определения эффективных параметров микрофльтрации в нашей работе процесс осуществляли при различных значениях входящего давления: от 0,15 МПа до 0,25 МПа. Как показали результаты исследований, при давлении 0,25 МПа и более осуществлялся существенный переход белков, в том числе сывороточных, в ретентат (Рисунок 3).

Выбор температурных режимов микрофльтрации обусловлен необходимостью поддержания высокой пропускной способности мембран при максимальном сохранении свойств целевого продукта. В известной литературе приводятся различные сведения по выбору температуры микрофльтрации. Так, Carter с соавторами [29, 30] придерживались режима 50 °С. В то время, как Varukšić с соавторами [26] отмечали резкое увеличение толщины поляризационного слоя на поверхности мембран при температуре выше 40 °С. В другом исследовании эти же авторы рекомендуют температуру 20 °С, объясняя это повышением производительности мембраны и минимизацией уровня ее загрязнения [31]. В работе [32] рекомендуется не превышать 10 °С при микрофльтрации подсырной сыворотки.

В нашей работе установлено, что изменение температуры в диапазоне 10–30 °С не оказывало значимого влияния на пропускную способность мембраны, она изменялась в пределах 82–87 кг/м² · ч. Различия в температурных режимах не влияли и на состав продуктов мембранного фракционирования УФ-концентрата подсырной сыворотки (Рисунок 4).

Более высокие температурные режимы, однако, отрицательно сказывались на титруемой кислотности полуфабрикатов. При температуре микрофльтрации 40 °С и выше происходило снижение пропускной способности мембраны. Это обусловлено удержанием кальция в ретентате, который переходил из ионной формы в коллоидную, связываясь с белками. Растворимость фосфатов кальция снижалась, что являлось причиной быстрого загрязнения мембран и снижения их производительности. Пониженная температура микрофльтрации способствовала кристаллизации молочного жира, он переходил в твердое состояние и более легко отделялся в концентрат. Низкие температуры снижали буферную емкость концентрата, что способствовало удалению растворимых кальция и фосфора.

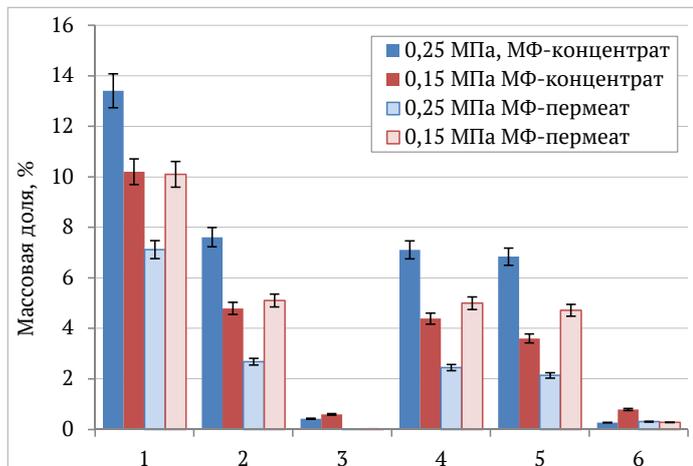


Рисунок 3. Состав концентрата и пермеата при разных значениях входящего давления: 1 — сухие вещества, 2 — общий белок, 3 — жир, 4 — истинный белок, 5 — сывороточные белки, 6 — казеин

Figure 3. Composition of the concentrate and permeate upon different values of inlet pressure: 1 — dry substances, 2 — total protein, 3 — fat, 4 — true protein, 5 — whey proteins, 6 — casein

Для дальнейшего повышения массовой доли белка МФ-пермеат направляли на повторную ультрафльтрацию, совмещая ее с диафльтрацией. Диафльтрация представляет собой один из способов улучшения разделения соединений с разными коэффициентами задерживания. Качество разделения улучшается путем добавления к исходному раствору воды для снижения концентрации веществ, попадающих в пермеат. Как отмечается в работе [33], диафльтрация позволяет не только повысить долю белка в концентрате, но и значительно снизить содержание минеральных солей в нем.

Проводили 2 стадии диафльтрации: воду вносили в исходный МФ-фильтрат, направляемый на ультрафльтрацию и в полученный после первой стадии УФ-концентрат. Итоговую ультрафльтрацию осуществляли до массовой доли белка в концентрате не менее 17% (Таблица 7).

Таблица 7. Усредненный состав УФ-концентрата в процессе ДФ
Table 7. Average composition of the UF concentrate in the process of DF

Наименование показателя	Значение показателя для концентрата при соотношении МФ-пермеат: вода от 2:1 до 1:2			
	ДФ 1 стадия		ДФ 2 стадия	
	2:1	1:2	2:1	1:2
Массовая доля сухих веществ, %	8,3±0,4 ^c	7,9±0,4 ^d	20,7±1,0 ^a	19,3±1,0 ^b
Массовая доля общего белка, %	5,9±0,3 ^c	6,2±0,3 ^b	17,9±0,9 ^a	17,9±0,9 ^a
Средняя массовая доля белка в сухом веществе, %	71,00 ^d	78,51 ^c	86,50 ^b	93,12 ^a
Массовая доля жира, %	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 5. Средние значения в столбце без общей надстрочной буквы различаются (p < 0,05) по данным однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

При диафльтрации половинным объемом воды удавалось достигнуть содержания белка в сухом веществе продукта не более 87%, что не соответствовало требованиям к изоляту. Увеличение количества воды для диафльтрации позволяло повысить содержание белка в сухом веществе концентрата. В процессе диафльтрации происходил максимальный переход лактозы в пермеат (Таблица 8).

Для оценки необходимости корректировки технологических режимов мембранной фльтрации, а также достаточности выполненных операций проводили высушивание образца изолята сывороточных белков. Полученный сухой изолят сывороточных белков, характеризовался высокой массовой долей белка, хорошей растворимостью, а показатели безопасности его соответствовали требованиям Технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (Таблица 9).

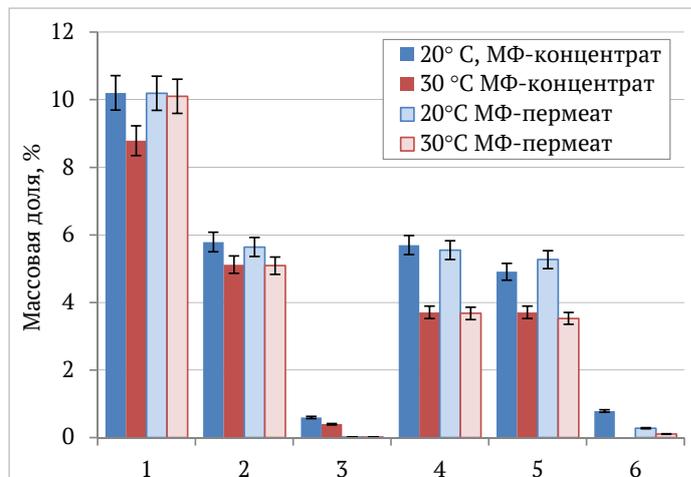


Рисунок 4. Состав концентрата и пермеата при разных значениях температуры: 1 — сухие вещества, 2 — общий белок, 3 — жир, 4 — истинный белок, 5 — сывороточные белки, 6 — казеин

Figure 4. Composition of the concentrate and permeate upon different values of temperature: 1 — dry substances, 2 — total protein, 3 — fat, 4 — true protein, 5 — whey proteins, 6 — casein

Таблица 8. Усредненный состав УФ-пермеата в процессе ДФ
Table 8. Average composition of the UF permeate in the process of DF

Наименование показателя	Значение показателя для пермеата при соотношении МФ-пермеат: вода от 2:1 до 1:2			
	ДФ 1 стадия		ДФ 2 стадия	
	2:1	1:2	2:1	1:2
Массовая доля сухих веществ, %	0,61 ± 0,03 ^b	1,30 ± 0,06 ^a	0,32 ± 0,02 ^c	0,60 ± 0,03 ^b
Массовая доля общего белка, %	0,16 ± 0,01 ^c	0,23 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^d	0,20 ± 0,01 ^b
Массовая доля жира, %	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 5. Средние значения в столбце без общей надстрочной буквы различаются (p < 0,05) по данным однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

Таблица 9. Показатели качества и безопасности изолята сывороточных белков

Table 9. Indicators of quality and safety of whey protein isolate

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид, цвет	сыпучий порошок белого цвета
Массовая доля влаги, %	3,75 ± 0,18
Массовая доля жира, %	менее 0,5
Массовая доля белка (в пересчете на СОМО), %	92,5 ± 1,0
Массовая доля лактозы, %	3,70 ± 0,18
Массовая доля минеральных веществ, %	2,85 ± 0,14
Индекс растворимости, см ³ осадка на 1 см ³ продукта	0,05
Общее количество микроорганизмов, КОЕ / г	1·10 ⁵
Дрожжи и плесени, КОЕ / г	менее 10
Salmonella	отсутствуют в 250 г
Listeria monocytogenes	отсутствуют в 25 г

4. Выводы

Выполненные исследования позволили установить рациональную последовательность технологических операций производства

изолята сывороточных белков: очистка молочной сыворотки от казеиновой пыли и жира, пастеризация, ультрафильтрация, микрофильтрация, ультрафильтрация (совмещенная с диафильтрацией), сушка. Первый этап ультрафильтрации целесообразно проводить до массовой доли сухих веществ 11,3–12,6%, в том числе белка 5–10%. Для микрофильтрации УФ-концентрата подсырной сыворотки при производстве изолята сывороточных белков возможно применять керамические мембраны с размером пор от 0,14 мкм до 1,4 мкм. Рациональные режимы микрофильтрации: входящее давление 0,15–0,2 МПа, температура — 10–15 °С. Второй этап ультрафильтрации необходимо совмещать с двумя стадиями диафильтрации, разбавляя МФ-фильтрат двойным объемом обратноосмотической воды. Массовая доля белка в изоляте сывороточных белков перед сушкой должна составлять не менее 17%.

Сывороточные белковые ингредиенты, в том числе изолят сывороточных белков, представляют собой перспективный ингредиент для производства широкого ассортимента пищевых продуктов, в том числе специального назначения. Сывороточные белки являются эффективными в снижении риска развития многих алиментарно-зависимых хронических заболеваний. Биологические функции сывороточных белков разнообразны, что открывает широкие возможности их реализации в технологии продуктов спортивного, детского и геродиетического питания. Кроме того, изолят сывороточных белков — базовое сырье для производства гидролизатов с различной биологической активностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Мельникова, Е.И., Станиславская, Е.Б. (2022). Перспективные сывороточные ингредиенты для пищевой промышленности. *Переработка молока*, 11(277), 12–14. [Melnikova, E.I., Stanislavskaya, E.B. (2022). Promising whey ingredients for the food industry. *Milk Processing*, 11(277), 12–14. (In Russian)] <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2022-11-12-14>
- Bannikova, A.V., Evdokimov, I.A. (2015). The scientific and practical principles of creating products with increased protein content. *Foods and Raw Materials*, 3(2), 3–12. <https://doi.org/10.12737/13114>
- Melnikova, E. I., Stanislavskaya, E.B., Fedorova, A. R. (26–29 February, 2020). *Modification of the whey protein cluster for the utilization in low-calorie food technology*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials. Voronezh, Russian Federation, 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032014>
- Zhao, C., Chen, N., Ashaolu, T.J. (2022). Whey proteins and peptides in health-promoting functions — A review. *International Dairy Journal*, 126, Article 105269. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105269>
- Töpel, A. (2007). Chemistry and physics of milk. Behr, 2007. (In German)
- Гунькова, П. И., Горбатова, К. К. (2015). Биотехнологические свойства белков молока. СПб: ГИОРД, 2015. [Gunkova, P. I., Gorbatova, K. K. (2015). Biotechnological properties of milk proteins. Saint-Petersburg: GIORD, 2015. (In Russian)]
- Ельчанинов, В.В. (2022). Номенклатура и свойства белков молока коровы (*Bos taurus*). Барнаул: Издательство Алтайского университета, 2022. [Elchaninov, V.V. (2022). Nomenclature and properties of cow milk proteins (*Bos taurus*). Barnaul: Altai University Press 2022. (In Russian)]
- Ahmad, T., Aadir, R. M., Ahmed, H., Rahman, U., Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q. et al. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Короткий, И. А., Плотников, И. Б., Мазеева, И. А. (2019). Современные тенденции в переработке молочной сыворотки. *Техника и технология пищевых производств*, 49(2), 227–234. [Korotkiy, I. A., Plotnikov, I. B., Mazeeva, I. A. (2019). Current trends in whey processing. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(2), 227–234. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-227-234>
- Володин, Д. Н., Гридин, А. С., Евдокимов, И. А. (2020). Перспективы производства сухих белковых ингредиентов на основе молочного сырья. *Молочная промышленность*, 1, 28–30. [Volodin, D. N., Gridin, A. S., Evdokimov, I. A. (2020). Prospects for the production of dry protein ingredients based on dairy raw materials. *Dairy Industry*, 1, 28–30. (In Russian)]
- Храмцов, А. Г. (2011). Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2011. [Khrantsov, A. G. (2011). The phenomenon of whey. Saint-Petersburg: Profession, 2011. (In Russian)]
- Володин, Д. Н., Топалов, В. К., Евдокимов, И. А., Куликова, И. К., Шрамко, М. И. (2022). Комплексный подход к производству белковых ингредиентов на основе молочного сырья. *Молочная промышленность*, 1, 34–36. [Volodin, D. N., Topalov, V. K., Evdokimov, I. A., Kulikova, I. K., Shramko, M. I. (2022). An integrated approach to the production of protein ingredients based on dairy raw materials. *Dairy Industry*, 1, 34–36. (In Russian)]
- Damar, I., Cinar, K., Gulec, H. A. (2020). Concentration of whey proteins by ultrafiltration: Comparative evaluation of process effectiveness based on physicochemical properties of membranes. *International Dairy Journal*, 111, Article 104823. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104823>
- Cancino, B., Espina, V., Orellana, C. (2006). Whey concentration using microfiltration and ultrafiltration. *Desalination*, 200(1–3), 557–558. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.03.463>
- Reig, M., Vecino, X., Cortina, J.L. (2021). Use of membrane technologies in dairy industry: An overview. *Foods*, 10(11), Article 2768. <https://doi.org/10.3390/foods10112768>
- Челноков, В. В., Михайлов, А. В., Заболотная, Е. (2020). Актуальность использования в промышленных масштабах мембранных технологий в Российской Федерации. *Успехи в химии и химической технологии*, 34(6(229)), 69–71. [Chelnokov, V. V., Mikhailov, A. V., Zabolotnaya, E. (2020). The relevance of industrial use of membrane technology in the Russian Federation. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, 34(6(229)), 69–71. (In Russian)]
- Лялин, В. А., Михеев, М. С. (2020). Мембранные технологии и оборудование в молочной промышленности. *Переработка молока*, 12(254), 28–31. [Lyalin, V. A., Mikheev, M. S. (2020). Membrane technologies and equipment in the dairy industry. *Milk Processing*, 12(254), 28–31. (In Russian)]
- Tamime, A. Y. (2012). Membrane processing: Dairy and beverage applications. Chichester; Ames, IO: Wiley-Blackwell, 2012.
- Steinhauer, T., Leeb, E., Birle, D., Kulozik, U. (2016). Determination of a molecular fouling model for the micro- and ultrafiltration of whey: A recombination study from single whey proteins to complex mixtures. *International Dairy Journal*, 52, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.08.006>
- Володин, Д. Н., Топалов, В.К., Евдокимов, И. А., Куликова, И.К. (2020). Влияние производственных процессов на функционально-технологические свойства концентратов сывороточных белков. *Молочная промышленность*, 5, 46–49. [Volodin, D.N., Topalov, V.K., Evdokimov, I.A., Kulikova, I.K. (2020). The influence of production processes on the functional and technological properties of whey protein concentrates. *Dairy Industry*, 5, 46–49. (In Russian)]
- Verruck, S., Sartor, S., Marena, F.B., Barros, E. L. S., Camelo-Silva, C., Canelina, M. H. M. et al. (2019). Influence of heat treatment and microfiltration on the milk proteins properties. *Advances in Food Technology and Nutritional Sciences*, 5(2), 54–66. <http://doi.org/10.17140/AFTNSOJ-5-157>

22. Ostertag, F., Krolitzki, E., Berensmeier, S., Hinrichs, J. (2023). Protein valorisation from acid whey — Screening of various micro- and ultrafiltration membranes concerning the filtration performance. *International Dairy Journal*, 146, Article 105745. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105745>
23. Arunkumar, A., Molitor, M. S., Etzel, M. R. (2016). Comparison of flat-sheet and spiral-wound negatively-charged wide-pore ultrafiltration membranes for whey protein concentration. *International Dairy Journal*, 56, 129–133. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.01.012>
24. Babenyshv, S. P., Evdokimov, I. A., Bratsikhin, A. A., Anisimov, G. S., Zhidkov, V. E., Mamay, D. S. (2019) Experimental determination of parameters for milk whey microfiltration process. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 28, 85–95.
25. Mourouzidis-Mourouzis, S. A., Karabelas, A. J. (2006). Whey protein fouling of microfiltration ceramic membranes — Pressure effects. *Journal of Membrane Science*, 282(1–2), 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.05.012>
26. Barukčić, I., Božanić, R., Kulozik, U. (2014). Effect of pore size and process temperature on flux, microbial reduction and fouling mechanisms during sweet whey cross-flow microfiltration by ceramic membranes. *International Dairy Journal*, 39(1), 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.05.002>
27. Rezaei, H., Ashtiani, F. Z., Fouladitajar, A. (2011). Effects of operating parameters on fouling mechanism and membrane flux in cross-flow microfiltration of whey. *Desalination*, 274(1–3), 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.02.015>
28. Heidebrecht, H.-J., Kulozik, U. (2019). Data concerning the fractionation of individual whey proteins and casein micelles by microfiltration with ceramic gradient membranes. *Data in Brief*, 25, Article 104102. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104102>
29. Carter, B., DiMarzo, L., Pranata, J., Barbano, D. M., Drake, M. (2021). Determination of the efficiency of removal of whey protein from sweet whey with ceramic microfiltration membranes. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7534–7543. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18698>
30. Carter, B., DiMarzo, L., Pranata, J., Barbano, D. M., Drake, M. (2021). Efficiency of removal of whey protein from sweet whey using polymeric microfiltration membranes. *Journal of Dairy Science*, 104(8), 8630–8643. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18771>
31. Barukčić, I., Božanić, R., Kulozik, U. (2015). Influence of process temperature and microfiltration pre-treatment on flux and fouling intensity during cross-flow ultrafiltration of sweet whey using ceramic membranes. *International Dairy Journal*, 51, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.07.002>
32. Steinhauer, T., Hanély, S., Bogendörfer, K., Kulozik, U. (2015). Temperature dependent membrane fouling during filtration of whey and whey proteins. *Journal of Membrane Science*, 492, 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.05.053>
33. Baldasso, C., Barros, T.C., Tessaro, I.C. (2011). Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. *Desalination*, 278(1–3), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.055>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Мельникова Елена Ивановна — доктор технических наук, профессор, профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий 394036, Воронеж, пр-т Революции, 19 Тел.: + 7-919-241-44-04 E-mail: melnikova@molvest.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-2534</p>	<p>Elena I. Melnikova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of Animal Food Products, Voronezh State University of Engineering Technologies 19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia Tel.: 7-919-241-44-04 E-mail: melnikova@molvest.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-2534</p>
<p>Станиславская Екатерина Борисовна — доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий 394036, Воронеж, пр-т Революции, 19 Тел.: + 7-905-049-54-77 E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-6238 * автор для контактов</p>	<p>Ekaterina B. Stanislavskaya, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor, Department of Technology of Animal Food Products, Voronezh State University of Engineering Technologies 19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia Tel.: +7-905-049-54-77 E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-6238 * corresponding author</p>
<p>Богданова Екатерина Викторовна — доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий 394036, Воронеж, пр-т Революции, 19 Тел.: + 7-920-406-38-25 E-mail: ek-v-b@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5053-2273</p>	<p>Ekaterina V. Bogdanova, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor, Department of Technology of Animal Food Products, Voronezh State University of Engineering Technologies 19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia Tel.: 7-920-406-38-25 E-mail: ek-v-b@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5053-2273</p>
<p>Шабалова Екатерина Дмитриевна — аспирант, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий 394036, Воронеж, пр-т Революции, 19 Тел.: + 7-903 363-71-94 E-mail: xxx210257@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7802-6150</p>	<p>Ekaterina D. Shabalova, Graduate Student, Department of Technology of Animal Food Products, Voronezh State University of Engineering Technologies 19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia Tel.: 7-903 363-71-94 E-mail: xxx210257@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7802-6150</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Е. И. Мельникова руководила проектом, предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания, проводила консультации в ходе исследования. Е. В. Богданова и Е. Д. Шабалова проводили поиск литературных источников и патентный поиск по исследуемой проблеме. Е. Б. Станиславская написала рукопись и корректировала ее до подачи в редакцию, несет ответственность за плагиат</p>	<p>E.I. Melnikova managed the project, proposed a scheme of the experiment and organized production trials, conducted consultation during the study. E. V. Bogdanova and E. D. Shabalova reviewed the literature and conducted the patent search on an investigated problem. E. B. Stanislavskaya wrote the manuscript, corrected it before filing in editing and is responsible for plagiarism.</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>