

УДК 637.1.02:637.147
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-4\(58\)-46-51](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-4(58)-46-51)

Поступила в редакцию 02.06.2022
Received 02.06.2022

Е. Д. Шегидевич

РУП «Институт мясо-молочной промышленности», г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОБЕЗЖИРЕННОГО МОЛОКА

Аннотация. В статье описано применение микрофильтрации в молочной промышленности, указаны основные отличительные характеристики получаемых концентрата и фильтрата. Определены технологические параметры процесса микрофильтрации двух типов обезжиренного молока (без термической обработки, термообработанное) на лабораторно-экспериментальной баромембранной установке, в которой в качестве мембранного рулонного элемента использована полимерная мембрана Alfa Laval MFG1 2517 пористостью 0,1 мкм. Установлено, что при микрофильтрации обезжиренного молока, не прошедшего термическую обработку, наблюдается переход сывороточных белков в фильтрат, в то время как проведение микрофильтрации пастеризованного обезжиренного молока при описываемых условиях не способствует переходу сывороточных белков в фильтрат.

Ключевые слова: молоко обезжиренное, белковый состав, микрофильтрация, концентрат, фильтрат, диафильтрация.

K. D. Shehidzevich

Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE APPLICATION OF MICROFILTRATION IN THE PROCESSING OF SKIM MILK

Abstract. The article describes the use of microfiltration in the dairy industry, indicates the main distinguishing characteristics of the concentrate and filtrate obtained. The technological parameters of the microfiltration process of two types of skimmed milk (without heat treatment, heat-treated) were determined on a laboratory-experimental baromembrane installation, in which the Alfa Laval MFG1 2517 polymer membrane with a porosity of 0.1 μm was used as a membrane roll element. It has been established that during microfiltration of skimmed milk that has not undergone heat treatment, a transition of whey proteins into the filtrate is observed, while microfiltration of pasteurized skimmed milk under the described conditions does not contribute to the transition of whey proteins into the filtrate.

Key words: skim milk, protein composition, microfiltration, concentrate, filter, diafiltration.

Введение. Перспективным направлением углубленной переработки молочного сырья является селективная обработка, обусловленная выделением биологически активных компонентов, с целью их дальнейшего использования в качестве ингредиентов. Одним из наиболее ценных компонентов молока являются белки.

Применение микрофильтрации в молочной промышленности направлено на решение следующих задач: удаление микроорганизмов; разделение макромолекул (белков); отделение молочного жира [1–7].

Фракционирование молочных белков является наиболее перспективным направлением применения микрофильтрации, поскольку позволяет извлекать белковые ингредиенты с высокой добавленной стоимостью [4, 6].

Получаемые при проведении микрофльтрации концентраты представляют собой высокобелковую концентрированную жидкую коллоидную суспензию, состоящую в основном из казеина в мицеллярной форме и незначительного количества сывороточных белков [1, 8–10]. Так, при использовании керамической мембраны с размером пор 0,1 мкм большая часть казеина задерживается, в то время как практически все сывороточные белки могут проходить через мембрану. Применение диафльтрации способствует дальнейшему удалению растворенных компонентов, таких как, например, лактоза, минеральные вещества [2, 11–13].

Фильтрат, получаемый в результате выделения мицеллярного казеина, содержит сывороточный белок и используется для получения концентрата сывороточного белка, называемого нативной сывороткой или «идеальной сывороткой», имеющей лучшие функциональные характеристики, чем сыворотка, получаемая при производстве сыра или творога [7, 9, 13]. Указанные особенности обуславливают применение описанного фильтра для производства белковых изолятов со значительно отличающимися свойствами от традиционных изолятов сывороточных белков. Следует отметить, что фильтрат может быть дополнительно разделен на отдельные фракции: β -лактоглобулин и α -лактальбумин [3, 5–7].

Большинство исследований процесса микрофльтрации сосредоточено на использовании керамических мембран для производства концентрата мицеллярного казеина. В настоящее время при рассмотрении эффективности выделения из обезжиренного молока сывороточных белков оценивают два типа микрофльтрационных мембран: керамические и полимерные [1, 8]. Необходимость в рассмотрении альтернативных керамическим мембранам вариантов обусловлена значительными затратами, связанными с их эксплуатацией, в связи с чем большая площадь поверхности и относительно низкая стоимость полимерных мембран по сравнению с керамическими свидетельствует об их преимуществе [8].

Целью работы являлось изучение технологических особенностей применения микрофльтрации при обработке обезжиренного молока с использованием полимерной мембраны для фракционирования отдельных видов молочных белков.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являлись следующие два вида обезжиренного молока: отсепарированное в лабораторных условиях молоко-сырье без термообработки; полученное от молокоперерабатывающего предприятия, прошедшее предварительную термообработку.

Процесс микрофльтрации проводили на лабораторно-экспериментальной баромембранной установке с использованием полупроницаемого мембранного рулонного элемента Alfa Laval MFG1 2517, размер пор которого составляет 0,1 мкм.

При определении физико-химических показателей исходного молочного сырья, фильтра и концентрата использовали стандартные методы исследований [14–19]. Идентификацию белкового состава осуществляли методом денатурирующего электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия (ДСН-электрофорез) с использованием маркера молекулярных масс белков.

Результаты исследований и их обсуждение. Для решения поставленной цели проведены исследования, направленные на определение технологических особенностей применения микрофльтрации обезжиренного молока с использованием полимерной мембраны пористостью 0,1 мкм.

На первом этапе объектом исследований являлось обезжиренное молоко без термической обработки, полученное путем сепарирования молока-сырья при температуре 40 °С с применением сепаратора центробежного молочного «МОТОР С1С-100». Исходные параметры обезжиренного молока: температура — 18,9 °С, титруемая кислотность — 32 °Т, активная кислотность — 6,56 ед. рН, удельная электропроводность — 4,68 мСм/см, массовая доля сухих веществ — 11,0 %.

Микрофльтрацию проводили при рабочем давлении 2 бара на протяжении 150 минут, температура системы повысилась с 18,9 до 32,4 °С. Определено, что при ведении процесса титруемая кислотность концентрата увеличилась от 25 до 60 °Т, фильтра — от 10 до 15 °Т. Следует отметить, что наблюдалась сопоставимая тенденция в изменении активной кислотности: для концентрата в начале процесса снизилась от 6,56 до 6,31 ед. рН; для фильтра — от 6,62 до 6,39 ед. рН.

Установлено, что удельная электропроводность концентрата в процессе микрофльтрации снизилась от 4,68 до 2,92 мСм/см, изменение удельной электропроводности фильтра происходило в сторону увеличения от 4,75 до 5,74 мСм/см, что свидетельствует о постепенном переходе растворимых солей через мембранный элемент из концентрата в фильтрат.

Результаты анализа образцов концентрата микрофльтрации (далее — концентрат МФ) и фильтрата микрофльтрации (далее — фильтрат МФ) по основным физико-химическим показателям представлены в табл. 1.

На основании данных табл.1, определено, что по мере проведения процесса микрофльтрации в концентрате наблюдалось увеличение массовых долей следующих показателей: жира — от 0,1 до 0,6 %, казеина — от 1,56 до 6,49 % и, соответственно, белка — от 2,53 до 8,52 %; в фильтрате — белка от 0,25 до 0,31 %. Проведенный перерасчет массовой доли казеина в белке показал, что в процессе микрофльтрации в концентрате данный показатель увеличился от 61,6 % до 76,1 %, что косвенно указывает на переход части сывороточных белков в фильтрат. При анализе динамики небелкового азота следует отметить, что наблюдалось увеличение его массовой доли в фильтрате от 0,021 до 0,034 %.

Таблица 1. Результаты исследования концентрата и фильтрата, полученных после микрофльтрации обезжиренного молока без термической обработки
Table 1. Results of the study of the concentrate and filtrate obtained after microfiltration of skimmed milk without heat treatment

Наименование пробы	Массовая доля, %					
	жира	зола	сухих веществ	небелкового азота	белка	казеина
Обезжиренное молоко	0,1	0,67	9,5	0,038	2,53	1,56
Концентрат МФ 1 (30 мин)	0,2	0,75	10,4	0,050	3,89	2,61
Концентрат МФ 1 (90 мин)	0,5	1,04	13,5	0,063	7,30	5,58
Концентрат МФ 1 (150 мин)	0,6	1,19	16,2	0,050	8,52	6,49
Фильтрат МФ 1 (30 мин)	-	0,48	5,7	0,021	0,25	-
Фильтрат МФ 1 (90 мин)	-	0,49	6,1	0,031	0,26	-
Фильтрат МФ 1 (150 мин)	-	0,46	6,3	0,034	0,31	-

Установлено, что увеличение массовой доли сухих веществ концентрата с 9,5 до 16,2 % и фильтрата с 5,7 до 6,3% приводит к снижению производительности лабораторно-экспериментальной баромембранной установки от 6,75 л/час до 3,75 л/час.

Результаты идентификации методом ДСН-электрофореза фракционного состава проб, перечисленных в табл. 1, отражены на электрофореграмме (рис. 1).

Анализ электрофореграммы, представленной на рис. 1, показал, что при ведении процесса микрофльтрации обезжиренного молока без термической обработки по мере увеличения массовой доли сухих веществ концентрата и фильтрата наблюдается переход сывороточных белков в фильтрат, что отражено на дорожке 8 и подтверждает полученные результаты об увеличении массовой доли казеина в белке для образцов концентрата.

На втором этапе исследований в качестве исходного молочного сырья использовали молоко обезжиренное, прошедшее термообработку, со следующими параметрами: температура — 12,6 °С; титруемая кислотность — 20 °Т; активная кислотность — 6,67 ед. рН; удельная электропроводность — 5,33 мСм/см; массовая доля сухих веществ — 8,8 %.

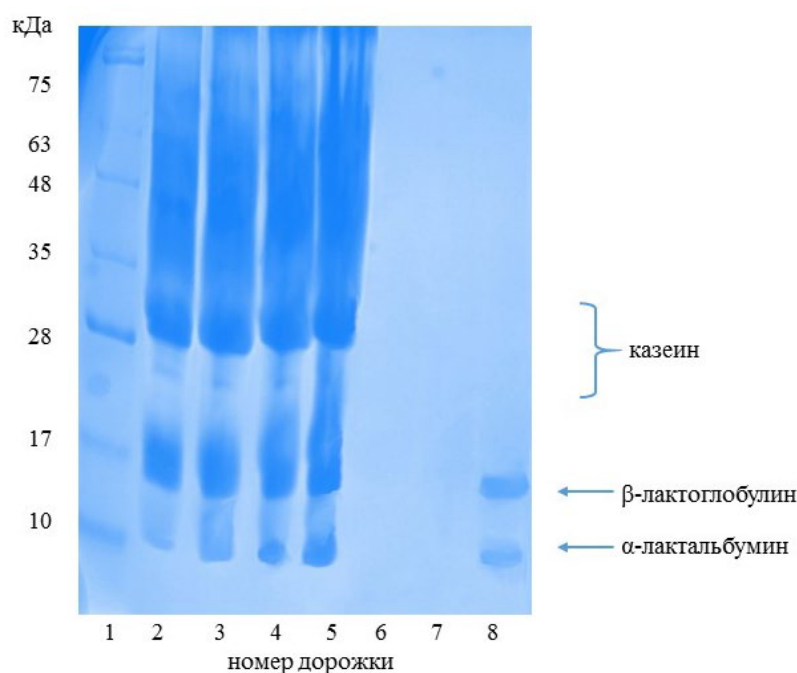
Микрофльтрацию проводили аналогично первому этапу: рабочее давление 2 бара на протяжении 150 минут, однако температура системы увеличилась незначительно от 12,6 до 14,5 °С, что обусловлено подключением системы охлаждения к баромембранной установке. Определено, что активная кислотность концентрата и фильтрата в процессе микрофльтрации практически не изменялись, что объясняется ведением процесса при незначительной динамике температуры.

Результаты анализа образцов концентрата и фильтрата, отобранных в процессе микрофльтрации молока обезжиренного, прошедшего термообработку, показали, что наблюдалось увеличение массовой доли сухих веществ в концентрате с 9,3 до 13,0 %, фильтрате — с 4,9 до 5,9 %. Аналогичная тенденция наблюдалась в концентрате по показателю массовая доля белка — увеличение от 3,99 до 6,98 %, массовая доля казеина соответственно изменялась

с 3,16 до 5,34 %. Содержание белка в фильтрате составило 0,1 %, что свидетельствует о незначительном переходе фракций белка. Следует отметить, что наблюдалось снижение производительности установки, как и на первом этапе эксперимента.

Проводили два цикла диафильтрации путем внесения дистиллированной воды в количестве, равном количеству фильтрата. Определено, что при проведении диафильтрации №1 и диафильтрации №2 наблюдалось незначительное изменение титруемой кислотности концентрата. Результаты исследования концентрата и фильтрата, полученных при диафильтрации №1 и диафильтрации №2, показали, что при завершении диафильтрации №1 массовая доля сухих веществ в концентрате и фильтрате составила 10,7 % и 2,7 % соответственно, при завершении диафильтрации №2 — 9,8 % и 1,4 % соответственно. Следует отметить, что в фильтрате после проведения двух циклов диафильтрации отсутствует белок.

Идентификация фракционного состава белков образцов, отобранных в процессе микрофильтрации обезжиренного термообработанного молока, диафильтрации №1 и диафильтрации №2, представлена на рис. 2.

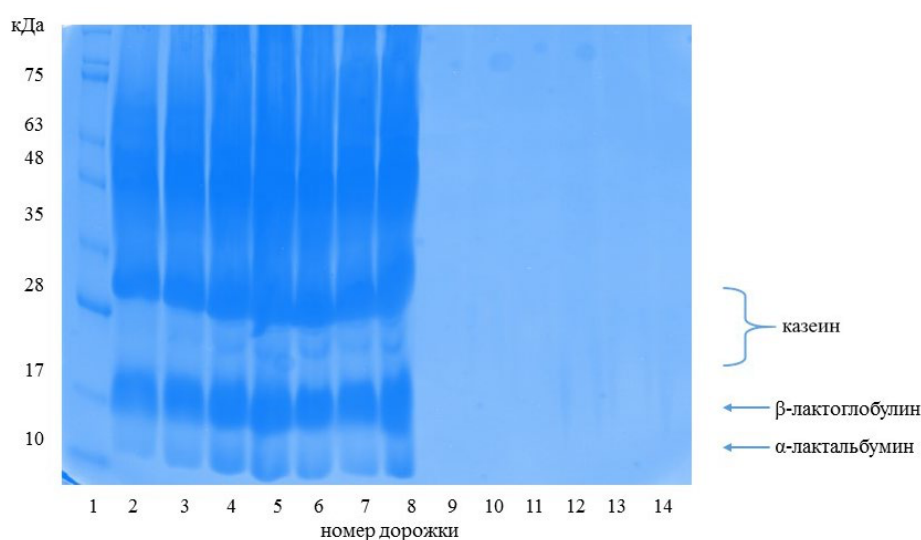


1 – маркер молекулярных масс, 2 – обезжиренное молоко;
3 – концентрат МФ 1 (30 мин); 4 – концентрат МФ 1 (90 мин);
5 – концентрат МФ 1 (150 мин); 6 – фильтрат МФ 1 (30 мин);
7 – фильтрат МФ 1 (90 мин); 8 – фильтрат МФ 1 (150 мин)

Рис. 1. Электрофореграмма образцов концентрата и фильтрата при микрофильтрации обезжиренного молока без термической обработки
Fig. 1. Electropherogram of concentrate and filtrate samples for microfiltration of skimmed milk without heat treatment

Определено, что на дорожках 9-14, соответствующих фильтратам, отсутствуют характерные полосы сывороточных белков. Таким образом, описанные в эксперименте условия проведения процесса микрофильтрации обезжиренного молока, прошедшего термообработку, с последующими двумя диафильтрациями не способствуют переходу сывороточных белков в фильтрат.

Заключение. В ходе исследований изучены технологические особенности применения микрофильтрации при обработке двух типов обезжиренного молока (без термической обработки, термообработанное) с использованием полимерной мембраны пористостью 0,1 мкм, показана возможность разделения молочных белков на казеиновые и сывороточные. В дальнейшем планируется проведение работ по установлению последовательности комбинации ферментативных и мембранных процессов для углубленного фракционирования белков молочного сыра.



1 – маркер молекулярных масс, 2 – обезжиренное молоко;
 3 – концентрат МФ (40 мин); 4 – концентрат МФ (120 мин); 5 – концентрат МФ (160 мин);
 6 – концентрат конечный МФ ДФ1; 7 – концентрат промежуточный МФ ДФ2;
 8 – концентрат конечный МФ ДФ2, 9 – фильтрат МФ (40 мин), 10 – фильтрат МФ (120 мин),
 11 – фильтрат МФ (160 мин), 12 – фильтрат конечный МФ ДФ1,
 13 – фильтрат промежуточный МФ ДФ2, 14 – фильтрат конечный МФ ДФ2

Рис. 2. Электрофореграмма образцов концентрата и фильтрата при микрофильтрации обезжиренного молока

Fig. 2. Electropherogram of concentrate and filtrate samples for microfiltration of skimmed milk

Список использованных источников

1. *Hamman, Ahmed R. A.* Production and storage stability of concentrated micellar casein / Hamman R.A. Ahmed, Steven L. Beckman, Lloyd E. Metzger // *Journal of Dairy Research*. — 2022. — Vol. 105, Issue 2. — P. 1084–1098.
2. *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications* / ed.: Mingruo Guo. — Burlington: John Wiley & Sons Ltd., 2019. — 259 p.
3. *Geneviève Gйsan-Guiziou* Microfiltration: Applications and potentialities in the dairy industry [Электронный ресурс] // Victoria University. — Mode of access: <https://www.newfoodmagazine.com/article/10075/microfiltrationapplications-and-potentialities-in-the-dairy-industry/>. — Date of access: 02.03.2022 г.
4. *Trevor, J. Britz.* Advanced dairy science and technology / Trevor J. Britz, Richard K. Robinson. — Wiley-Blackwell. — 2008. — 312 p.
5. *Saboyainsta, L.* Current developments of microfiltration technology in the dairy industry / L. Saboyainsta, J.-L. Maubois // *Le Lait*, INRA Editions, 2000. — Vol. 80 (6) — P.541–553.
6. *Peinemann, K.-V.* Membrane Technology: Volume 3: Membranes for Food Applications / K.-V. Peinemann, S. Pereira Nunes, L. Giorno. — WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. — 2010. — 265 p.
7. *Encyclopedia of dairy sciences* / ed.: J. W. Fuquay, P. F. Fox, P. L. H. McSweeney. — 2nd Edition. — Oxford: Elsevier Ltd., 2011. — 4068 p.
8. *Beckman, S. L.* Production efficiency of micellar casein concentrate using polymeric spiral-wound microfiltration membranes / S.L. Beckman, J. Zulewska, M. Newbold, D.M. Barbano // *Journal of Dairy Science*. — 2010. — Vol. 93, Issue 10. — P. 4506–4517.
9. Свойства казеинового концентрата с различными уровнями содержания бета-казеина [Электронный ресурс] // Продукт ВУ. — Режим доступа: <https://produkt.by/story/svoystva-kazeinovogo-koncentrata-s-razlichnymi-urovnyai-soderzhaniya-beta-kazeina-0>. — Дата доступа: 02.03.2022 г.
10. *Hamman, Ahmed R. A.* Progress in micellar casein concentrate: Production and applications / Ahmed R. A. Hamman, Sergio I. Martнnez-Monteagudo, Lloyd E. Metzger // *Compr Rev Food Sci Food Saf*. — 2021. — Vol. 20 (5). — P. 4426–4449.

11. *Whey Proteins From Milk to Medicine* / ed.: Hilton C. Deeth, Nidhi Bansal. — Elsevier Inc., 2019. — 724 p.
12. *Marella, Ch.* Microfiltration Process for Production of Micellar Casein Concentrate / Ch. Marella, V. Sunkesula, A. R. A. Hammam, A. Kommineni, Lloyd E. Metzger // *Journal reference: Membranes*. — 2021. — Version 1. — P. 656.
13. *Conto, F.* *Advances in Dairy Products* / F. Contr, M. A. Del Nobile, M. Faccia, A. V. Zambrini, A. Conte. — John Wiley & Sons Ltd. — 2018. — 482 p.
14. Молоко и молочные продукты. Методы определения жира: ГОСТ 5867-90. — Введ. 01.07.1991. — Москва: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2007. — 18 с.
15. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества: ГОСТ 3626-73. — Введ. 01.07.1974. — Москва: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2008. — 14 с.
16. Молоко и молочные продукты. Определение содержания небелкового азота с применением метода Кьельдаля: ГОСТ Р 55246-2012. — Введ. 29.11.2012. — Москва: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2012. — 10 с.
17. Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка: ГОСТ 23327-98. — Введ. 01.01.2000. — Москва: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2012. — 11 с.
18. Молоко. Определение содержания азота. Часть 1. Метод Кьельдаля: СТБ ISO 8968-1-2008. — Введ. 01.07.2009. — Минск: БелГИСС, 2009. — 16 с.
19. Молоко. Определение содержания казеинового азота. Часть 1. Косвенный метод (арбитражный метод): СТБ ISO 17997-1-2012. — Введ. 01.01.2013. — Минск: БелГИСС, 2012. — 12 с.

Информация об авторах

Шегидевич Екатерина Дмитриевна, заместитель директора по качеству и инновационной работе РУП «Институт мясо-молочной промышленности» (пр. Партизанский, 172, 220075, г. Минск, Республика Беларусь).
E-mail: ek.sheg@yandex.ru

Information about authors

Shegidevich Ekaterina Dmitrievna, Deputy Director for Quality and Innovation of the Institute for Meat and Dairy Industry (Partizansky av., 172, 220075 Minsk, Republic of Belarus).
E-mail: ek.sheg@yandex.ru