



<https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-2-22>

УДК330.34:637.33(470.630)

Оригинальная статья

# Особенности микрофльтрационной обработки сыропригодного молока пород коров Ставропольского края\*

**Дмитрий Сергеевич Мамай**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий и инжиниринга

E-mail: [dima-mamaj@yandex.ru](mailto:dima-mamaj@yandex.ru)

**Сергей Петрович Бабеньшев**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пищевых технологий и инжиниринга

**Ангелина Валерьевна Мамай**, канд. техн. наук, инженер кафедры пищевых технологий и инжиниринга

**Иван Алексеевич Евдокимов**, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов

**Георгий Сергеевич Анисимов**, канд. техн. наук, директор центра биотехнологического инжиниринга

**Вячеслав Александрович Лисицын**, аспирант

**Анастасия Сергеевна Калинина**, магистрант

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Постоянно растущий спрос на качественные мягкие сыры обуславливает необходимость разработки все более эффективных технологий переработки исходного сырья. Но молоко коров разных пород при соответствующих нормах кормления и условиях содержания, кроме физико-химических характеристик, отличается и по сыропригодности. Это определяет актуальность разработки нового подхода подготовки натурального молока к производству отечественной сырной продукции. Наиболее перспективным способом решения этой проблемы является повышение массовой доли казеина в молоке путем добавления в него микрофльтрационного ретентата, обогащенного мицеллярным казеином в нативном виде. Цель исследования: экспериментально установить влияние варьирования параметров микрофльтрации обезжиренного молока на состав ретентата (соотношение казеина и сывороточных белков). Добавление такого ретентата в исходное молоко повышает его сыропригодность. В настоящее время отсутствуют или представлены фрагментарно экспериментальные данные о сыропригодности молока коров наиболее распространенных в Ставропольском крае пород, а также о влиянии режимов микрофльтрации обезжиренного молока на состав и свойства ретентата. Проведенные исследования показали, что наилучшую сыропригодность демонстрирует молоко коров голштинской и ярославской пород. Было установлено, что проницаемость микрофльтрационной мембраны Владисарт с показателем среднего условного диаметра пор 0,2 мкм практически одинакова при баромембранном разделении обезжиренного молока. Варьирование рабочих параметров микрофльтрации существенно влияет на соотношение казеина и сывороточных белков в ретентате.

**Ключевые слова:** натуральное молоко, сыропригодность, мягкие сыры, породы коров, Ставропольский край, микрофльтрационный ретентат

**Для цитирования:** Особенности микрофльтрационной обработки сыропригодного молока пород коров Ставропольского края / Д. С. Мамай, С. П. Бабеньшев, А. В. Мамай [и др.] / Сыроделие и маслоделие. 2025. № 2. С. 55–60. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-2-22>

\*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-26-20084, <https://rscf.ru/project/24-26-20084/>



Источник изображения: pixabay.com

## Введение

Высокий уровень конкуренции производителей молочной продукции и постоянно растущий спрос на качественные мягкие сыры обуславливают необходимость разработки все более эффективных технологий переработки исходного сырья, особенно на основе мембранного фракционирования натурального молока с получением ретентата и пермеата, содержащих в нативном состоянии соответственно мицеллярный казеин и  $\beta$ -лактоглобулин,  $\alpha$ -лактоальбумин [1–4]. Но молоко разных коров при соблюдении норм кормления и условий содержания, кроме физико-химических характеристик, отличается и сыропригодностью, которая наследственно обусловлена породой [5, 6]. Для увеличения сырьевой базы сыроделия требуется разработка нового подхода к выбору и последующей подготовке исходного сырья. Наиболее перспективным способом решения этой проблемы является повышение массовой доли белка в сырье, используемом при производстве сыра, путем добавления в него микрофльтрационного ретентата, обогащенного казеиновой фракцией в нативном состоянии. Это позволит и сократить объем молочной сыворотки, образующейся в результате выработки сырной продукции, и получить пермеат обезжиренного молока в нативном состоянии.

В настоящее время отсутствуют или представлены фрагментарно экспериментальные данные по сыропригодности молока пород коров, наиболее распространенных в Ставропольском крае; проницаемости по пермеату промышленных образцов микрофльтрационных мембран при баромембранном разделении обезжирен-

ного молока; влиянию варьирования рабочих параметров процесса микрофльтрации такого сырья на соотношения массовых долей казеина и сывороточных белков в получаемом ретентате. Это обуславливает необходимость проведения собственных экспериментальных исследований.

**Целью исследования** является определение влияния варьирования основных рабочих параметров процесса микрофльтрации обезжиренного молока на соотношение массовых долей казеина и сывороточных белков в микрофльтрационном ретентате, добавление которого в исходное сырье повышает его сыропригодность. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи экспериментальных работ:

- определить сыропригодность молока пород коров, наиболее распространенных в Ставропольском крае;
- установить проницаемость промышленного образца микрофльтрационной мембраны (Владисарт) с показателем среднего условного диаметра пор 0,2 мкм при фиксированных значениях рабочего давления, скорости циркуляции и температуры разделяемой системы при микрофльтрации обезжиренного молока коров пород, наиболее распространенных в Ставропольском крае;
- определить возможность влияния на соотношение массовых долей казеина и сывороточных белков в микрофльтрационном ретентате варьированием основных рабочих параметров процесса микрофльтрации обезжиренного молока.

## Объекты и методы исследования

Физико-химические свойства цельного молока исследовали в АО «Молочный комбинат Ставропольский» с использованием анализатора молока MilkoScan FT и в лаборатории процессов и аппаратов пищевых производств факультета пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А. Г. Храмцова (СКФУ, г. Ставрополь) по стандартным методикам с применением соответствующего оборудования и приборов:

- рефрактометр ИРФ-454Б2М (содержание сухих веществ в исходном и обезжиренном молоке);
- анализатор UDK-149 VELP (арбитражный метод определения белковых фракций по Кьельдалю);
- титратор электронный Brand Titrette (титруемая кислотность объектов исследования);
- электронный измеритель кислотности уровня pH 5 в 1 ML-51 (активная кислотность объектов исследования);
- цифровой термометр SEM DT-130 (контроль температуры разделяемой системы).

Достоверность и воспроизводимость результатов обусловлена применением стандартных и арбитражных методов исследований (табл. 1).

Анализ литературных данных [7–9] показал, что для микрофильтрационного разделения обезжиренного молока следует применять полимерные мембраны со средним условным диаметром пор 0,2 мкм (величина рабочего

давления – до 2,5 бар, температура разделяемой системы – до 50 °С). Для проведения экспериментальных исследований использована лабораторная установка Spectrum Labs KrosFlo Research II TFF System с аппаратом каскадного типа Novaset-LS-LHV SS316. В соответствии с эксплуатационными характеристиками и тарифовками шкал контрольно-измерительных приборов установки были введены следующие ограничения: рабочее давление  $\Delta P_{\max} = 2,4\text{--}2,5$  бар, скорость циркуляции  $W_{\max} = 130\text{--}140$  мл/мин, температура разделяемой системы  $T_{\max}$  – до 50 °С.

Экспериментальные выработки при постоянном значении температуры разделяемой системы длительностью до 3–6 часов (в зависимости от фактора концентрирования) выполнялись в том числе и с частичным отводом пермеата в исходную емкость. Величину потока пермеата ( $G$ , кг/м<sup>2</sup>ч) определяли, взвешивая отводимый каждые 5,0 ± 0,1 мин пермеат (с точностью ± 0,1 г) на цифровых весах, расчет вели по уравнению:

$$G = M_p / t \times S_p,$$

где  $M_p$  – масса пермеата, кг, проходящего через мембрану за интервал времени ( $t$ , ч);  $S_p$  – величина рабочей площади мембраны, м<sup>2</sup>.

Микрофильтрационный ретентат был выработан в следующем порядке:

- с использованием мембраны с показателем условного диаметра пор 0,2 мкм проведен процесс мембранного разделения обезжиренного молока в замкнутом режиме в течение 3,0–6,0 ч при факторе концентрирования 2,0–6,0. Основные рабочие параметры микрофильтрации соответствовали средним значениям рабочего давления  $\Delta P$  и скорости циркуляции  $W$ ;
- по окончании процесса в продуктах разделения определяли массовые доли общего белка ( $M_{об}$ ), казеина ( $M_k$ ) и сывороточных белков ( $M_{сб}$ ) в истинном белке. Массовую долю истинного белка в пробах рассчитывали как разность массовой доли общего белка и небелкового азота;
- результаты определения массовых долей общего белка, казеина и сывороточных белков в истинном белке в ретентах и пермеатах сводили в соответствующие таблицы для последующего анализа.

Таблица 1. Методы исследований

Наименование показателя	Нормативный документ
Титруемая кислотность, °Т	ГОСТ 3624-92
Массовая доля сухого вещества, %	ГОСТ 34128-2017
Общий азот, %	АОАС 991.20
Небелковый азот, %	АОАС 991.21
Казеиновый азот (прямой метод), %	АОАС 998.06
Температура, °С	ГОСТ 26754-85
Метод определения уровня бактериальной обсемененности сырого молока – редуктазная проба	ГОСТ Р 53430-2009
Сычужно-бродильная проба	ГОСТ Р 53430-2009

## Результаты и их обсуждение

В качестве исходного сырья использовано молоко (табл. 2) различных поставщиков (Ставропольский край, РФ: ООО СП Чапаевское, х. Верхнегорлыкский; ПЗК им. Ленина; ЛПХ Жиленко Александр Сергеевич, х. Ливчанский; ООО «Агроальянс инвест»; ООО «Новоурожайненское»; СПК колхоз-племзавод Кубань, с. Кочубеевское), которое подвергалось стандартной предварительной обработке в соответствии с ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия». Заключение по сыропригодности молока делали на основе анализа результатов сычужно-бродитель-

ной пробы (табл. 3) и последующей экспериментальной выработки сыра типа Сулугуни. При одинаковых характеристиках редуктазных проб установлена положительная корреляция между классом сычужно-бродительной пробы образцов молока и качественными показателями вырабатываемого из них сыра.

Результаты обработки (в стандартном приложении Statistica 10.0) и анализа экспериментальных данных, полученных при микрофилтрации образцов обезжиренного молока, показывают, что проницаемость (G) по пермеату мембраны

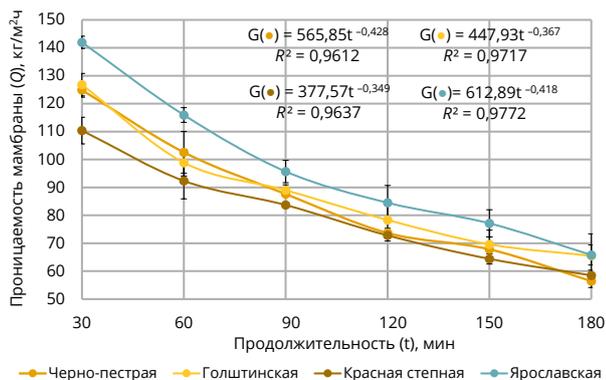
Таблица 2. Физико-химические характеристики исходного молока

Порода коровы	Показатели							
	Белок, %	Казеин, %	Доля казеина в общем белке, %	Сухие вещества, %	Титруемая кислотность, °Т	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Жир, %	СОМО, %
Голштинская	3,47 ± 0,01	2,87 ± 0,01	83	12,1 ± 0,1	17,0 ± 0,5	1,028 ± 0,500	2,8 ± 0,1	9,06 ± 0,02
Черно-пестрая	3,11 ± 0,01	2,51 ± 0,01	81	12,9 ± 0,1	17,0 ± 0,5	1,026 ± 0,500	4,3 ± 0,1	8,50 ± 0,02
Красная степная	3,37 ± 0,01	2,71 ± 0,01	80	13,7 ± 0,1	17,0 ± 0,5	1,027 ± 0,500	4,4 ± 0,1	9,01 ± 0,02
Ярославская	2,80 ± 0,01	2,37 ± 0,01	85	12,9 ± 0,1	18,0 ± 0,5	1,027 ± 0,500	3,8 ± 0,1	8,52 ± 0,02

Таблица 3. Сычужно-бродительная проба исходного молока

Порода коровы	Фото (наиболее характерное)	Описание (ГОСТ Р 53430-2009)	Класс
Голштинская		Сгусток с гладкой поверхностью, упругий на ощупь, без глазков на продольном разрезе, плавает в прозрачной сыворотке, которая не тянется.	I
Черно-пестрая		Сгусток мягкий на ощупь, с единичными глазками (1–10), разорван, но не вспучен. В отдельных случаях сгусток с многочисленными глазками, губчатый, мягкий на ощупь.	II–III
Красная степная		Сгусток мягкий на ощупь, с единичными глазками (1–10), разорван, но не вспучен. В отдельных случаях сгусток с гладкой поверхностью, упругий на ощупь, без глазков на продольном разрезе.	I–II
Ярославская		Сгусток с гладкой поверхностью, упругий на ощупь, без глазков на продольном разрезе, плавает в прозрачной сыворотке, которая не тянется.	I

с показателем условного диаметра пор 0,2 мкм при постоянных значениях рабочего давления ( $\Delta P$ ), скорости циркуляции ( $W$ ) и температуры разделяемой системы ( $T$ ) определяется нелинейной зависимостью вида  $G = f(t)$  (см. рис.). Установлено, что режим пастеризации исходного сырья (ГОСТ Р 53437-2009) и последующая выработка (включая операцию микрофльтрации обезжиренного молока и добавление ретентата в сырье) мягкого сыра типа Сулугуни в соответствии с требованиями Патента № 2214099 «Способ получения сыра "Донской"» позволяет получать сырную продукцию требуемого качества. При этом следует отметить, что варьирование основных рабочих параметров процесса  $\Delta P$  и  $W$  при  $T = \text{const}$  (в диапазоне 10–25 °С) приводит к существенному изменению отношения массовых долей казеина и сывороточных белков в микрофльтрационном ретентате (табл. 4). Повышение температуры разделяемой системы до 50 °С хотя и приводит к существенному повышению проницаемости мембраны, но повышает энергозатраты на реализацию процесса и риск роста степени бактериальной обсемененности мембранных поверхностей.



**Рисунок. Зависимость проницаемости от длительности микрофльтрации обезжиренного молока ( $\Delta P = 1,6 \pm 0,1$  бар,  $V = 110 \pm 1$  мл/мин,  $T = 25 \pm 0,1$  °С)**



Источник изображения: pikabay.com

**Таблица 4. Массовые доли казеина и сывороточных белков в общем белке микрофльтрационного ретентата при использовании мембраны с показателем условного диаметра пор 0,2 мкм**

Порода коровы	Рабочее давление ( $\Delta P$ ), бар	Скорость циркуляции ( $W$ ), мл/мин	Казеин, %	Сывороточный белок, %	Отношение массовых долей казеина и сывороточных белков
Голштинская	$2,5 \pm 0,1$	$140 \pm 1$	$90 \pm 0,1$	$10 \pm 0,1$	9,0
Черно-пестрая	$2,5 \pm 0,1$	$70 \pm 1$	$87 \pm 0,1$	$13 \pm 0,1$	6,7
Красная степная	$0,2 \pm 0,1$	$140 \pm 1$	$91 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$	10,1
Ярославская	$0,2 \pm 0,1$	$70 \pm 1$	$92 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	11,5

## Выводы

В результате анализа полученных данных экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы.

- У молока двух пород коров, наиболее распространенных в Ставропольском крае – Голштинской и Ярославской, отмечается лучшая сыропригодность.
- Проницаемость промышленного образца микрофильтрационной мембраны (Владисарт) с показателем условного диаметра пор 0,2 мкм

при фиксированных значениях  $\Delta P$ ,  $W$  и  $T$  практически одинакова при микрофильтрации обезжиренного молока коров Голштинской, Черно-пестрой, Красной степной и Ярославской пород.

- Варьирование рабочих параметров (рабочего давления, скорости циркуляции и температуры разделяемой системы) процесса микрофильтрации обезжиренного молока приводит к изменению отношения массовых долей казеина и сывороточных белков в диапазоне 6,7–11,5, что обуславливает необходимость определения их оптимальных значений. ■

Поступила в редакцию: 26.11.2024

Принята в печать: 28.12.2024

## Microfiltration of Raw Cheese Milk from Stavropol Cow Breeds

Dmitriy S. Mamay, Sergey P. Babenyshev, Angelina V. Mamay, Ivan A. Evdokimov, Georgiy S. Anisimov, Vyacheslav A. Lisitsyn, Anastasia S. Kalinina  
North Caucasus Federal University, Stavropol

The constantly growing demand for soft cheeses requires more efficient processing technologies. Milk quality depends not only on the cow breed, diet, and welfare: domestic cheese production needs milk of particular grade, with particular physical and chemical properties. The most efficient method to make natural skim milk suitable for cheese production is to increase the mass fraction of casein by adding microfiltration retentate fortified with micellar native casein. The article describes the effect of microfiltration parameters on the retentate composition, i.e. the ratio of casein to whey proteins, and the optimal cheese-making parameters of skim milk. The research involved cow breeds popular in the Stavropol Region, of which the best results belonged to the Holstein and Yaroslavl cows. The permeability of Vladisart microfiltration membrane with an average conventional pore diameter of 0.2  $\mu\text{m}$  remained almost the same during the baromembrane separation of skim milk. However, different operating microfiltration parameters yielded different mass fractions of casein and whey.

**Keywords:** natural milk, cheese milk, soft cheeses, cow breeds, Stavropol region, microfiltration retentate

### Список литературы

1. Brans, G. Membrane fractionation of milk: State of the art and challenges / G. Brans [et al.] // Journal of Membrane Science. 2004. Vol. 243(1-2). P. 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.06.029>
2. Skrzypek, M. Isoflux® ceramic membranes - Practical experiences in dairy industry / M. Skrzypek, M. Burger // Desalination. 2010. Vol. 250(3). P. 1095–1100. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.116>
3. Heino, A. T. Functional properties of native and cheese whey protein concentrate powders / A. T. Heino [et al.] // International Journal of Dairy Technology. 2007. Vol. 60(4). P. 277–285. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2007.00350.x>
4. Jorgensen, C. E. Optimization of protein fractionation by skim milk microfiltration: Choice of ceramic membrane pore size and filtration temperature / C. E. Jorgensen [et al.] // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99(8). P. 6164–6179. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11090>
5. Гончаренко Г. М. Сравнительная оценка сыропригодности молока симментальской и красной степной пород с учетом генотипов гена *k*-казеина / Г. М. Гончаренко, Т. С. Горячева, Н. М. Рудишина [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 12(110). С. 113–117. <https://elibrary.ru/rqoiwr>
6. Мухаметгалиев, Н. Н. Оценка молочных пород скота и их помесей по сыропригодности молока / Н. Н. Мухаметгалиев // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2005. Т. 181. С. 139–146. <https://elibrary.ru/mhwaev>
7. Zulewska, J. Influence of casein on flux and passage of serum proteins during microfiltration using polymeric spiral-wound membranes at 50° C / J. Zulewska, D. M. Barbano // Journal of Dairy Science. 2013. Vol. 96(4). P. 2048–2060. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6032>
8. Zulewska, J. Efficiency of serum protein removal from skim milk with ceramic and polymeric membranes at 50° C / J. Zulewska [et al.] // Journal of Dairy Science. 2009. Vol. 92(4). P. 1361–1377. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1757>
9. Mamay, D. Microfiltration Processing of Raw Materials for the Fermented Milk Product Making / D. Mamay, S. Babenyshev, A. Mamay [et al.] // Intelligent Biotechnologies of Natural and Synthetic Biologically Active Substances, Stavropol. Vol. 408. Cham: Springer, Cham, 2022. P. 10–17. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96641-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96641-6_2); <https://elibrary.ru/cszuhg>