

Обоснование технологических параметров мембранный фильтрации при производстве вытяжных сыров

Юлия Владимировна Тилилицина¹, магистр, инженер, технолог-разработчик

E-mail: atyunina.y@new-terra.ru

Олег Викторович Дымар, д-р техн. наук, профессор, технический директор², директор по развитию³

E-mail: dymarov@tut.by

¹ООО «Узловский молочный комбинат», г. Узловая, Российская Федерация

²Представительство АО «MEGA», г. Минск, Республика Беларусь

³3XM Sp. z o.o., г. Радзымин, Республика Польша

Цель исследования заключается в выявлении рациональных параметров мембранный фильтрации для эффективного разделения молочных белков и получения концентрированного казеинового продукта, необходимого для нормализации состава смеси по соотношению белковых фракций. Это, в свою очередь, позволит улучшить функциональные характеристики вытяжных сыров, производимых на основе данной смеси. Актуальность работы обусловлена отсутствием в России комплексного изучения применения мицеллярного казеина в технологии вытяжных сыров. Это исследование направлено на восполнение данного пробела и разработку рекомендаций для повышения функциональных свойств конечного продукта. Для проведения экспериментов была использована мембранный установка, разработанная инженерами ООО «УМК» (г. Узловая, Российская Федерация) и оснащенная рулонными полимерными мембранными с размером пор 0,05 мкм. В ходе исследования изучалось влияние четырех факторов на процесс разделения молочных белков. Результаты исследования позволили обосновать следующие рациональные параметры: температура пастеризации обезжиренного молока не должна превышать 68 °C; температура подачи обезжиренного молока на микрофильтрационную установку должна быть в диапазоне 45–50 °C; степень разбавления обезжиренного молока влияет на содержание казеина в рентентате микрофильтрации; входящее давление обезжиренного молока не должно превышать 0,10 МПа. На основе полученных данных была разработана рациональная последовательность технологических операций для нормализации смеси по соотношению белковых фракций: сепарирование цельного молока, пастеризация обезжиренного молока, диафильтрация, микрофильтрация, наведение смеси, пастеризация. Дальнейшие исследования будут направлены на определение оптимального соотношения белковых фракций для производства вытяжных сыров с заданными функциональными свойствами.

Ключевые слова: вытяжные сыры, сыр для пиццы, мембранные технологии, микрофильтрация, мицеллярный казеин, коррекция белкового состава

Для цитирования: Тилилицина, Ю. В. Обоснование технологических параметров мембранный фильтрации при производстве вытяжных сыров / Ю. В. Тилилицина, О. В. Дымар // Сыроделие и маслоделие. 2025. № 3. С. 36–44. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-3-33>

Введение

Потребление сыров в 2023 г. впервые за современную историю РФ превысило 1 млн т. В настоящее время производство сыра представлено следующими категориями: полутвердые сыры составляют 42,4 %; мягкие сыры – 21,5 %; плавленые сыры – 21,2 %; твердые сыры – 10,8 %; прочие сыры – 4,1 %¹. Самой быстроразвивающейся группой являются мягкие сыры. По данным BusinessStat и стратегического бюро «Лучшие практики», объем производства мягких сыров в России с каждым годом увеличивается и в 2024 г. составил 220 тыс. т [1]. К мягким сырам относят творожно-сливочные сыры и сыры типа Паста Филата.

В данной статье рассмотрен один из наиболее известных типов вытяжного сыра – Моцарелла. Сыр является универсальным и используется в различных типах блюд, например в пицце, салатах, запеканках, лазаньях, пироге кальцоне².

При использовании сыра в качестве сырья очень важны его технологические свойства и их стабильность. К основным функциональным свойствам сыров Моцарелла относят: твердость сыра, длинную растягиваемую сырную нить, низкое блескообразование, равномерное расплавление и расположение светлых блистеров, отсутствие свободного жира после выпечки [2]. Выявлена зависимость функциональных свойств вытяжного сыра от количества и состояния молочного белка, а именно казеина, и его соотношения к сывороточным белкам и жиру в составе сыра [2]. Изменение соотношения казеин:сывороточные белки в сторону увеличения казеина позволит получить продукт с новыми органолептическими свойствами и физико-химическими показателями.

На этапе подготовки сырья можно регулировать содержание белковых компонентов в нормализованной смеси.

¹Анализ рынка сыра [Электронный ресурс]. URL: https://megaresearch.ru/new_reality/analiz-ryntka-syra (дата обращения: 19.02.2025).

²Структура российского рынка моцареллы для пиццы [Электронный ресурс].

URL: https://megaresearch.ru/knowledge_library/struktura-rossiyskogo-ryntka-mocarelly-dlya-piccyu (дата обращения: 19.02.2025).

Для этого в смесь добавляют сухое обезжиренное молоко, сухой концентрат молочного белка или сухой мицеллярный казеин с содержанием белка не менее 85 %. Также можно использовать мембранные технологии для сгущения или разделения молочных белков. Это позволит скорректировать состав смеси на начальной стадии производства.

Применение мембранных технологий дает возможность использовать белок в его нативном состоянии. Наиболее часто используемые мембранные процессы в производстве сыров – это ультрафильтрация и микрофильтрация. Ультрафильтрация позволяет концентрировать все молочные белки, а микрофильтрация – разделять их на казеин и сывороточные белки.

Казеин – это группа белков, которые могут образовывать мицеллы в присутствии кальция, цитратов и фосфатов [3–6]. В таблице 1 представлены размеры фракций и мицелл казеина, а также сывороточных белков [7].

Таблица 1. Молекулярный вес и размер молочных белков [7]

Название белка	Молекулярный вес, Да	Размер, мкм	Процентное соотношение в молоке, %
Казеины			
α_{s1} -казеин	23 000	0,019	38,0
α_{s2} -казеин	25 000	0,021	10,0
κ -казеин	19 000	0,015	11,0
β -казеин	24 000	0,020	36,0
γ_1 -казеин	20 500	0,017	
γ_2 -казеин	11 800	0,0098	3,0
γ_3 -казеин	11 500	0,00958	
Субмицелла	250 000	0,2080	–
Мицелла	260 000 000	21,670	–
Сывороточные белки			
α -лактоальбумин	14 200	0,0118	3,5–6,0
β -лактоглобулин	18 000	0,015	2,0–5,0
альбумин сыворотки крови	66 000	0,055	0,7–1,3
иммуноглобулины	150 000–1 000 000	0,125–0,834	1,9–3,3
лактоферрин	76 500	0,06375	0,3

Исходя из информации о размерах белков, можно предположить, что при микрофильтрации разрушенные мицеллы будут уходить в зону пермеата, а субмицелла и мицелла останутся в зоне ретентата.

Сывороточные белки, такие как α -лактоальбумин и β -лактоглобулин, при разделении будут уходить в зону пермеата, если они не денатурированы и сохраняют свою нативную структуру [8].

В настоящее время в России недостаточно исследовано практическое использование микрофильтрации при производстве вытяжных сыров для улучшения их функциональных характеристик. В связи с этим мы считаем необходимым провести исследование, направленное на определение рациональных параметров разделения молочных белков с помощью микрофильтрации и использования концентрата казеина в необходимом соотношении с сывороточными белками в процессе производства вытяжных сыров для улучшения их функциональных характеристик.

Источник изображения: freepik.com



Цель исследования – определить рациональные параметры сырья и условия разделения молочных белков на установке микрофильтрации с получением концентрата казеина для создания смеси с необходимым соотношением фракций белка и последующего производства сыра с желаемыми функциональными характеристиками.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определить и обосновать параметры сырья и технологические режимы микрофильтрации.
2. Исследовать физико-химический состав ретентата и пермеата после микрофильтрации.
3. Разработать технологическую схему производства вытяжного сыра Моцарелла.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – обезжиренное молоко, ретентат и пермеат с микрофильтрации. Исходное сырье – обезжиренное молоко со стандартными физико-химическими показателями (табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические показатели обезжиренного молока

Наименование показателя	Значение
Кислотность, °Т	15,0
Активная кислотность (рН)	6,65
Вязкость, мПа·с	2,18
Плотность, г/мл	1,034
Массовая доля сухих веществ, %	8,90
Массовая доля белка, %	3,38
Массовая доля сывороточного белка, %	0,85
Массовая доля казеина, %	2,53
Массовая доля золы, %	0,73
Массовая доля кальция, мг%	126,30
Массовая доля лактозы, %	4,30
Массовая доля мочевины, мг%	23,90

В ходе экспериментов применялась технология диафильтрации. Диафильтрация представляет собой процесс разбавления обезжиренного молока водой. Для подготовки воды использовались ионообменные колонны. Вода подвергалась пастеризации при температуре 97 °С в течение 1 мин.

Для изучения закономерностей процесса применялась мембранные установка, разработанная специалистами ООО «Узловский молочный комбинат», г. Узловая, РФ. В установке использовались полимерные мембранные рулонного типа с размером пор 0,05 мкм.

При выполнении экспериментальных исследований использовали стандартные методы, представленные в таблице 3.

Результаты и их обсуждение

Предполагается, что в процессе мембранный фильтрации молочных белков ключевыми являются четыре параметра: первоначальная термическая обработка обезжиренного молока, температура подачи обезжиренного молока на мембранные аппараты, степень концентрирования обезжиренного молока, входящее давление обезжиренного молока на мембранные аппараты [9–12].

В ходе первого этапа исследования мы изучали влияния температуры пастеризации исходного обезжиренного молока на процесс разделения молочных белков. Не обнаружено научных работ, в которых были бы опубликованы результаты подобных исследований. В связи с этим актуальным является публикация результатов проведения и обоснование эксперимента по влиянию температуры пастеризации исходного обезжиренного молока на процесс разделения молочных белков на установке микрофильтрации.

Таблица 3. Перечень стандартизованных методов

Наименование показателя	Нормативный документ
Массовая доля общего белка	ГОСТ 34454-2018; ГОСТ 30648.2-99
Массовая доля сывороточного белка	ГОСТ Р 54756-2011
Массовая доля казеина	ГОСТ Р 54756-2011
Соотношение казеина и сывороточного белка	ГОСТ 30648.2-99; ГОСТ 34454-2018; ГОСТ Р 54756-2011
Массовая доля влаги и сухого вещества	ГОСТ Р 54668-2011
Массовая доля лактозы	ГОСТ 29248-91
Массовая доля золы	ГОСТ 15113.8-77
Активная кислотность	ГОСТ 32892-2014

Казеин, один из основных белков молока, способен выдерживать нагревание без потери своих свойств при температуре 140 °С в течение 60 мин и более. В отличие от казеина, сывороточные белки менее устойчивы к нагреванию. Многие из них начинают разрушаться уже при температуре 68 °С. При нагревании молока сывороточные белки образуют дисульфидные связи с казеином, что приводит к увеличению размера казеиновых мицелл. В результате сывороточные белки остаются в концентрате, а казеин кажется более концентрированным. В связи с этим обезжиренное молоко, полученное после сепаратора-сливкоотделителя, было пастеризовано при четырех режимах: 64, 68, 72, 76 °С в течение 20 с.

Проведено исследование на соответствие микробиологических показателей согласно требованиям ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», результаты исследования представлены в таблице 4. Исследование проводилось в 1 см³ образца.

Анализ микробиологических показателей обезжиренного молока показал, что установленные температурные режимы полностью соответствуют требованиям безопасности, закрепленным в техническом регламенте ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции».

В ходе исследований не проведено изменений в режимах работы микрофильтрационной установки, за исключением одного параметра – температуры пастеризации исходного обезжиренного молока.

Физико-химические показатели ретентата и пермеата в общей массе продукта при различных температурных режимах обработки обезжиренного молока представлены в таблице 5.

Чтобы облегчить понимание, рассчитаны процентное содержание белка в исходном обезжиренном молоке, ретентате

Таблица 4. Результаты микробиологического исследования обезжиренного молока

Температура пастеризации обезжиренного молока	КМАФАнМ, КОЕ/см ³	БГКП (coliформы) в 1 см ³	Патогенные, в том числе сальмонеллы в 1 см ³	Стафилококки <i>S. aureus</i> в 1 см ³	Листерии <i>L. monocytogenes</i> в 1 см ³	Дрожжи, плесени, КОЕ/см ³ , не более
Непастеризованное	не более 7×10^4	о. (<i>E. coli</i>)	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
64 °С	не более 3×10^4	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
68 °С	менее 10^4	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
72 °С	менее 10^4	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
76 °С	менее 10^3	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.

Примечание: н. о. – не обнаружено; о – обнаружено.

Таблица 5. Соотношение ретентата и пермеата в общей массе продукта при различных температурных режимах обработки обезжиренного молока

Наименование показателя	Температура пастеризации обезжиренного молока, °С							
	64		68		72		76	
	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат
Массовая доля сухих веществ, %	12,83	4,88	17,26	5,00	16,46	5,28	15,40	6,53
Массовая доля казеина, %	6,83	0,02	9,50	0,02	8,53	0,06	7,15	0,45
Массовая доля сывороточных белков, %	1,01	0,22	2,23	0,27	2,37	0,14	2,11	0,39
Массовая доля золы, %	0,79	0,34	1,00	0,40	1,26	0,48	1,24	0,59
Массовая доля лактозы, %	4,20	4,30	4,53	4,31	4,30	4,60	4,90	5,10

и пермеате относительно общего количества белка при различных начальных температурах обработки обезжиренного молока (табл. 6).

Можно сделать вывод – чем ниже температура пастеризации, тем эффективнее происходит разделение, поскольку сывороточный белок не оседает на мицеллу казеина. Это связано с тем, что при более низких температурах сывороточный белок не подвергается воздействию и не образует связей с казеином. В процессе увеличения температуры пастеризации содержание золы в ретентате увеличивается. Это может быть обусловлено тем, что кальций переходит из ионного состояния в коллоидное, образуя связи с белками.

В ходе второго этапа экспериментов было исследовано, как температура и степень концентрирования обезжиренного молока влияют на процесс разделения (табл. 7, 8). Выбор температурных режимов микрофильтрации был обусловлен необходимостью обеспечить высокую пропускную способность мембран и сохранить свойства целевого продукта. Согласно данным из научной литературы, фракции казеина, такие как α_{s1} -казеин, α_{s2} -казеин и κ -казеин, остаются в концентрате независимо от температуры разделения. Фракция β -казеин, напротив, ведет себя по-разному в зависимости от температуры [9].

При температуре 4 °C β -казеин преимущественно существует в мономерном состоянии, что приводит к его диссоциации на поверхность мицеллы, откуда он переходит в пермеат. При температуре 50–55 °C первичная структура

β -казеина содержит большое количество неполярных аминокислот на С-конце, что способствует гидрофобным взаимодействиям этого вида казеина с другими мономерами казеина, которые структурируют мицеллы. В процессе нагрева усиливаются гидрофобные взаимодействия и равновесие β -казеина смещается в сторону мицеллярно-связанной структуры. В конечном итоге это приводит к образованию β -казеиновых мицелл, и β -казеин задерживается в концентрате [8].

Одноступенчатый процесс разделения обезжиренного молока позволяет отделить только часть сывороточных белков. Для более высокого уровня разделения необходимы дополнительные стадии диафильтрации с разбавлением обезжиренного молока или ретентата предыдущей стадии водой или пермеатом ультрафильтрации. Качество разделения улучшается путем добавления к исходному раствору воды для снижения концентрации веществ, попадающих в пермеат.

Обезжиренное молоко было пастеризовано при температуре 68 °C с выдержкой 20 с. Разбавление обезжиренного молока проводилось пастеризованной умягченной водой в соотношении 1:1, 1:2 и 1:3. Процесс разделения молочных белков проходил при температуре 45–50 °C. Второй эксперимент был проведен по разбавлению концентрата микрофильтрации умягченной водой в соотношении 1:1.

Чтобы сделать информацию более понятной, рассчитаны массовые доли казеина и сывороточных белков относительно общего количества белка, результаты представлены в таблице 9.

Таблица 6. Массовые доли казеина и сывороточных белков относительно общего содержания белка продукта при различных температурных режимах обработки обезжиренного молока

Наименование показателя	Температура пастеризации обезжиренного молока, °C											
	64			68			72			76		
	Исходное обезжиренное молоко	Ретентат	Пермеат	Исходное обезжиренное молоко	Ретентат	Пермеат	Исходное обезжиренное молоко	Ретентат	Пермеат	Исходное обезжиренное молоко	Ретентат	Пермеат
Массовая доля казеина, %	76,00	87,12	8,30	76,00	80,99	6,89	75,87	78,25	30,00	77,20	77,20	53,57
Массовая доля сывороточных белков, %	24,00	12,88	91,70	24,00	19,01	93,10	24,13	21,75	70,00	22,80	22,80	46,43

Результаты экспериментов по изучению влияния температуры подачи и концентрации обезжиренного молока на процесс разделения белков в молочных продуктах показали следующее: при повышении температуры подачи обезжиренного молока в мембранные аппараты содержание казеина в ретентате увеличивается, а в пермеате уменьшается. При увеличении температуры подачи в пермеате увеличивается массовая доля сывороточных белков, а содержание казеина снижается. При температуре подачи 50 °С казеин полностью отсутствует в пермеате (табл. 7).

В образцах ретентата и пермеата были проведены исследования на определение содержания сухих веществ, золы, лактозы. Результаты представлены в таблице 8.

При увеличении степени разбавления обезжиренного молока водой содержание казеина в ретентате увеличивается, а в пермеате уменьшается. При двух- и трехкратном разбавлении наблюдается отсутствие казеина в пермеате и содержание сывороточных белков в нем составляет 100,00 % (табл. 9). При разбавлении концентрата микрофильтрации умягченной водой в соотношении 1:1: в ретентате содержание казеина и сывороточного белка составило 91,82 и 8,18 % соответственно; в пермеате содержание казеина и сывороточного белка составило 30,00 и 70,00 % соответственно. При разбавлении ретентата водой 14 % казеина переходит в пермеат.

При повышении температуры подачи обезжиренного молока в мембранные аппараты наблюдается увеличение содержания казеина в ретентате и уменьшение его концентрации в пермеате.

Таблица 7. Влияние температуры подачи обезжиренного молока на процесс разделения казеина и сывороточных белков в установке микрофильтрации

Наименование показателя	Температура пастеризации обезжиренного молока, °С					
	30		45		50	
	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат
Массовая доля казеина, %	81,14	10,15	86,00	6,25	88,10	0,00
Массовая доля сывороточных белков, %	18,86	89,85	14,00	93,75	11,90	100,00

Таблица 8. Влияние степени разбавления обезжиренного молока на состав ретентата и пермеата

Наименование показателя	Степень разбавления обезжиренного молока					
	1:1		1:2		1:3	
	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат
Массовая доля сухих веществ, %	9,00	3,00	8,38	1,54	7,50	1,30
Массовая доля казеина, %	3,400	0,034	3,380	0,000	3,180	0,000
Массовая доля сывороточных белков, %	0,800	0,516	0,520	0,440	0,330	0,540
Массовая доля лактозы, %	3,50	2,00	3,90	0,70	3,40	0,50
Массовая доля золы, %	1,30	0,45	0,58	0,40	0,59	0,26

Таблица 9. Влияние степени разбавления обезжиренного молока на процесс разделения казеина и сывороточных белков в установке микрофильтрации

Наименование показателя	Степень разбавления обезжиренного молока					
	1:1		1:2		1:3	
	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат
Массовая доля казеина, %	80,95	6,18	86,60	0,00	90,60	0,00
Массовая доля сывороточных белков, %	19,05	93,82	13,40	100,00	9,40	100,00



источник изображения: freepik.com

Установлено, что при разбавлении обезжиренного молока количество казеина, остающегося в ретентате после микрофильтрации, возрастает. В процессе диафильтрации наблюдается активное перемещение лактозы в пермеат. Диафильтрация позволяет не только повысить содержание белка в концентрате, но и значительно снизить концентрацию минеральных солей. Однако применение диафильтрации к ретентату казеина может привести к негативным эффектам, включая потерю части казеина, который переходит в пермеат, что, в свою очередь, увеличивает общие потери казеина.

На третьем этапе исследований изучалось влияние входящего давления на разделение молочных белков. Известно, что увеличение давления приводит к сжатию осажденных белковых слоев. Загрязнение, вызванное отложением белка, значительно влияет на поток и проницаемость сывороточного белка через мембрану. В работе M. Hartinger et al. отмечается, что высокое давление обезжиренного молока вызывает необратимое сжатие осадка [10]. Суспензии казеиновых мицелл образуют сжимаемые слои при давлении, превышающем критическое осмотическое давление, необходимое для формирования геля,

составляющее приблизительно 0,35 МПа. При этом давлении казеиновые мицеллы перекрываются и образуют плотный гель [5]. Пористость казеиновых мицеллярных структур становится ключевым фактором, определяющим сопротивление осадочного слоя [6]. Увеличение давления усиливает сжатие, что приводит к уменьшению пористости отложений [11, 12]. В таких условиях возрастает вероятность взаимодействия частиц и формирования сшитых структур в отложениях, особенно при высоких уровнях давления.

Важно учитывать реакционную способность нативного β -лактоглобулина (β -Ig) в формировании структуры осадочных слоев. В процессе разделения молекулы β -Ig образуют кластеры на поверхности казеиновых мицелл в результате тиол-дисульфидных реакций даже при температурах ниже точки денатурации. Это связано с высокой реакционной способностью поверхностей мицелл в условиях концентрированного осаждения, что приводит к образованию более крупных кластеров и формированию более пористых слоев отложений [13, 14].

Входящее давление сырья оказывает значительное влияние на эффективность микрофильтрации. Оптимальное рабочее давление для микрофильтрации обезжиренного молока составляет 1,5 бар (0,15 МПа), как указано в работе [15]. H.-J. Heidebrecht et al. [16] проводили микрофильтрацию при трансмембранным давлении в диапазоне от 0,6 до 3 бар (0,06–0,3 МПа).

В рамках нашего исследования процесс микрофильтрации осуществлялся при различных значениях входящего давления разбавленного водой обезжиренного молока в соотношении 1:3: от 0,5 бар (0,05 МПа) до 2,5 бар (0,25 МПа). Результаты показали, что при давлении 1,5–2,5 бар наблюдается существенный переход сывороточных белков в ретентат (табл. 10).

Таблица 10. Влияние входящего давления обезжиренного молока на процесс разделения казеина и сывороточных белков в установке микрофильтрации

Наименование показателя	Давление входящего потока, МПа							
	0,05		0,10		0,15		0,25	
	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат	Ретентат	Пермеат
Массовая доля казеина, %	90,76	9,24	91,00	9,00	87,18	12,80	88,40	11,60
Массовая доля сывороточных белков, %	8,00	90,00	6,00	92,00	15,00	85,00	17,30	82,40

При поддержании постоянного давления обезжиренного молока в диапазоне от 0,05 до 0,10 МПа наблюдается эффективное разделение молочных белков. Соотношение казеина и сывороточных белков в ретентате составляет 90,76:8,0 и 91,0:6,0. При увеличении давления выше 0,15 МПа происходит задерживание сывороточных белков в ретентате, сопровождающееся переходом казеина в пермеат. Это явление может быть обусловлено образованием белковых отложений на поверхности мембранны. Предполагается, что сывороточные белки взаимодействуют с казеином, что приводит к уплотнению белкового слоя под воздействием высокого давления и проникновению казеина в пермеат. Для более детального понимания механизмов данного процесса необходимо провести дополнительные исследования.

Выводы

Снижение температуры пастеризации исходного сырья способствует более эффективному разделению молочных белков. При этом минимизируется температурное воздействие на сывороточные белки, что предотвращает их дисульфидную связь с казеиновыми мицеллами и улучшает процесс разделения казеинов и сывороточных белков.

Рабочая температура микрофильтрационной установки составляет 45–50 °С, что снижает переход казеина в пермеат. При подаче обезжиренного молока на мембрану при температуре ниже 30 °С увеличивается массовая доля казеина в пермеате.

При увеличении степени разбавления обезжиренного молока наблюдается рост концентрации казеина в конечном концентрате, получаемом в результате микрофильтрации. Важно отметить, что применение процесса диафильтрации к ретентату казеина, полученному после микрофильтрации, вызывает переход казеина в пермеат. Данный процесс сопровождается существенным увеличением потерь казеина, что необходимо учитывать при оптимизации технологических параметров производства. Таким образом, существует прямая зависимость между степенью разбавления обезжиренного молока и концентрацией казеина в конечном продукте, а также обратная связь между применением диафильтрации к ретентату казеина и сохранением казеина в концентрате.

При поддержании давления обезжиренного молока в интервале от 0,05 до 0,10 МПа обеспечивается эффективное разделение белков молока. Увеличение давления выше 0,15 МПа приводит к задержанию сывороточных белков в ретентате и переходу казеина в пермеат.

Источник изображения: freepik.com



Проведенные исследования выявили рациональную последовательность технологических этапов для производства концентрата, направленного на нормализацию соотношения белковых фракций в смеси: сепарирование цельного молока, пастеризация обезжиренного

молока, диафильтрация, микрофильтрация, наведение смеси, пастеризация. Дальнейшие эксперименты направлены на определение оптимального соотношения фракций молочных белков для получения сыра с заданными функциональными характеристиками. ■

Поступила в редакцию: 17.02.2025
Принята в печать: 12.08.2025

Membrane Filtration of Stretch-Curd Cheese: Optimal Technological Parameters

Julia V. Tililitsyna¹, Oleg V. Dymar^{2,3}

¹Dairy Plant Uzlovskiy Molochniy Kombinat LLC, Uzlovaya, Russia

²Representative office of MEGA a. s., Minsk, Belarus

³3XM Sp. z o.o, Radzymin, Poland

Stretch-curd cheese is prepared using the *pasta filata* technique. It needs protein separation to obtain a concentrated casein product that stabilizes the ratio of protein fractions in the mix. This process requires optimal membrane filtration parameters to yield stretch-curd cheese with good functional properties. This research is the first of its kind in domestic food science to provide a comprehensive study of micellar casein in stretch-curd cheese production. The article contains some recommendations for improving the functional properties of the final product. The test involved a membrane installation (Dairy Plant Uzlovskiy Molochniy Kombinat LLC, Uzlovaya, Russia) with rolled polymer membranes with a pore size of 0.05 µm. The research tested the effect of four factors on protein separation. The resulting optimal parameters (for skimmed milk) were as follows: pasteurization temperature \leq 68 °C; temperature supply to the microfilter $- 45-50$ °C; incoming pressure \leq 0.10 MPa. The casein content in the microfiltration retentate depended on the dilution degree. The rational technological scheme to obtain the optimal ratio of protein fractions included separation of whole milk, pasteurization of skimmed milk, diafiltration, and microfiltration. Further research will determine the optimal ratio of protein fractions for the production of stretch-curd cheese with targeted functional properties.

Keywords: stretch-curd cheese, pizza cheese, *pasta filata* cheese, membrane technologies, microfiltration, micellar casein, protein composition

Список литературы

1. Березуцкий, А. А. Мягкие сыры: потенциал роста и ожидания рынка / А. А. Березуцкий // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 3. С. 23–25. <https://elibrary.ru/alsell>
2. Тилилицина, Ю. В. Функциональные свойства вытяжных сыров и методы их коррекции / Ю. В. Тилилицина, О. В. Дымар // Сыроделие и маслоделие. 2025. № 1. С. 43–50. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-1-17>; <https://elibrary.ru/lhedwv>
3. Govindasamy-Lucey, S. Use of Cold Microfiltration Retentates Produced with Polymeric Membranes for Standardization of Milks for Manufacture of Pizza Cheese / S. Govindasamy-Lucey [et al.] // Journal of Dairy Science. 2007. Vol. 90(10). P. 4552–4568. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0128>
4. Khramtsov, A. G. Current methods of cheese enrichment with calcium salts / A. G. Khramtsov, V. A. Dinyakov, A. D. Lodygin // Modern Science and Innovations. 2022. Vol. 1(37). P. 68–79. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.1.7>; <https://elibrary.ru/zveckb>
5. Qu, P. On the cohesive properties of casein micelles in dense systems / P. Qu, A. Bouchoux, G. Gésan-Guizou // Food Hydrocolloids. 2015. Vol. 43. P. 753–762. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.005>; <https://elibrary.ru/uwwsql>
6. Qu, P. Dead-end filtration of sponge-like colloids: The case of casein micelle / P. Qu, G. Gésan-Guizou, A. Bouchoux // Journal of Membrane Science. 2012. Vol. 417–418. P. 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.06.003>
7. Singh, H. Milk Proteins: From Expression to Food / ed. by H. Singh, M. Boland, A. Thompson. – Academic Press, 2014. – 622 p.
8. Евдокимов, И. А. Инновационные технологии молочных продуктов / под ред. И. А. Евдокимова. – СПб.: Профессия, 2023. – 242 с.
9. France, T. C. The effects of temperature and transmembrane pressure on protein, calcium and plasmin partitioning during microfiltration of skim milk / T. C. France [et al.] // International Dairy Journal. 2021. Vol. 114. 104930. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104930>
10. Hartinger, M. Milk Protein Fractionation by Means of Spiral-Wound Microfiltration Membranes: Effect of the Pressure Adjustment Mode and Temperature on Flux and Protein Permeation / M. Hartinger [et al.] // Foods. 2019. Vol. 8(6). 180. <https://doi.org/10.3390/foods8060180>
11. Steinhauer, T. Impact of Protein Interactions and Transmembrane Pressure on Physical Properties of Filter Cakes Formed during Filtrations of Skim Milk / T. Steinhauer, W. Kühnl, U. Kulozik // Procedia Food Science. 2011. Vol. 1. P. 886–892. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.134>
12. Bouchoux, A. A general approach for predicting the filtration of soft and permeable colloids: The milk example / A. Bouchoux [et al.] // Langmuir. 2014. Vol. 30(1). P. 22–34. <https://doi.org/10.1021/la402865p>; <https://elibrary.ru/sptngd>
13. Steinhauer, T. Structure of milk protein deposits formed by casein micelles and β -lactoglobulin during frontal microfiltration / T. Steinhauer, U. Kulozik, R. Gebhardt // Journal of Membrane Science. 2014. Vol. 468. P. 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.05.027>
14. Coppola, L. E. Comparison of milk-derived whey protein concentrates containing various levels of casein / L. E. Coppola [et al.] // International Journal of Dairy Technology. 2014. Vol. 67(4). P. 467–473. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12157>; <https://elibrary.ru/waoqhi>
15. Rezaei, H. Effects of operating parameters on fouling mechanism and membrane flux in cross-flow microfiltration of whey / H. Rezaei, F. Z. Ashtiani, A. Fouladitajar // Desalination. 2011. Vol. 274(1–3). P. 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.02.015>
16. Heidebrecht, H.-J. Data concerning the fractionation of individual whey proteins and casein micelles by microfiltration with ceramic gradient membranes / H.-J. Heidebrecht, U. Kulozik // Data in Brief. 2019. Vol. 25. 104102. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104102>