

УДК 637.344.8

Г.Б. Гаврилов, Б.Г. Гаврилов

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕМБРАННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

Изучены состав и свойства молочной сыворотки в процессе концентрирования обратным осмосом. Исследованы вязкостные характеристики сыворотки. Выбраны зависимости эффективной вязкости ультрафильтрационных концентратов с различной массовой долей сухих веществ. Изучен фракционный состав сывороточных белков ультрафильтратов.

Молочная сыворотка, обратный осмос, обработка, фракционный состав.

Известно, что молочная сыворотка содержит около двухсот компонентов молока и характеризуется высокой биологической ценностью благодаря содержанию полноценных сывороточных белков. Однако до настоящего времени рациональное использование молочной сыворотки является чрезвычайно актуальным. Решению этой проблемы может способствовать разработка и создание мембранной техники, которая открывает широкие возможности для переработки молочной сыворотки. Основным преимуществом мембранных процессов наряду с невысокой энергоемкостью является возможность разделения многокомпонентных систем, к которым относится сыворотка.

Проведенные исследования по оптимизации сочетаний мембранных технологических процессов с целью получения сывороточных концентратов с регулируемым белково-углеводным и минеральным составом выявили следующие возможные рациональные схемы технологических процессов:

- обратный осмос – ультрафильтрация;
- обратный осмос – электродиализ – ультрафильтрация;
- ультрафильтрация – электродиализ.

Концентрирование подсырной сыворотки обратным осмосом при температуре 28-30°C и давлении 2,6-3,2 МПа позволяет получить продукт следующего состава (табл. 1).

Дальнейшее проведение процесса приводит к высокой концентрационной поляризации на поверхности мембран вследствие вязкостных и гидродинамических условий истечения продукта.

Таблица 1

Состав сыворотки и ее фильтрата, полученные при концентрировании обратным осмосом

Показатели	Исходная	Концентраты		Фильтрат
		12,00	18,6	
Массовая доля, %: сухих веществ	6,10	12,00	18,6	0,10
небелковых азотистых веществ	0,20	0,36	0,54	0,06
белков	0,60	1,20	1,83	0,00
лактозы	4,50	8,94	13,80	0,03
молочного жира	0,06	0,12	0,18	0,00
молочной кислоты	0,14	0,28	0,45	0,00
зола	0,56	1,08	1,78	0,01

Решение задачи сочетания технологических схем определяется выявлением эффективного уровня концентрирования в процессе обратного осмоса и ультрафильтрации, а также оценкой параметров циркуляции растворов в электродиализной установке. Критерием оценки могут служить вязкостные характеристики концентрата (рис. 1) и скорость фильтрации.

Следует отметить, что увеличение вязкости происходит во всем исследуемом интервале, однако в концентратах с массовой долей сухих веществ 18,0-20,0% значения ее резко возрастают. При концентрировании обратным осмосом для аналогичных значений сухих веществ вязкость является сопоставимой. Таким образом, объяснимо резкое снижение скоростей фильтрации как при обратном осмосе, так и ультрафильтрации после обозначенного уровня.

Таблица 2

Вязкостные характеристики сыворотки
($\eta \cdot 10^{-3}$, Па·с), концентрированной
обратным осмосом

Градиент скорости, c^{-1}	Массовая доля сухих веществ, %					
	6,0		12,0		20,0	
	20°C	50°C	20°C	50°C	20°C	50°C
84	3,28	2,09	2,92	2,48	4,01	2,76
729	1,15	0,82	1,66	0,98	2,98	1,36
1312	1,04	0,62	1,60	0,80	2,82	1,24



Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости УФ-концентратов с различной массовой долей сухих веществ при скорости сдвига 1312 c^{-1} и температуре: 1 – 20°C; 2 – 50°C

Сравнение характеристических данных вязкости концентратов, полученных при обратном осмосе и ультрафильтрации с массовой долей сухих веществ 20,0% позволяет сделать вывод о критичности дальнейшего фракционирования их ультрафильтрацией с целью получения высокобелковых продуктов. Предложенная нами схема обратный осмос–ультрафильтрация использована при получении азотистых веществ до 35,0% в сухом продукте

В дальнейшем исследовали особенности мембранного фракционирования белков молочной сыворотки в процессе ультрафильтрации без предконцентрирования. В результате проведенных экспериментов выявлены зависимости изменения массовых долей сухих и азотистых веществ (рис. 2). Установлена эффективность концентрирования сывороточных белков методом ультрафильтрации до 55,0% в сухом веществе (18,0% сухих веществ).

По мере повышения фактора концентрирования происходит увеличение содержания всех основных компонентов молочной сыворотки, особенно в значительной степени азотистых веществ. Помимо этого установлено, что темп повышения массовой доли жира в концентрате превалирует над темпом концентрирования азотистых веществ, что обусловлено практически полной селективностью мембран по жиру. Данный факт обусловлен размерами молекул концентрируемых компонентов, в частности сывороточных белков и жировой фазы. Эквивалентные размеры последней превосходят на два-три порядка аналогичные характеристики сывороточных белков.

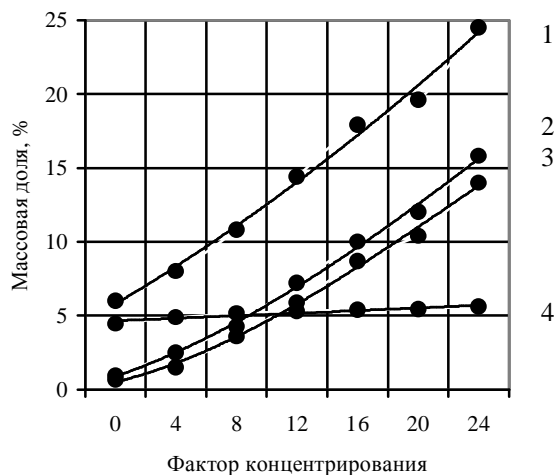


Рис. 2. Содержание сухих веществ (1), общего (2), белкового (3) азота и лактозы (4) в концентратах сывороточных белков

Увеличение абсолютного содержания лактозы в концентрате, по сравнению с исходной сывороткой, указывает на селективность мембран по отношению к этому компоненту. Несмотря на увеличение абсолютной массовой доли лактозы и золы в белковом концентрате, относительное содержание их (в пересчете на сухое вещество) уменьшается.

Так, при массовой доле сухих веществ 10 и 20% массовая доля лактозы снижается на 30 и 65%, а золы на 20 и 40% соответственно. Отметим, что такое со-

держание золы в сухом остатке белковых концентратов превышает в 2-3 раза аналогичный показатель, характерный для большинства пищевых продуктов.

Учитывая результаты, приведенные на рис. 2, можно отметить, что для получения концентрата сывороточных белков с массовой долей азотистых веществ 35 и 55% в сухом остатке необходимо, чтобы содержание сухих веществ в концентрате после ультрафильтрации находилось в пределах 9,7-10,3 и 17,8-18,2% соответственно.

Выявлено, что увеличение массовой доли сухих веществ с 18-20 до 24% ведет к снижению скорости ультрафильтрации, несмотря на относительно высокую скорость циркуляции раствора в аппарате, что является следствием высокой концентрационной поляризации на поверхности мембран. При известной селективности мембран количественный состав УФ-концентратов будет зависеть в основном от состава исходного сырья – белка, лактозы, жира и золы.

Нами показано, что при концентрировании сывороточных белков методом ультрафильтрации часть из них непременно переходит в фильтрат в зависимости от размеров молекул и селективности мембран. Поэтому представляет особый интерес определение компонентного состава сывороточных белков с целью выявления изменений в их соотношении в процессе концентрирования и оценки полученного продукта.

Таблица 3

Фракционный состав сывороточных белков ультрафильтратов

Массовая доля, %		Массовая доля азота (N×6,38), %					
сухих веществ	белковых азотистых веществ	иммунных глобулинов	а-лактальбумина	b-лактоглобулина		минорных белков	
				1	2	3	4
6,0	0,65	0,065	0,186	0,149	0,166	0,042	0,042
10,0	2,6	0,308	0,693	0,618	0,618	0,170	0,175
14,5	5,9	0,735	1,502	1,441	1,430	0,389	0,402
18,0	9,5	1,309	2,384	2,345	2,175	0,628	0,659
24,0	14,0	1,956	3,236	3,841	3,490	0,753	0,724

Компонентный состав сывороточных белков определен с применением диск-электрофореза. Идентификацию проводили, используя данные об их относительной электрофоретической подвижности в полиакриламидном геле. В таблице приведен компонентный состав сывороточных белков при различной концентрации сухих веществ ультрафильтратов. Компоненты, обозначенные индексами 3 и 4, являются минорными и располагались после b-лактоглобулина.

В результате проведенных исследований установлено, что по мере концентрирования сухих веществ происходит увеличение всех белковых фракций в концентрате. По мере концентрирования белковых азотистых веществ происходит изменение соотношения в компонентном составе сывороточных белков. Удаление части а-лактальбулина подтверждают электрофореграммы фильтрата молочной сыворотки.

Это можно объяснить меньшим молекулярным весом **a**-лактальбулина (в сравнении с **b**-глобулином (1) и, тем более, иммунными глобулинами) и вероятно более компактным его строением, что приведет к частичному переносу его в фильтрат. Параллельно с исследованиями по фракционному составу проводили определение аминокислотного состава сывороточных белковых концентратов с целью оценки их биологической ценности, а также изменений в содержании и соотношении аминокислот. Параметры аминокислотного состава сывороточных белковых концентратов представлены в табл. 4.

Анализ полученных результатов, приведенных в табл. 4, показал, что в процессе ультрафильтрации происходит увеличение всех представленных аминокислот и, что особенно ценно, таких незаменимых аминокислот, как лизин, изолейцин, треонин и других. При этом соотношение суммы заменимых аминокислот к сумме незаменимых остается практически постоянным. Из представленного общего количества аминокислот незаменимые аминокислоты (без учета триптофана) составляют до 42%.

Таким образом, сывороточные белковые концентраты являются богатым источником серосодержащих аминокислот, что особенно важно при использовании в детских, диетических и других продуктах питания.

Анализ химических показателей фильтрата выявил, что массовая доля его сухих веществ составляет $5,4 \pm 0,2\%$, при этом массовая доля лактозы колеблется от 4,0 до 4,4%, а азотистых веществ до 0,32%. Очевидно, что наиболее перспективным направлением использования фильтра является переработка его на углеродосодержащие концентраты.

До 90-х гг. XX в. направление создания концентратов из молочной сыворотки было связано с получением сгущенных концентратов и сухих препаратов молочного сахара. В дальнейшем фильтрат молочной

сыворотки нашел применение в технологии глюкозо-галактозных сиропов, а также препаратов лактулозы.

Обобщая результаты экспериментов по концентрированию белков из молочной сыворотки, следует заметить, что в процессе ультрафильтрации можно получить продукт с широким интервалом азотистых веществ (до экономически оправданных пределов) и с необходимым соотношением «сывороточные белки – лактоза».

Таблица 4

Аминокислотный состав сывороточных концентратов

Наименование аминокислот	Массовая доля аминокислоты (мг/100 г) в ультрафильтрате с массовой долей сухих веществ, %		
	6,0±0,2 (контроль)	10,2±0,2	20,1±0,4
Незаменимые аминокислоты			
1	2	3	4
Валин	41±3	179±15	602±60
Изолейцин	40±7	162±80	540±64
Лейцин	62±5	3200±200	6930±700
Лизин	46±3	2350±150	6090±600
Метионин	11±1	390±40	1840±200
Треонин	43±3	2050±150	5660±500
Фенилаланин	16±8	920±100	3620±400
Заменимые аминокислоты			
Аланин	34±3	1250±120	3050±30
Аргинин	23±5	750±40	2400±250
Аспарагиновая кислота	60±2	2690±250	7600±700
Гистидин	9±1	510 ± 50	1810±200
Глицин	14±1	470±50	1540±150
Глютаминовая кислота	102±10	4800±450	12280±1000
Пролин	45±4	256±20	8180±700
Серин	36±3	163±15	3900±40
Тирозин	14±1	82±8	362±35
Цистин	4±1	143±15	493±50

Список литературы

1. Брок Т. Мембранная фильтрация: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 464 с.
2. Брык М.Т. Мембранная технология в промышленности / М.Т. Брык, Е.А. Цапюк, А.А. Твердой. – Киев: Техника, 1990. – 289 с.
3. Горбатова К.К. Биохимия молока и молочных продуктов. – М.: ГИОРД, 2003. – 320 с.
4. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. – М.: Химия, 1975. – 252 с.

ГУ «Ярославский государственный институт качества сырья и пищевых продуктов»,
150030, г. Ярославль, Московский пр., 76а.
E-mail: Milkyar@mail.ru

SUMMARY

G.B.Gavrilov, B.G.Gavrilov

Laws membran concentration whey fibers

GU «The Yaroslavl state institute of quality of raw materials and foodstuff»
150030, Yaroslavl, the Moscow avenue, 76 A E-mail: Milkyar@mail.ru

Are studied structure and properties of dairy whey in process kontsentriruvaniya by the return osmosis. Are investigated viscosity characteristics syvorotki. Dependences of effective viscosity of ultrafiltrational concentrates with a various mass fraction of solids are chosen. Fraction the structure whey fibers of ultra filtrates is studied.

Dairy whey, return osmosis, processing, fractional structure.

