
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Е.Г. Спринчан

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ БЕЛКОВ ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

*Институт прикладной физики АН Молдовы,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, yrabie657@yahoo.com*

Одной из важнейших проблем, стоящих перед молочной промышленностью, которая особенно обострилась в последние 10–15 лет в связи с увеличением объемов производства молочных продуктов, является полная и безотходная переработка молока. В молочную сыворотку (МС), остающуюся после первичной переработки молока, переходят ценные его составляющие: углеводы, белки, витамины, минеральные вещества. Вес сухого вещества (СВ) МС – около 7–8%, что составляет до 50% от СВ молока. Лактоза, самый весомый в количественном отношении компонент сыворотки (70–80% СВ МС), встречающийся в природе только в молоке, после первичной обработки последнего почти полностью переходит в сыворотку и с вероятностью 50% попадает в сточные воды [1]. Преобразование лактозы в лактулозу, важнейший пребиотик, остаётся одной из актуальных проблем использования МС, характеризующейся высоким содержанием солей, состав которых не отличается от присутствующих в цельном молоке. Биологическая ценность МС обусловлена прежде всего практически полным переходом в нее сывороточных белков, содержащих все незаменимые аминокислоты, обладающие иммунными функциями и высокой перевариваемостью. Эти белки не выпадают в осадок при свертывании молока под действием сычужного фермента и/или кислоты и потому попадают в сыворотку.

Белковый состав молочной сыворотки представлен основными белковыми фракциями: β -лактоглобулины; α -лактальбумины; иммуноглобулины и бычий сывороточный альбумин (BSA) [2]. β -лактоглобулины – главная в количественном отношении белковая фракция молочной сыворотки (50–55%), встречается она только в молоке жвачных. Эти белки хороший источник незаменимых аминокислот с разветвленной цепью. β -лактоглобулины в гидролизованном состоянии не проявляют аллергенности и используются в разных формулах детского питания. α -лактальбумины составляют около 20–25% от белков МС и являются основным белком материнского молока. Благодаря сбалансированному аминокислотному составу они поставляют в организм ребёнка незаменимые аминокислоты, особенно триптофан и цистин, обладают способностью связывать кальций, а также цинк [3] и ускоряют их всасывание в процессе пищеварения. Известно, что α -лактальбумин входит в состав синтетазы лактозы. 5–10% белков МС представляет бычий сывороточный альбумин (BSA), который отличается довольно большим размером молекул (см.табл.), сбалансированным аминокислотным составом и может связываться с жирами. Опыты с радиоактивным углеродом показали, что BSA поступает в молоко из крови. Иммуноглобулины молочной сыворотки (10–15%) также попадают в молоко из крови. Они обладают активностью антител против соответствующих антигенов и, являясь главной белковой фракцией молозива, способствуют укреплению иммунитета новорожденных.

В состав сывороточных белков входит также лактоферрин, так называемый «минорным» белкам, содержащимся в незначительном количестве, которые не имеют особого питательного значения, но выполняют другие важнейшие функции. Лактоферрин, в частности, хороший антиоксидант, обладает бактерицидными свойствами, предполагается его участие в защите молочной железы от проникновения инфекций. Этот белок в большом количестве встречается в материнском молоке (17%), однако в любом молозиве его содержание значительно выше (в четыре раза). Благодаря ему повышаются иммунитет и сопротивляемость организма в первые дни жизни.

Лактоферрин, благодаря свойству связывать железо, подавляет рост патогенных бактерий и грибов, но способствует росту бифидобактерий, тем самым обеспечивая нормальное функционирование микрофлоры кишечника новорожденных. К «минорным» белкам сыворотки относится также ингибирующая рост железопотребляющих бактерий лактопероксидаза. Около 24% сывороточных белков составляют протеозо-пептоны. Эта фракция неоднородна по составу, состоит из четырех компонентов, один из которых представляет собой сывороточный белок с молекулярной массой около 41 000 и высоким (до 17%) содержанием углеводов (гликомакропротеид). Остальные компоненты являются фосфопептидами, образующимися (вместе с γ -казеинами) при гидролизе β -казеина под действием протеиназ молока.

Белки молочной сыворотки обладают наивысшей скоростью расщепления в процессе пищеварения среди цельных белков. Концентрация аминокислот и пептидов в крови резко возрастает уже в течение первого часа после приема продуктов питания на основе сывороточных белков. Аминокислотный состав белков МС наиболее близок к таковому мышечной ткани человека, а по содержанию незаменимых аминокислот (лизина, триптофана, метионина, треонина) и с разветвленной цепью (валина, лейцина и изолейцина) они превосходят многие белки животного и растительного происхождения. Усвояемость белков молочной сыворотки исключительно высока [4]. В настоящее время деминерализованная сыворотка достаточно широко применяются в пищевых и кормовых целях [5–7]. Известны различные способы переработки МС с целью получения белковых концентратов, применяемых в качестве различных добавок, в том числе и биологически активных [8–11].

Особое внимание уделяется выделению отдельных фракций сывороточных белков для приготовления разных формул детского питания [12, 13]. Анализ направлений переработки МС позволяет заключить, что наиболее эффективны технологии, основанные на комбинировании разных способов выделения её компонентов. Перспективной является разработка электрофизического метода, обеспечивающего получение белково-минерального концентрата и лактулозы, изомеризированной из лактозы [14, 15].

Цель данного исследования заключалась в оптимизации процесса выделения белка путём сочетания электрофизической обработки МС и использования химического реагента, допустимого в пищевой промышленности.

Обработка молочной сыворотки проводилась в двухкамерном электролизере. Разделительным элементом служили мембраны разного типа: брезентовая, ультрафильтрационная и ионоселективная МК-40. Белковый концентрат выделяется в виде пены в результате процессов, происходящих в катодной камере. При этом использовались анодные жидкости разных составов. Постоянными во время обработки МС поддерживались плотность тока и скорость поступления жидкостей в камеры, где регистрировались напряжение и температура растворов. В частично депротеинизированной и деминерализованной сыворотке (ОС), оставшейся после отделения в поле массовых сил белково-минерального концентрата (БМК), определяли активную кислотность, содержание белка и минеральных солей [16].

При выделении белка этим методом одним из движущих факторов является электрохимическая активация, в результате которой формируется смесь различных валентно-ненасыщенных частиц (радикалов). Согласно известной теории В.М. Бахира [17], электрохимическая активация (ЭХА) – это совокупность осуществляемых в условиях минимального выделения тепла электрохимического и электрофизического воздействий на воду, а также на содержащиеся в ней растворенные вещества. Процесс происходит в области пространственного заряда у поверхности электрода (анода или катода) электрохимической системы при неравновесном переносе электронами заряда через границу электрод-электролит. Образовавшиеся таким образом частицы (радикалы) обладают повышенной реакционной способностью. Кроме того, электрический ток ведет себя как сильнейший окислитель или восстановитель [18].

Содержащиеся в сыворотке белки в нативном состоянии имеют главным образом глобулярную структуру. Глобула белка формируется так, что большинство полярных гидрофильных аминокислотных остатков оказываются снаружи и контактируют с растворителем, а большинство неполярных (гидрофобных) находятся внутри и изолированы от взаимодействия с водой. Расположенные на поверхности ионогенные R-группы (радикалы) аминокислотных остатков проявляют кислотные-основные свойства, обуславливая амфотерность и заряд белковой молекулы. В зависимости от реакции среды и соотношения кислых и основных аминокислот белки в растворе несут отрицательный или положительный заряд. В растворе молекула белка окружена гидратной (сольватной) оболочкой – ориентированными вокруг полярных групп диполями воды. Белки в растворе сохраняются в нативном состоянии за счет факторов устойчивости, к которым относятся заряд

молекулы и гидратная оболочка вокруг нее, предохраняющая белковые молекулы от склеивания. Удаление этих факторов приводит к коагуляции белков и выпадению их в осадок.

Разрушение гидратной оболочки белков МС в результате ЭХА разложения молекул воды в прикатодной зоне приводит к их коагуляции и обеспечивает выделение белков в концентрат с первых минут обработки. Помимо того, разрыв под действием электрического тока нековалентных связей, поддерживающих глобулярную структуру белка, и активизация ионогенных R-групп остатков аминокислот могут приводить к формированию новых связей и, следовательно, агрегированию белковых молекул.

Существенную роль в выделении сывороточных белков, очевидно, играют R-группы остатков цистеина, представляющие собой реакционно-способные сульфгидрильные (тиоловые) группы. В белках в результате окисления сульфгидрильных групп двух остатков цистеина и образования (ковалентной) дисульфидной связи (-S-S-) появляется цистин – димер цистеина, поддерживающий, наряду с водородными, ионными и гидрофильными связями, пространственную структуру белковой молекулы. Аналогично образуются межмолекулярные мостики между радикалами цистеина, диссоциированными либо вследствие ЭХА, либо при увеличении pH до 8,3. Участие остатков цистеина в комплексообразовании сывороточных белков при данном процессе обработки подтверждают результаты блокирования сульфгидрильных групп йодацетатом натрия. Введение последнего в исходную сыворотку снижает выход белка в связи с исключением агрегирования белков по этому механизму [18].

Степень ионизации R-групп аминокислотных остатков зависит от pH среды. В кислой среде увеличение концентрации протонов приводит к подавлению диссоциации карбоксильных радикалов и уменьшению отрицательного заряда белков, в щелочной – к связыванию избытка гидроксидов с протонами, образующимися при диссоциации NH_3^+ -групп, с образованием воды, приводит к уменьшению положительного заряда белков. Значение pH, при котором количество положительно и отрицательно заряженных групп одинаково, то есть белок приобретает суммарный нулевой заряд, называют "изоэлектрическая точка" pI. При наличии нулевого заряда белка гидратная оболочка разрушается, так как взаимодействия диполей воды с электронейтральной белковой молекулой, естественно, быть не может. Отдельные молекулы соединяются, образуя крупные агрегаты, которые не способны удерживаться в растворе и выпадают в осадок.

Активная кислотность ОС возрастает за время проведения процесса от pH 4,55 до 11,60. pI белков МС находятся в этом диапазоне pH (см. таблицу) [19, 20]. Однако проследить зависимость степени их изоэлектрического осаждения от pH ОС весьма сложно (рис. 1, 2). ОС собирается за определенный промежуток времени, что уже усредняет её показатели. Изменение активной кислотности в объеме камеры электролизера происходит не одинаково и обусловлено её шириной, а также поступлением исходных растворов при проточных режимах обработки, что растягивает во времени процесс достижения pI белками одной фракции. Кроме того, выделение белков данным методом обработки обусловлено одновременным действием нескольких механизмов их комплексообразования и коагуляции.

Содержание основных белковых фракций молочной сыворотки

Белок	Содержание в МС, г/л	Молекулярная масса, кДа	Изоэлектрическая точка
α -Лактальбумин	0,7	14,1	4,8
β -Лактоглобулин	3,0	18,2	4,9–5,4
Бычий сывороточный альбумин	0,3	66	4,8
Лактоферрин	0,1	78–80	8,0–8,8
Лактопероксидаза	0,04	78–80	8,6–9,6
Иммуноглобулины	0,5	150–900	5,8–7,3

О преимущественной значимости кальция для выделения белков предлагаемым методом свидетельствуют, с одной стороны, снижение его количества в ОС за время процесса (рис. 3), с другой – преобладание в минеральном составе БМК. Фосфор является вторым по содержанию в концентрате зольным элементом, поскольку практически полное истощение ОС по фосфат-ионам (рис. 3) обусловлено лишь их частичным переходом в концентрат. Значительная часть этих ионов мигрирует в анодную камеру. По данным рентгеноспектрального анализа, отношение Ca:P в БМК равно 2,23 (рис. 4), в то время как их соотношение в МС, согласно литературным источникам [1], составляет около 1,09.

Для осаждения белков широко применяется реакция высаливания, основанная на явлении понижения растворимости белков с увеличением концентрации нейтральных солей. Физико-химические основы высаливания до конца не выяснены, известно, что основным в этом механизме является нарушение связи между полимером и растворителем. При введении соли часть молекул растворителя, которые были в сольватной связи с полимером, сольватируют молекулы введенной соли. При высаливании белка происходят дегидратация молекул и устранение заряда. На процесс влияют его относительная молекулярная масса, заряд и гидрофильность белка. Между величиной водной оболочки белковых молекул и концентрацией солей существует прямая зависимость: чем меньше гидратная оболочка, тем меньше требуется солей. Так, крупные и тяжелые молекулы, имеющие небольшую водную оболочку, выпадают в осадок при неполном насыщении раствора солями, а более мелкие, окруженные большой водной оболочкой, – при полном насыщении. Для высаливания белков используют нейтральные соли щелочных и щелочно-земельных металлов. При обработке сыворотки в результате электролиза содержащихся в ней солей и электродиализа концентрация ионов в приэлектродных зонах может многократно (на порядки) превышать последнюю в исходном растворе, создавая условия, обеспечивающие эффект высаливания белков.

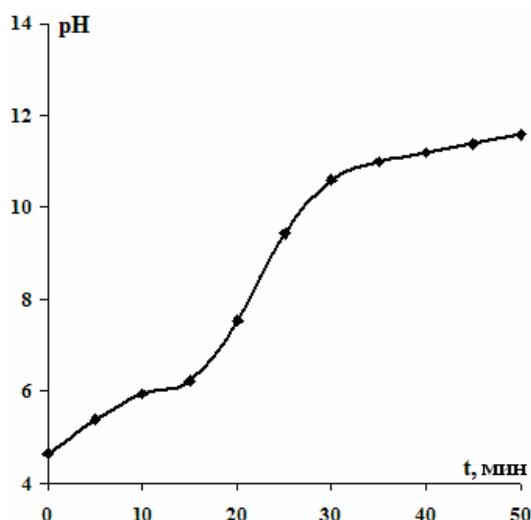


Рис. 1. Изменение pH ОС (брезентовая мембрана)

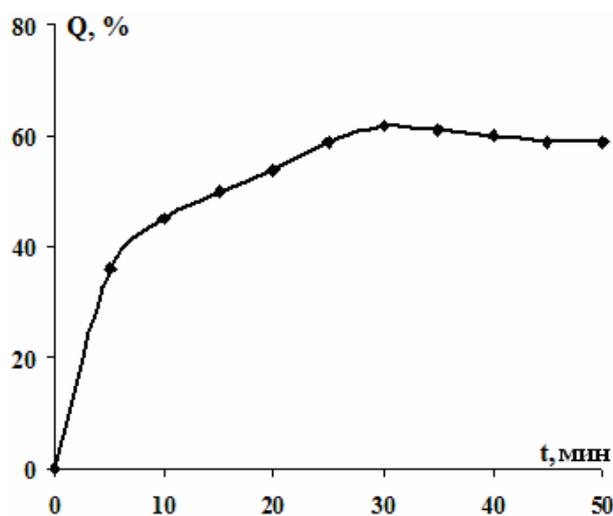


Рис. 2. Степень выделения белка в БМК (брезентовая мембрана), Q – переход белка в БМК (в % от его содержания в исходной МС)

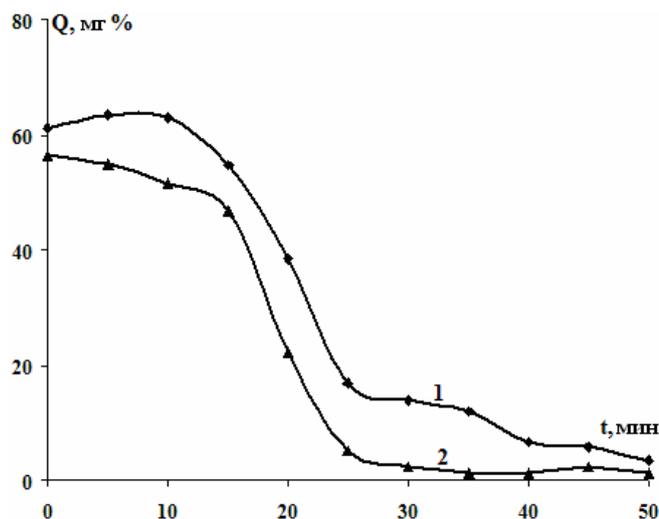


Рис. 3. Изменение содержания кальция (1) и фосфора (2) в ОС (колориметрическое определение на анализаторе Векстоп)

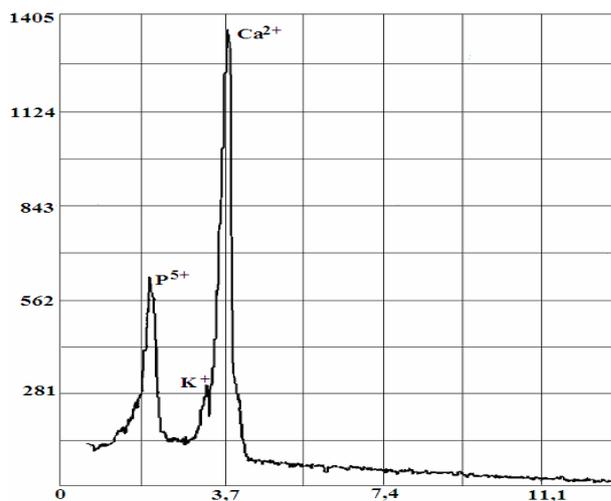


Рис. 4. Спектрограмма суммарного БМК, полученная электронно-зондовым рентгеноспектральным анализом

В молоке (рН 6,47–6,67) соли кальция представлены в основном фосфатами, обладающими малой растворимостью и незначительной степенью диссоциации. Лишь небольшая их часть

содержится в виде истинного, а большая – в виде коллоидного раствора. Коллоидный фосфат кальция, соединенный с казеинатом кальция, содержится в молоке в виде так называемого казеинаткальций-фосфатного комплекса (ККФК). Состав коллоидного фосфата кальция, присутствующего в ККФК, и характер его связи с казеином до сих пор неизвестны. Казеинат кальция образуется при взаимодействии ионов кальция с карбоксильными и серинфосфатными группами казеина. При этом кальций может реагировать с двумя близко расположенными -COOH и -ОН-группами, образуя межмолекулярные кальциевые мостики: -R-Ca-R-. Полагают, что в формировании структурообразующих мостиков (между двумя фосфосериновыми радикалами) могут участвовать также ионы гидрофосфата: -R-Ca-НРО₄-Ca-R- или -R-Ca-НРО₄-Ca-НРО₄-Ca-R- [20,21].

Образующаяся в результате деятельности молочнокислой микрофлоры молочная кислота переводит кальциевые соли молока из коллоидного состояния в ионно-молекулярное. Под действием кислоты нарушается структура ККФК – от него отщепляются как неорганический, так и органический фосфат кальция (фосфосерина). Молочная кислота подавляет диссоциацию свободных карбоксильных групп и кислотных групп фосфорной кислоты казеина: группы COO переходят в COOH, а PO₃⁻² - в PO₃H₂. В сыворотке (при pH 4,6–4,7) гидрофосфаты кальция (моно- и преимущественно дигидрофосфаты) растворимы, то есть электролитически диссоциированы. Между ними устанавливается равновесие, сдвиг которого зависит от pH (сыворотки) среды: с возрастанием pH дигидрофосфаты, реагируя с гидроксидом, переходят в моногидрофосфаты.

В условиях электрофизической обработки МС при pH среды более 6 между ионизированными ацетатными группами и остатками фосфосерина как фосфопептидов (протеозопептонов), так и сывороточных белков, особенно конформационно изменённых, предполагается образование связей, аналогичных мостикам между молекулами казеина, входящего в состав ККФК [18]. Слабо диссоциированные в исходной сыворотке ортофосфаты кальция с увеличением активной кислотности полностью переходят в молекулярно-дисперсное состояние и могут вместе с белком попадать в БМК.

Для интенсификации процесса выделения белков по этим механизмам были проведены опыты, отличающиеся прежде всего повышенной концентрацией ионов кальция в обрабатываемой сыворотке. В качестве дополнительно вносимого электролита использовали хорошо растворимую соль – хлорид кальция. Во избежание образования в КК хлорсодержащих органических соединений, а также увеличения электропроводимости системы хлористый кальций вводили в анодную жидкость (АЖ). Соль (электролит) растворяли либо в МС, либо в (дистиллированной) воде. Использовались три вида мембран: брезентовая, ионоселективная МК-40 и ультрафильтрационная. Плотность тока (20 мА/см²) и скорость поступления жидкостей в камеры электролизёра (5 мл/мин) в представленных вариантах опытов одинаковы.

Использование 5% хлористого кальция МС в качестве АЖ и брезента как разделительного элемента увеличивает выделение белков в БМК почти на 10% по сравнению с использованием только МС (рис. 5, варианты 1, 2). Заниженный по сравнению с вариантом 1 выход белка в варианте 2 на первом этапе обработки объясняется более низкой начальной кислотностью обрабатываемой сыворотки. При этом снижаются напряжение (рис. 6, варианты 1, 2), затраты энергии (рис. 7, кривые 1, 2) и соответственно возрастает рентабельность процесса. Однако после 25 циклов работы наблюдается постепенное засорение брезентовой диафрагмы [22]. Производительность установки по выходу белка в БМК уменьшается в два раза, что сопровождается резким увеличением напряжения и приводит к повышению температуры обрабатываемой сыворотки. Очевидно, в области разделительного элемента происходят некоторые из предполагаемых процессов осаждения белков, мигрирующих, благодаря разности зарядности молекул, через брезентовую диафрагму в обоих направлениях. Образующийся в примембранной области концентрат задерживается на её поверхности как со стороны катодной, так и анодной камеры.

При использовании ультрафильтрационной мембраны, обладающей свойствами, обусловленными её предназначением, наблюдается низкий выход белка. Возросшие по сравнению с предыдущими вариантами опыта потребляемое напряжение (рис. 6, вариант 3) и соответственно затраты энергии (рис. 7, вариант 3) свидетельствуют об увеличении сопротивления вследствие закупорки пор мембраны белковыми веществами, стремящимися к миграции. Это препятствует перемещению ионов и молекул, обладающих зарядом, из одной камеры в другую, в том числе катионов кальция, важных для агрегирования сывороточных белков.

Выбор в качестве разделительного элемента ионоселективной мембраны (МК-40) соответствует всем требованиям представленного способа. Мембрана не засоряется, что способствует снижению напряжения и затрат энергии (рис. 6, 7, кривая 4). Наблюдается интенсивное вспенивание почти во всём объеме рабочей камеры. Использование в качестве АЖ 2% хлористого кальция в дистилли-

рованной воде почти на 13% увеличивает выход белка по сравнению с вариантом 3 (рис. 5, варианты 3, 4), что позволило достичь 70% выделения сывороточных белков. Хотя содержание хлорида кальция гораздо ниже (почти в 3 раза), чем в АЖ, представляющей собой 5% раствор этой соли в МС, наблюдается почти одинаковое выделение белка в концентрат (рис. 5, варианты 2, 4).

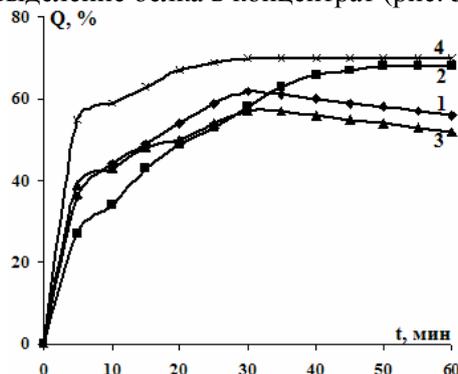


Рис. 5. Зависимость степени выделения белка в БМК от состава АЖ и типа мембраны. Варианты состава АЖ: 1 – МС (брезентовая мембрана); 2 – 5% р-р CaCl_2 в МС (брезентовая мембрана); 3 – МС (ультрафильтрационная мембрана); 4 – 2% р-р CaCl_2 в воде (ионоселективная мембрана МК-40), Q – переход белка в БМК (в % от его содержания в исходной МС)

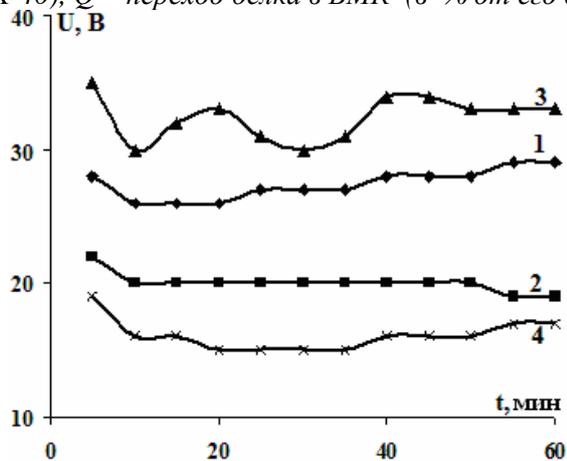


Рис. 6. Изменение напряжения в зависимости от состава АЖ и типа мембраны. Варианты состава АЖ: 1 – МС (брезентовая мембрана); 2 – 5% р-р CaCl_2 в МС (брезентовая мембрана); 3 – МС (ультрафильтрационная мембрана); 4 – 2% р-р CaCl_2 в воде (ионоселективная мембрана МК-40)

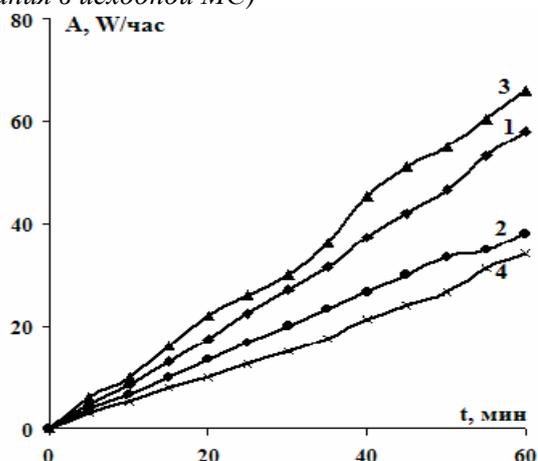


Рис. 7. Изменение потребляемой мощности в зависимости от состава АЖ и типа мембраны. Варианты состава АЖ: 1 – МС (брезентовая мембрана); 2 – 5% р-р CaCl_2 в МС (брезентовая мембрана); 3 – МС (ультрафильтрационная мембрана); 4 – 2% р-р CaCl_2 в воде (ионоселективная мембрана МК-40)

Таким образом, использование ионоселективной мембраны позволяет увеличить степень перехода белка в БМК, снизив при этом энергозатраты, и регулировать его засоление, а также сберечь (сэкономить) сыворотку только для обработки в катодной камере.

Проведенные исследования являются очередным этапом в цепочке оптимизации предлагаемого метода, благодаря которым путем комбинирования разных параметров и условий обработки молочной сыворотки удастся достичь максимального выделения белка при снижении энергозатрат, получать концентраты с заданным составом и свойствами. Электрофизические методы – это перспективное направление безотходной переработки вторичного молочного сырья, они позволяют выделить ценные фракции без прямого применения химических реагентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храмов А. Г. Молочная сыворотка. М.: Агропромиздат, 1990. 240 с.
2. Храмов А. Г., Евдокимов И. А., Рябцева С. А., Виноградская С. Е., Дунченко Н. И., Мячин А. Ф., Полищук Д. О. Научно-технические основы экспертизы вторичного молочного сырья и получаемых из него продуктов // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Продовольствие». 2003. № 6. С. 36–39.

3. *Permyakov S. E., Uversky V. N., Vepintsev D. B., Cherskaya A. M., Brooks C. L., Permyakov E. A., Berliner L. J.* Mutating aspartate in the calcium-binding site of α -lactalbumin: effects on the protein stability and cation binding // *Protein Engineering*. 2001. V. 14. № 10. P. 785–789.
4. *Лодыгин А. Н., Киселев С. А.* Актуальность использования белков молочной сыворотки при производстве концентратов с промежуточной влажностью // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Продовольствие». 2005. № 1. www.ncstu.ru
5. *Автян К. В., Лодыгин А. Н., Лодыгина С. В.* Перспективы использования деминерализованной молочной сыворотки в кондитерских изделиях // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Продовольствие». 2010. № 6. www.ncstu.ru
6. *Молочников В. В., Нестеренко П. Г., Богданова Н. А., Ковалева О. Г., Водолазов Л. И., Астахов Е. С.* Влияние массы ионита и продолжительности процесса на степень деминерализации молочной сыворотки // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии переработки сельскохозяйственного сырья». Минск, 1996 г.
7. *Чеботарев Е. А.* Совершенствование технологических схем сепарирования молочной сыворотки и её концентратов. Вестник СКО АТН РФ "Технология живых систем". 2001. № 1. С. 84–88.
8. *Евдокимов И. А., Володин Д. Н., Дыкало Н. Я.* Электродиализ – перспективный метод переработки молочной сыворотки // Переработка молока. 2001. № 2. С. 5–7.
9. АС РФ №5061562/13 от 1995.03.27. *Храмцов А. Г., Василисин С. В., Евдокимов И. А., Виноградов Б. Д., Рослякова И. В.* Способ выделения белковых веществ из молочной сыворотки.
10. *Шуваев В. А.* Новые физико-химические процессы получения молочно-белковых концентратов // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Продовольствие». 1999. № 2. С. 55–58.
11. *Чеботарев Е. А., Василисин С. В., Санжаровский С. А.* Экспертная оценка методов коагуляции белков молочной сыворотки // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Продовольствие». 2001. № 4. С. 69–70.
12. *Makinen-Kiljunen S., Sorva R.* Bovine b-lactoglobulin levels in hydrolysed protein formulas for infant feeding // *Clin. Exp. Allergy*. 1993. V. 23. P. 287–291.
13. *Храмцов А. Г., Евдокимов И. А., Рябцева С. А., Половянова А. В., Козлова Е. А., Эрешова В. Д.* Новые направления в разработке продуктов функционального питания // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Продовольствие». 2005. № 8. С. 14–20.
14. а. nr. 3793 от 2008.03.02. *Bologa M., Sprincean E., Maximuc E.* Procedeu de prelucrare a produselor lactate secundare.
15. а. nr. 3924 от 01.03.2010. *Bologa M., Sprincean E., Bologa A., Stepurina T., Policarpov A.* Procedeu de procesare a zerului.
16. *Спринчан Е.Г.* Оптимизация технологических режимов получения белково-минерального концентрата из вторичного молочного сырья // Электронная обработка материалов. 2009. № 1. С. 73–80.
17. *Бахир В.М.* Электрохимическая активация. М.: ВНИИИ мед. техники, 1992. 2 ч. 657 с.
18. *Болога М. К., Пыргару Ю. М.* Процессы электроконтактной коагуляции сывороточных белков // Электронная обработка материалов. 1993. № 6. С. 46–50.
19. *Рытченкова О. В., Красноштанова А. А.* Разработка приемов выделения белков из молочной сыворотки. 6-я Международная конференция "Сотрудничество для решения проблемы отходов". 8-9 апреля 2009 г., Москва, Россия.
20. *Богатова О. В., Догарева Р. Г.* Химия и физика молока. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004, 137с.
21. *Горбатова К. К.* Химия и физика белков молока. М.: Колос, 1993, 192 с.
22. *Спринчан Е. Г., Болога М. К.* Солевой состав белково-сывороточного концентрата, полученного электроконтактным способом // Электронная обработка материалов. 2006. № 6. С. 50–55.

Поступила 26.03.10

Summary

Analysis of the properties of protein fractions of milk whey is presented. The necessity of their receiving is outlined, possible mechanisms of complexing and coagulation at electrophysical processing of secondary raw milk products are explained. Possible ways of optimization of protein fractions conversion into protein-mineral concentrate as well as fractional analysis of mineral receiving are described and their role in concentrate complexing is estimated. Electrophysical parameters at conditions of optimization, different compositions of anode liquid and types of separating elements are analyzed. Directions for future investigations aiming at the obtaining of high quality products at development of non-waste electrotechnologies of milk whey processing are identified.