
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

М.К. Болога, Е.Г. Спринчан, Ал.М. Болога

ВЫДЕЛЕНИЕ ЛАКТУЛОЗНОГО ПРОДУКТА И БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНОГО КОНЦЕНТРАТА

*Институт прикладной физики АН Молдовы,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, mbologa@phys.asm.md*

Проблемы обеспечения здорового и сбалансированного питания, а также путей их реализации приобретают все большее повсеместное значение. Повышение качества пищевых продуктов и создание новых технологий, в том числе рационального и безотходного потребления вторичных ресурсов, привлекают внимание все более широкие круги исследователей. При этом целенаправленное изменение характеристик, качества и продуктивности становится общим правилом.

В частности, попадая вместе с пищей в организм человека, пробиотики (живые культуры бифидобактерий и лактобацилл) и пребиотики (биоактивные пищевые волокна, которые стимулируют рост и активность бифидобактерий) восполняют дефицит полезных бактерий и помогают поддерживать бактериальный баланс [1]. Один из самых распространенных и признанных по эффективности пребиотиков – лактулоза – продукт глубокой молочной переработки. В натуральном виде она содержится только в материнском молоке, в то время как во всех остальных случаях основным углеводом является лактоза, которая в свою очередь при переработке почти полностью переходит в молочную сыворотку. Наиболее эффективны традиционные способы получения лактулозы из молочного сахара – лактозы, самого близкого ее изомера. Биохимические свойства лактулозы достаточно хорошо изучены. Конечные продукты метаболизма лактулозы – в основном молочная, в меньшей мере уксусная и муравьиная кислоты, а также этанол [2].

Известны два направления изомеризации лактозы в лактулозу: первое связано с реакцией трансформации альдоз в кетозы - реакция Лобри де Брюина - Альберда ван Экенштейна (L-A-трансформация) с образованием в щелочных растворах промежуточной енольной формы лактозы и эпилактозы. В качестве катализаторов при проведении этой реакции используют, как правило, щелочные реагенты. Второе направление изомеризации – перегруппировка Амадори, которая протекает через образование и гидролиз лактулозиламина. Под действием катализаторов (кислот или оснований) лактоза взаимодействует с аммиаком, ароматическими или алифатическими аминами с образованием лактозамина, который затем и подвергается перегруппировке. В промышленном производстве сиропов лакто-лактюлозы в основном используют метод, основанный на внутримолекулярной перегруппировке лактозы в щелочной среде по L-A-трансформации [3].

Два свойства лактулозы делают ее уникальным средством в части устранения дисбактериоза: является сильным специфическим стимулятором жизнедеятельности бифидобактерий, способствуя их быстрому размножению, и из-за отсутствия в организме ферментов для ее разложения она достигает мест нахождения бифидобактерий [4].

Известно более 60 медицинских препаратов, созданных на базе лактулозы и основанных на свойствах лактулозы быть мощным бифидус-фактором, то есть эффективным средством для восстановления нормальной микрофлоры кишечника и выведения токсичного аммиака. Перспективным способом считают изомеризацию лактозы в лактулозу методом электроактивирования ее растворов [5].

При исследовании электролиза различных водных систем в диафрагменном электролизере обнаружено явление сохранения энергии поляризации электрода, значительно изменяющее реакционную способность среды. Это явление названо электрохимической активацией жидких сред [6]. Его сущность заключается в возможности существенного изменения скорости и селективности

химических реакций с участием преимущественно жидкостей и газов, подвергнутых предварительно электрохимическому воздействию в зоне одного из поляризованных инертных электродов.

Экспериментально выявлено, что после прекращения активирующего воздействия вещество определенное время обычно пребывает в метастабильном состоянии, которое может сохраняться долгое время при отсутствии энергообмена с окружающей средой; электроактивированная жидкая среда в отдельных случаях изменяет не только скорость химических реакций, но и их направление; находящаяся в метастабильном состоянии электроактивированная среда является неравновесной системой и сохраняет аномальные свойства в течение медленной релаксации к достижению состояния устойчивого термодинамического равновесия.

Электрохимическая активация технически реализуется воздействием на водный раствор в зоне поляризованного электрода, например диафрагменного электролизера. Однако, в отличие от электролиза и электродиализа, электрохимическая активация не является законченным химическим процессом и предназначена для регулирования реакционной способности физико-химических свойств жидкостей в технологических процессах с целью их оптимизации и повышения эффективности.

При электроактивации обработку жидкости ведут, как правило, в зоне основного электрода, в то время как в зоне электрода противоположной полярности (вспомогательного) поддерживают минимально возможный расход (0,1–1% от расхода в зоне основного электрода) активируемой жидкости, либо заполняют ее специальной буферной жидкостью, нейтрализующей продукты реакций у вспомогательного электрода [7].

Под воздействием электрохимических процессов на электродах изменяются состав и свойства растворов, в результате чего около катода образуется щелочная среда (католит), а у анода – кислая (анолит). Основой электрохимических реакций является разложение воды и диссоциирующих веществ (солей). Образующиеся в католите гидроксид-ионы играют роль акцепторов протонов в реакции изомеризации лактозы. А избыточная внутренняя потенциальная энергия активированного раствора интенсифицирует реакцию превращения лактозы в лактулозу. Лактоза – лучшее, но дорогостоящее сырье для получения лактулозы. Намного дешевле использование молочной сыворотки, содержащей 4,0 – 4,7 % молочного сахара. Особый интерес она представляет как раствор для электроактивирования; имея относительно высокое содержание минеральных веществ, обладает необходимыми свойствами для быстрого и эффективного накопления активных заряженных частиц при пропускании через нее электрического тока. Есть данные по проведению безреагентной изомеризации методом электроактивации в творожной сыворотке. При этом в катодную камеру помещалась сыворотка, а в анодную – водопроводная вода. Промышленные способы ее получения основаны на щелочной изомеризации лактозы [8].

Кроме того, известно, что в молочной сыворотке белковые фракции не представлены в виде истинных белковых растворов, поскольку из-за первичных технологических процессов (получение творога и сыра) происходит частичный гидролиз белковых молекул на аминокислоты. Для получения первичных продуктов используются различные штаммы микроорганизмов, которые по своей природе также являются белковыми веществами. Но молочная сыворотка повсеместно такова, какая она есть, и требует соответствующей переработки. Важно отметить, что биологическое и химическое потребление кислорода (БПК и ХПК) у молочной сыворотки велико, что непосредственно приводит к гибели флоры и фауны окружающей среды [9].

Молочная сыворотка относится к группе сравнительно дешевого лактозосодержащего сырья, отвечающего требованиям получения как лактулозы, так и ценных бифидогенных добавок. Авторы предлагают метод выделения лактулозного продукта с одновременным получением белково-минерального концентрата. С этой целью использовалась электроактивация молочной сыворотки в проточном диафрагменном электролизере с последующим отделением концентрата в поле массовых сил [10].

Основными параметрами, регулирующими процесс, являются: плотность электрического тока, состав анодного раствора, скорость поступления жидкости в камеры, тип мембраны. Сочетание этих факторов, определяющее степень возрастания температуры и активной кислотности в катодной камере, а также состояние мембраны и электрическое напряжение, влияют на количество и состав выделяемого концентрата. Установленные режимы позволяют снизить содержание в сыворотке белка на 60–65%, а ионов кальция и фосфорсодержащих ионов на 94–96%. В полученном сырье остается не менее 90% углеводов и почти все ионы калия и натрия [11].

Кальций-фосфатные соли, входящие наряду с белком в состав концентрата, определяют его биологическую ценность. Результаты электрофореза в полиакриламидном геле подтверждают

присутствие всех фракций, имеющих в исходной молочной сыворотке. Аминокислотный анализ белков подтверждает наличие основных незаменимых аминокислот (табл. 1).

Таблица 1. Аминокислотный состав (в процентах от суммы аминокислот) исходной молочной сыворотки (ИМС) и белково-минерального концентрата (БМК)

№	Аминокислоты	ИМС рН 4,65	БМК рН 7,3	БМК рН 8,8	БМК рН 9,05	БМК суммарный
1	Аспарагин	12,70	11,10	10,60	10,27	4,14
2	Серин	5,99	8,10	7,80	8,13	2,98
3	Глутамин	19,14	22,58	21,98	23,38	76,29
4	Пролин	5,21	4,86	4,68	4,52	2,15
5	Глицин	1,85	1,95	1,89	1,65	0,65
6	Аланин	3,04	5,19	5,19	4,94	1,65
7	Гистидин	3,41	2,05	1,99	2,01	0,49
8	Аргинин	2,75	3,16	3,50	3,20	0,55
9	Треонин	4,97	5,03	4,88	4,77	2,15
10	Валин	2,75	3,52	3,41	3,19	0,94
11	Изолейцин	3,13	3,09	2,98	3,01	0,75
12	Лейцин	11,96	10,69	10,86	11,33	3,01
13	Тирозин	2,82	2,95	3,14	2,64	0,64
14	Фенилаланин	3,98	4,71	4,42	4,36	0,73
15	Лизин	8,94	7,36	8,21	8,35	1,84

Таблица 2. Сравнительная характеристика пепсин-панкреатического индекса

Белки пищевых продуктов	Пепсин-панкреатический индекс (ППИ)
БМК	58
ИМС	79
Казеин	73*, 68*, 78*
Молоко	90*, 84*
Клейковина	40*, 84*
Желатин	25*

* Данные [12, 13].

Получаемый концентрат не содержит продуктов перекисного окисления липидов (прежде всего, малонового диальдегида), которые акцентируют канцерогенные свойства продукта (табл. 3).

Наличие в обработанной сыворотке таких азотистых соединений, как креатин, креатинин, мочевина и другие, может послужить наряду с остаточным белком предпосылкой для увеличения внешней бифтдогенности изомеризованного в дальнейшем конечного лактулозного продукта (табл.4).

Таблица 3. Характеристика перекисного окисления липидов

Характеристика образца	Липиды (%)	Диеновые и триеновые конъюгаты (ед. опт. плот.)	Малоновый диальдегид (нмоль/100 мг)
Исходная молочная сыворотка	20,96	0,754 – 0,129	15,67 +/- 0,81
Белково-минеральный концентрат	3,11	0,588 – 0,011	15,44 +/- 0,929

Результаты электрофореза в полиакриламидном геле подтверждают присутствие в концентрате всех белковых фракций, имеющих в исходной молочной сыворотке, состав которых

превосходит многие белки животного и растительного происхождения по наличию незаменимых аминокислот.

Белки молочной сыворотки имеют наивысшую скорость расщепления среди цельных белков. О высокой питательной ценности белковой составляющей концентрата свидетельствует пепсин-панкреатический индекс (58), полученный *in vitro* под действием протеолитических ферментов (пепсина, трипсина и химотрипсина) (табл.2).

Таблица 4. Азотсодержащие соединения

№	pH	Азот мочевины (ммол/л)	Креатенин (мол/л)	Мочевинная кислота (мг/дл)
ИМС	4,65	1,733	423,1	1.049
1	5,65	3,096	493,5	1,514
2	6,50	2,105	473,1	1,497
3	7,05	1,141	242,6	0,214
4	8,05	0,960	227,5	0,074
5	10,00	1,021	359,3	1,025
6	11,00	0,556	397,3	0,343
7	11,30	0,260	213,2	0,008
8	11,45	0,370	376,1	0,090
9	11,50	0,150	356,4	0,081
10	11,60	0,130	460,7	0,076
АК	2,90	0,650	346,2	0,136
КК	10,65	0,112	281,5	0,432

АК, КК – суммарное содержание анодной и катодной камер.

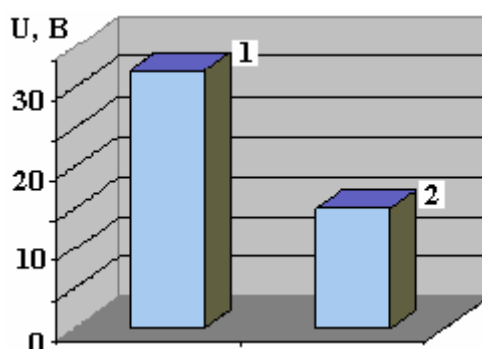


Рис.1. Изменение напряжения в зависимости от типа диафрагмы. 1 – брезентовая диафрагма; 2 – ионообменная мембрана МК-40

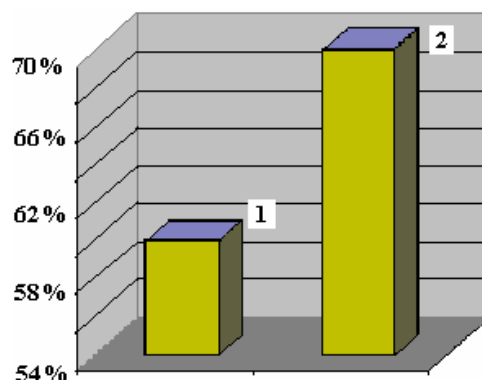


Рис. 2. Содержание белка в белково-минеральном концентрате: 1 – предложенная технология; 2 – технология с селективной подачей ионов кальция

Изомеризация лактозы в лактулозу в этом случае составляет 30–35%.

Оптимизация метода проводилась по нескольким направлениям. Во-первых, изменение типа мембраны (обычную брезентовую на ионообменную МК-40). Во-вторых, одновременное обновление анодной жидкости. В этом случае напряжение снижается почти вдвое (рис. 1), а количество выделяемого белка в БМК повышается до 70% (рис. 2).

Кроме того, использовалась комплексная технология обработки лактозосодержащего сырья, обеспечивающая повышение процентного содержания лактулозы в конечном продукте до 45-50% (рис.3) и снижение энергозатрат.

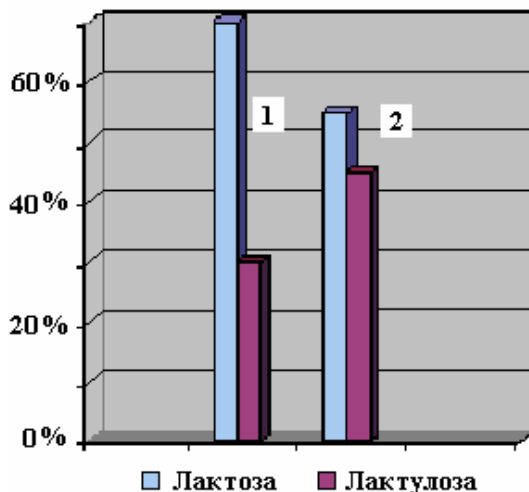


Рис.3. Изменение содержания лактозы и лактулозы в зависимости от технологии:

1 – электроактивация; 2 – комплексная технология

Таким образом, предлагаемый метод электрофизического извлечения белково-минерального концентрата, являясь безреагентным и низкотемпературным, может быть включен в безотходный цикл утилизации молочной сыворотки, направленный на производство белково-минерального концентрата и лактулозосодержащего продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храмов А.Г., Рябцева С.А., Полищук Д.О. Разработка технологии цельномолочных продуктов с внесением концентрата лактулозы. Вестник СевКавГТУ, сер. «Продовольствие». 2003. № 1 (6), ISBN 5-9296-0148-8. © Северо-Кавказский государственный технический университет. <http://www.ncstu.ru>
2. Храмов А. Г., Евдокимов И. А., Рябцева С. А., Половянова А. В., Козлова Е. А., Эрешова В. Д. Применение лактулозы в молочной промышленности // Сборник научных трудов СевКавГТУ, сер. «Продовольствие». 2005. №1 © Северо-Кавказский государственный технический университет. <http://www.ncstu.ru>
3. Храмов А.Г., Синельников Б.М., Евдокимов И.А., Рябцева С.А., Серов А.В. Физико-химические свойства, биологическая ценность и медицинское применение лактулозы // Вестник СевКавГТУ, серия «Продовольствие». 2003. № 1 (6), ISBN 5-9296-0148-8. © Северо-Кавказский государственный технический университет. <http://www.ncstu.ru>
4. Храмов А.Г., Рябцева С.А., Журба Л.Н. Закономерности процесса изомеризации лактозы в лактулозу в подсырной сыворотке // Вестник СевКавГТУ, сер. «Продовольствие». 2003. № 1 (6), ISBN 5-9296-0148-8. © Северо-Кавказский государственный технический университет. <http://www.ncstu.ru>
5. Храмов А.Г., Брыкалов Б.А. *, Рябцева С.А., Ткаченко В.Н. * Исследование некоторых аспектов маркетинга лактулозы. *Ставропольский государственный аграрный университет Вестник СевКавГТУ, сер. «Продовольствие». 2003. № 1 (6), ISBN 5-9296-0148-8. © Северо-Кавказский государственный технический университет. <http://www.ncstu.ru>
6. Бахир В.М. Электрохимическая активация. М.: ВНИИ МТ, 1992. 2 ч. 657 с; ил.
7. Леонов Б.И., Прилуцкий В.И., Бахир В.М. Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды.: М.: ВНИИИМТ, 1999. 244 с.
8. Храмов А.Г., Рябцева С.А., Суюнчева Б.О. Исследование процесса изомеризации лактозы в лактулозу при электроактивации молочной сыворотки // Вестник СевКавГТУ, сер. «Продовольствие», 2004. №1 (7). © Северо-Кавказский государственный технический университет. <http://www.ncstu.ru>

9. Синельников Б.М., Храмов А.Г., Евдокимов И.А., Рябцева С.А., Серов А.В. Лактоза и ее производные. СПб: Профессия, 2007. 768 с.
10. Болога М.К., Спринчан Е.Г., Максимук Е.П. А 2008 0081. Способ переработки вторичного молочного сырья, от 2008-03-20.
11. Спринчан Е.Г., Болога М.К. Солевой состав белково-сывороточного концентрата, полученного электроконтактным способом // Электронная обработка материалов. 2006. № 6. С. 57–65.
12. Покровский А.А., Ертанов И.Д. Атакуемость пищевых продуктов протеолитическими ферментами // Вопросы питания, 1986.
13. Сажин Г.Ю. Оценка качества продуктов детского питания // Пищевая промышленность. 2001. № 4. С. 31–32.

Поступила 13.03.08

Summary

A short analysis of the problem state, economical and ecological situation and of the necessity of whey treatment is presented. The necessity of the secondary lactate raw material treatment to obtain vitally important products is reasoned. The methods of obtaining whey protein concentrate (WPC) including electroactivation one, being elaborated in the IAF ASM, are examined. The assay of protein fractions, particularly amino acid structure at electroactivation of whey and their digestibility by proteolytic ferments (characteristic of pepsin-pancreatic index) is reflected. The investigation of noxious substances, got at lipid oxidation, has been conducted. The investigation of nitrogen contents compounds is presented. The ways of optimization the propose technology is reflected. The results of complexes treatment lactose contents raw material with heightened content of lactulose and simultaneity decreasing of energy consumption is show.
