

Ферментативный гидролиз в технологии сгущенной сыворотки

УДК 637.146.4

Л. Н. СОКОЛОВСКАЯ, старший научный сотрудник РУП «Институт мясо-молочной промышленности»

Е. А. РАКОВА, главный технолог ООО «ТПК Продинвест», официальный представитель компании-производителя функциональных ингредиентов DSM Food Specialties в Беларуси

О. В. ДЫМАР, доктор технических наук, доцент, технический директор в представительстве АО «MEGA a.s.» в Республике Беларусь

Реферат. В статье описана распространенная в современном мире проблема непереносимости лактозы, в связи с которой актуальным является такой способ снижения массовой доли молочного сахара в продуктах питания, как ферментативный гидролиз. Представлены результаты исследования по подбору оптимальных параметров гидролиза в молочной сыворотке ферментным препаратом лактазы марки Maxilact®. Установлена целесообразность предварительного концентрирования и деминерализации в технологическом процессе подготовки молочной сыворотки к ферментативному гидролизу. Ферментированная β -галактозидазой молочная сыворотка может служить полноценной основой для производства таких молочных консервов, как сухая гидролизованная сыворотка и сгущенные молочные продукты с пониженным содержанием дисахаридов. Применение β -галактозидазы позволяет снизить содержание не только молочного сахара, но и сахарозы в готовом сладком продукте, а также устраняет риск возникновения пороков консистенции, вызванных неконтролируемой кристаллизацией лактозы.

Enzymatic Hydrolysis in Condensed Whey Processing

L. N. SOKOLOVSKAYA, Senior Research Worker, Institute for the Meat and Dairy Industry

E. A. RAKOVA, Chief Technologist, TPK Prodinvest, authorized representative of functional ingredients manufacturer DSM Food Specialties in Belarus

O. V. DYMAR, Doctor of Engineering, Assistant Professor, Technical Director at MEGA a. s. Office in Belarus

Abstract. The article describes the problem of lactose intolerance, which has become widespread in the modern world; therefore enzymatic hydrolysis, a method of reducing the mass fraction of milk sugar in food products, has become particularly important. The results of a study on the selection of optimal hydrolysis parameters in milk whey by an enzyme preparation of lactase Maxilact® are presented. The reasonability of preconcentration and demineralization in the technological process of preparation of milk whey for enzymatic hydrolysis is established. Milk whey fermented by β -galactosidase can serve as a complete basis for the production of such canned dairy products as dry hydrolyzed whey and condensed milk products with a reduced content of disaccharides. The use of β -galactosidase allows reducing the content of not only lactose, but also sucrose in the finished sweetened condensed product; it and also eliminates the risk of appearance of consistency defects caused by uncontrolled lactose crystallization in canned milk products.

Введение

На современном этапе молочное производство Республики Беларусь является флагманом в пищевой промышленности страны. Вопрос внедрения инновационных способов обработки молочного сырья с целью производства низко- и безлактозных

Л. Н. Соколовская. Ферментативный гидролиз в технологии сгущенной сыворотки

продуктов актуален в связи с тем, что экспортные потоки молочной продукции прокладывают себе путь в те регионы, где непереносимость лактозы встречается особенно часто (Азия, Африка, Южная Америка).

Известно, что большой процент земного населения страдает частичной либо полной непереносимостью лактозы (гиполактазия, алактазия). У разных народов нехватка лактазы выявляется с разной частотой: у датчан и шведов — в 2–4 %, у французов и англичан — в 7–12 %, у русских и немцев — в 15–16 %, у индийцев — в 60–80 %, у китайцев, японцев и корейцев — у 90 % населения. Наиболее распространенный путь коррекции лактазной недостаточности — специальная диета с минимальным потреблением молочного сахара с уменьшением или полным исключением употребления содержащих лактозу продуктов, в первую очередь, цельномолочных и молочно-консервных. При этом при безмолочной диете следует учитывать сопутствующий дефицит необходимых функциональных веществ, содержащихся в молоке и молочных продуктах [1, 2].

Содержание лактозы в продуктах определяется используемым молочным сырьем. В связи с тем, что широко используемая молочная сыворотка является высоколактозным сырьем, закономерна и высокая массовая доля молочного сахара в продуктах на ее основе. Также значительным содержанием лактозы отличаются молочные консервы из-за того, что при их производстве происходит концентрирование всех составляющих молочного сырья. Помимо лактозной непереносимости, высокое содержание лактозы в молочных консервах может также отразиться на качестве продукта, приводя к проявлению пороков песчанистости, мучнистости, выпадения кристаллов молочного сахара в процессе производства, транспортирования и хранения.

Перечисленные факты подтверждают необходимость проведения научных исследований в направлении разработки новых технологий производства низколактозных молочных продуктов. Известный технологический прием — ферментативный гидролиз лактозы при производстве без- и низколактозных цельномолочных продуктов, мороженого и йогурта [3, 4]. Также изучено направление использования расщепления молочного сахара для получения глюкозо-галактозных сиропов из молочного пермеата или производных сыворотки [5, 6]. Менее изучено применение ферментативных препаратов лактазы (β -галактозидазы), посредством которых происходит гидролиз лактозы в молочном сырье, в молочно-консервном производстве. Чаще всего β -галактозидазу используют в качестве антикристаллизатора лактозы в процессе изготовления вареных сгущенных молочных продуктов с сахаром для предотвращения пороков, связанных с ее неконтролируемой кристаллизацией. В связи с тем, что все чаще в производстве молочных продуктов (в том числе сладких сгущенных молочных консервов) используется сыворотка, особое значение приобретает вопрос применения ферментативного гидролиза лактозы при переработке этого ценного вида молочного сырья [7].

Цель исследований — изучение ферментативного гидролиза лактозы в производстве молочно-консервной продукции на основе молочной сыворотки.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась технология переработки молочной сыворотки с применением ферментативного гидролиза.

В ходе изучения различных видов молочной сыворотки проводился анализ современных научных данных и собственных результатов исследований, полученных по стандартным методикам, применяемым в молочной промышленности стран Евразийского экономического союза. В экспериментальных образцах молочных консервов на основе молочной сыворотки определяли количество сахаров методом

Л. Н. Соколовская. Ферментативный гидролиз в технологии сгущенной сыворотки

жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1200 [8]. Остальные физико-химические, органолептические, микробиологические показатели готовых продуктов определялись стандартными методами исследований.

Результаты исследований

На РУП «Институт мясо-молочной промышленности» на протяжении последних 10 лет осуществляется изучение процессов гидролиза лактозы препаратами β -галактозидазы в молочной сыворотке. На начальной стадии проведены исследования по подбору оптимальных параметров гидролиза лактозы в молочном сырье наиболее распространенным ферментным препаратом лактазы марки Maxilakt® производства компании DSM Food Specialties (Нидерланды). Основываясь на представленных компанией-производителем характеристиках препарата, известно, что в стандартном молоке данный ферментный препарат проявляет максимальную активность при следующих параметрах: температура 37 °С; активная кислотность рН 6,6 ед. При рН < 5,7 ед. происходит инактивация фермента; желательное периодическое перемешивание ферментируемого субстрата. Дозировка лактазы зависит от соблюдения вышеперечисленных параметров, начального содержания молочного сахара в сырье и требуемой конечной степени гидролиза [9].

В результате собственных экспериментов с различным молочным сырьем, в том числе и с молочной сывороткой, подтверждено, что оптимальная температура ферментирования лактазы марки Maxilakt® находится в диапазоне 36–40 °С, оптимальная активная кислотность рН составляет 6,5–7,5 ед., отклонение от оптимальных параметров приводит к снижению эффективности протекания гидролиза молочного сахара. Для достижения максимальной степени гидролиза в таком высоколактозном молочном сырье, как молочная сыворотка, оптимальная дозировка фермента с показателем активности 2000 NLU/г должна составлять 2,5–4,0 г/кг.

Помимо первостепенных факторов, описанных выше, на динамику протекания реакции распада лактозы влияют такие параметры ферментируемого молочного сырья, как массовая доля сухих веществ, вязкость, компонентный состав. Этот факт особенно важен в связи с тем, что с целью экономии производственных площадей и упрощения транспортировки, а также для повышения пищевой ценности, сыворотку концентрируют с помощью нано- или ультрафильтрации, обратного осмоса или сгущают на вакуум-выпарных установках (ВВУ) до высоких показателей сухих веществ (массовая доля сухих веществ сыворотки, концентрированной баромембранными методами, — 16–22 %, массовая доля сухих веществ сгущенной сыворотки — 38–45 %). Поэтому для оценки эффективности проведения ферментативного гидролиза лактозы в концентрированной или сгущенной молочной сыворотке было изучено влияние массовой доли сухих веществ сырья на эффективность протекания гидролитической реакции. Исследования проводились на натуральной сыворотке (СВ = 4,5 %), концентрированной посредством лабораторной нанофильтрационной установки (НФУ) (СВ = 16,5 %) и сгущенной с помощью лабораторной вакуум-выпарной установки (СВ = 38,0 %). Гидролиз осуществляли при описанных ранее основных оптимальных параметрах: температура (38 ± 1) °С, дозировка 3 г/кг, периодическое перемешивание. Результаты представлены на рис. 1.

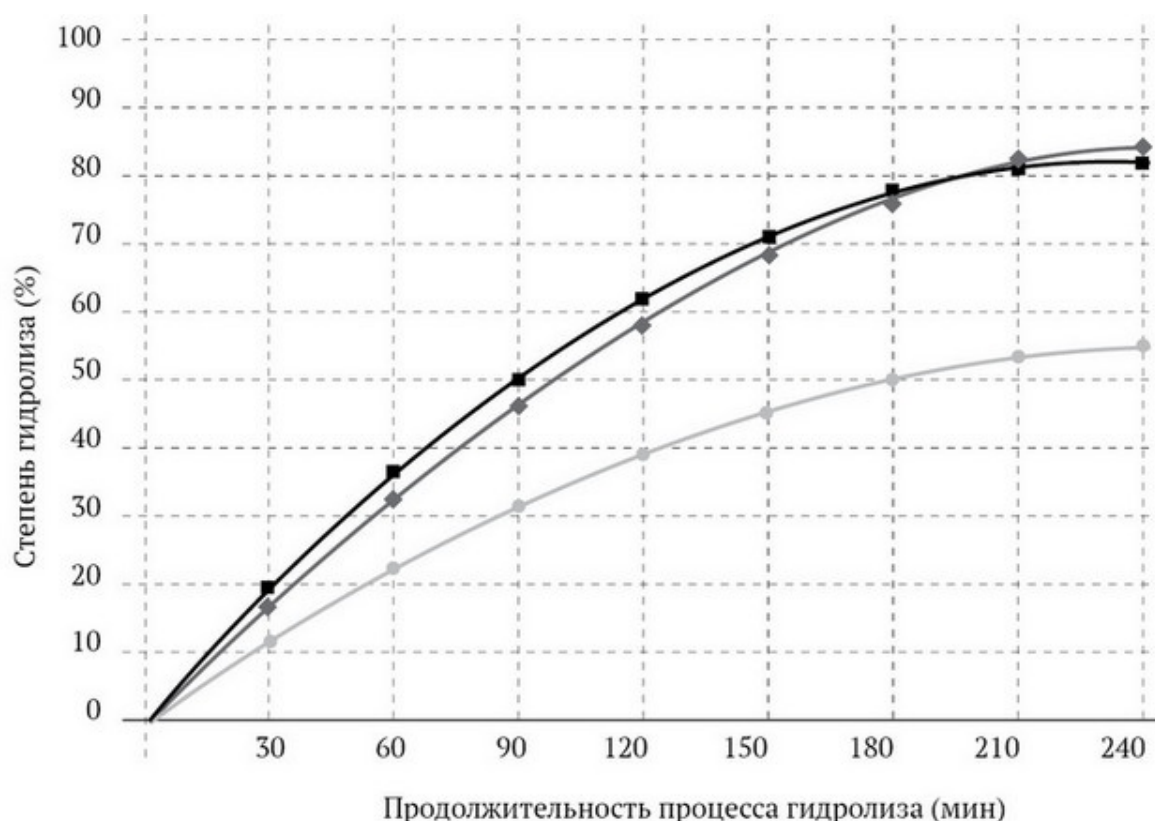


Рис. 1. Динамика процесса гидролиза лактозы в образцах подсырной сыворотки с различной массовой долей сухих веществ

- ■ ■ ■ 4,5 % СВ — натуральная сыворотка — $Y(x) = -0.0015 \cdot x^2 + 0.71 \cdot x - 0.72$
- ◆ ◆ ◆ ◆ 16,5 % СВ — концентрированная сыворотка на НФУ — $Y(x) = -0.0012 \cdot x^2 + 0.67 \cdot x - 2.25$
- ● ● ● 38,0 % СВ — сгущенная сыворотка на ВВУ — $Y(x) = -0.00075 \cdot x^2 + 0.41 \cdot x + 0.33$

Рис. 1. Динамика процесса гидролиза лактозы в образцах подсырной сыворотки с различной массовой долей сухих веществ

Анализ результатов эксперимента показал, что при гидролизе лактозы в образце концентрированной сыворотки с массовой долей сухих веществ 16,5 %, как и в натуральной сыворотке, достигается высокая эффективность гидролиза лактозы, что подтверждает целесообразность ее предварительного концентрирования и объясняется высокой вероятностью столкновения молекул лактозы и фермента β -галактозидазы. В случае гидролиза сгущенной на ВВУ сыворотки с массовой долей сухих веществ 38,0 % за счет значительного увеличения вязкости распределение фермента в субстрате затруднено, что снизило эффективность ферментативного процесса.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что предварительное концентрирование сыворотки до содержания сухих веществ 16–22 % позволяет достигать требуемой степени гидролиза лактозы сыворотки с наименьшими производственными затратами, чем в случае натуральной неконцентрированной сыворотки. Так, при одинаковой дозировке фермента 3 г/кг и за одно и то же время достигаются равные степени гидролиза в неконцентрированной сыворотке с начальным содержанием лактозы 3,5 % и в сыворотке, концентрированной методом нанофильтрации, с содержанием лактозы 14,0 %. В результате чего в пересчете на Л. Н. Соколовская. Ферментативный гидролиз в технологии сгущенной сыворотки

сухое вещество на гидролиз концентрированной сыворотки расходуется в 3,3 раза меньше фермента, чем для расщепления молочного сахара в натуральной неконцентрированной сыворотке.

Согласно литературным источникам, на активность β -галактозидазы оказывают влияние некоторые макро- и микроэлементы. Такие тяжелые металлы, как цинк и медь в высоких концентрациях, значительно ингибируют каталитическую активность фермента; подобное действие оказывает и высокая концентрация растворимого кальция. В этой связи изучено влияния процесса деминерализации на эффективность протекания ферментативного гидролиза лактозы в концентрированной молочной сыворотке. Внедрение данного этапа в производстве низколактозных молочных продуктов может сыграть положительную роль, позволив расширить применение соленой и кислой молочной сыворотки, одновременно удаляя из нее как соли, так и излишнюю молочную кислоту [10]

С целью оценки рациональности проведения процесса электродиализа перед ферментативным гидролизом сыворотки проводили исследования по ферментации различных образцов сыворотки: концентрированной НФ (контроль); деминерализованной до степени 50 % (ДМ50); деминерализованной до степени 70 % (ДМ70); деминерализованной до степени 90 % (ДМ90). Образцы получены путем предварительного концентрирования на лабораторной установке нанофильтрации до содержания сухих веществ 17,5 % и последующей деминерализации до заданной опытом степени. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

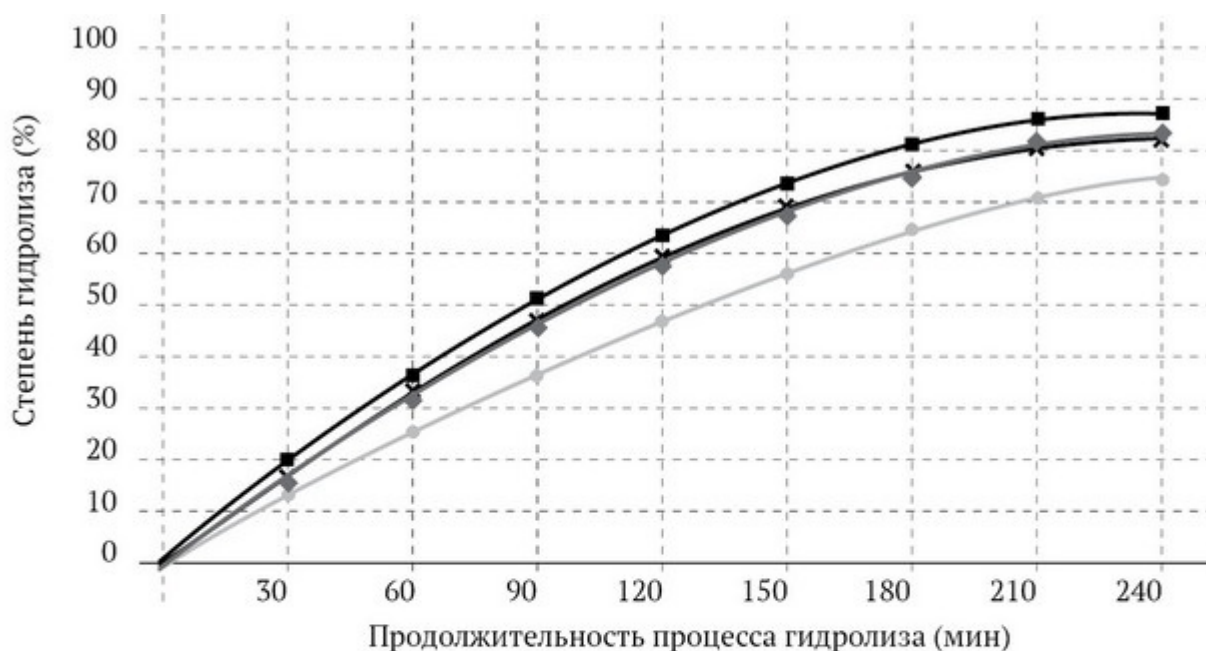


Рис. 2. Динамика процесса гидролиза лактозы в образцах подсырной сыворотки с различной степенью деминерализации

- × × × × концентрированная сыворотка НФ — $Y(x) = -0.0013 \cdot x^2 + 0.66 \cdot x - 1.97$
- ■ ■ ■ сыворотка ДМ50 — $Y(x) = -0.0013 \cdot x^2 + 0.66 \cdot x - 2.37$
- ◆ ◆ ◆ ◆ сыворотка ДМ70 — $Y(x) = -0.0015 \cdot x^2 + 0.73 \cdot x - 2.04$
- ● ● ● сыворотка ДМ90 — $Y(x) = -0.00073 \cdot x^2 + 0.50 \cdot x - 2.29$

Рис. 2. Динамика процесса гидролиза лактозы в образцах подсырной сыворотки с различной степенью деминерализации

Наиболее эффективно протекал гидролиз в образце молочной сыворотки со степенью деминерализации 70 %. Так как в процессе нанофильтрации уже происходит частичная деминерализация, эффективность гидролиза в образцах концентрированной НФ-методом сыворотки и деминерализованной ДМ50 практически совпадает, то нецелесообразно проведение деминерализации до степени 50 % в сыворотке, предварительно подвергнутой нанофильтрации. Направленная деминерализация до 50 % может быть оправдана только в случае предварительного концентрирования методами, не обеспечивающими частичного обессоливания, например, обратным осмосом или выпариванием. Практически полное обессоливание молочной сыворотки до степени 90 % приводит к значительному изменению коллоидно-дисперсионного состояния сыворотки, повышению удельного содержания лактозы, снижает содержание активирующих фермент ионов магния и марганца, тем самым не способствует повышению скорости ферментативного гидролиза лактозы, следовательно, осуществление такой высокой деминерализации также нецелесообразно.

Эти и другие результаты исследований использованы в дальнейшей работе по созданию технологий производства молочных консервов на основе молочной сыворотки. Разработана технология производства сухой гидролизованной сыворотки, которая по своему компонентному составу отличается от стандартной сухой молочной сыворотки углеводным составом и может найти применение в молочных и других пищевых продуктах, присутствие лактозы в которых не желательно, например, в продуктах детского или геродиетического питания.

В настоящий момент с участием ОАО «Глубокский МКК» ведутся исследования, в рамках которых разработана технология производства сладких молочных консервов с пониженным содержанием дисахаридов в их составе. Особенностью новой технологии является то, что высокое содержание лактозы (основная причина, не позволяющая широко использовать молочную сыворотку в производстве сладких сгущенных молочных продуктов) посредством ферментативного гидролиза лактозы из недостатка трансформировано в преимущество. Включение в производственный процесс сладких сгущенных молочных продуктов направленного гидролиза лактозы молочной сыворотки дает возможность производить качественные консервы с более чем вдвое сниженным количеством сахарозы и лактозы, а использование сыворотки в качестве основного молочного сырья обогащает продукты незаменимыми аминокислотами из сывороточных белков. Характеристики сладких сгущенных молочных продуктов на основе молочной сыворотки с пониженным содержанием дисахаридов в сравнении с классическими сгущенными молочными продуктами с сахаром представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические и органолептические характеристики сладких сгущенных молочных продуктов на основе молочной сыворотки и классического молока сгущенного с сахаром

Наименование показателя, единица измерения	Продукт молочный сгущенный с сахаром на основе гидролизованной молочной сыворотки		Молоко сгущенное с сахаром частично обезжиренное (контроль)
	частично обезжиренный	обезжиренный	
1	2	3	4
Физико-химические показатели			
Массовая доля сухих веществ, %	71,5	71,5	72,0
Массовая доля жира, %	3,2	0,5	2,5
Массовая доля белка, %	5,3	7,5	8,5
Массовая доля сахарозы, %	25,0	23,0	42,5
Массовая доля лактозы, %	4,8	5,1	14,3
Органолептические показатели			
Цвет	Белый с желтым оттенком, свойственным молочной сыворотке, равномерный по всей массе. Допускается наличие оттенка топленого молока	Желтый, свойственный молочной сыворотке, равномерный по всей массе. Допускается наличие оттенка топленого молока	Белый с кремовым оттенком, равномерный
Вкус и запах	Чистый, сладкий. Допускается недостаточно выраженный молочный вкус, наличие привкуса сахарного сиропа, сыворотки и/или сухого молока и/или сухой молочной сыворотки		Чистый, сладкий, с выраженным вкусом пастеризованного молока. Допускается наличие легкого кормового привкуса
Внешний вид и консистенция	Консистенция вязкая, однородная по всей массе, без наличия ощущаемых кристаллов молочного сахара. Допускается незначительное количество пузырьков от взбитого воздуха		Консистенция однородная, вязкая по всей массе, без наличия ощущаемых кристаллов молочного сахара. Допускается мучнистая консистенция и незначительный осадок лактозы на дне упаковки при хранении

Физико-химический и органолептический составы продуктов на основе молочной сыворотки приближены к сгущенному молоку с сахаром, произведенному по традиционной технологии (табл. 1). Основным отличием новых сгущенок является сниженное содержание дисахаридов, которое, согласно полученным в ходе исследований результатам, не приводит к снижению сладости или хранимостепособности готового продукта. Также, в отличие от сгущенного молока с сахаром, новые продукты обладают желтоватым, свойственным сыворотке цветом, особенно это отмечалось у продуктов с меньшей массовой долей жира в их составе. Обезжиренный продукт — насыщенно желтого цвета, этот недостаток можно нивелировать применением пищевкусовых компонентов (какао, кофе, цикория) или карамелизацией продукта.

Внешний вид продуктов представлен на рис. 3: образец № 1 — это продукт молочный сгущенный с сахаром частично обезжиренный; № 2 — продукт молочный сгущенный с сахаром обезжиренный; № 3 — продукт молочный сгущенный вареный с сахаром обезжиренный; № 4 — молоко сгущенное с сахаром 2,5 % жирности (контроль). Помимо повышения сладости гидролизованной молочной сыворотки, применение расщепления молочного сахара позволяет избежать пороков консистенции в консервных продуктах на ее основе, а также сокращает время термической обработки сгущенных молочных продуктов в ходе высокотемпературной обработки с целью получения вареных сгущенных молочных продуктов с сахаром.

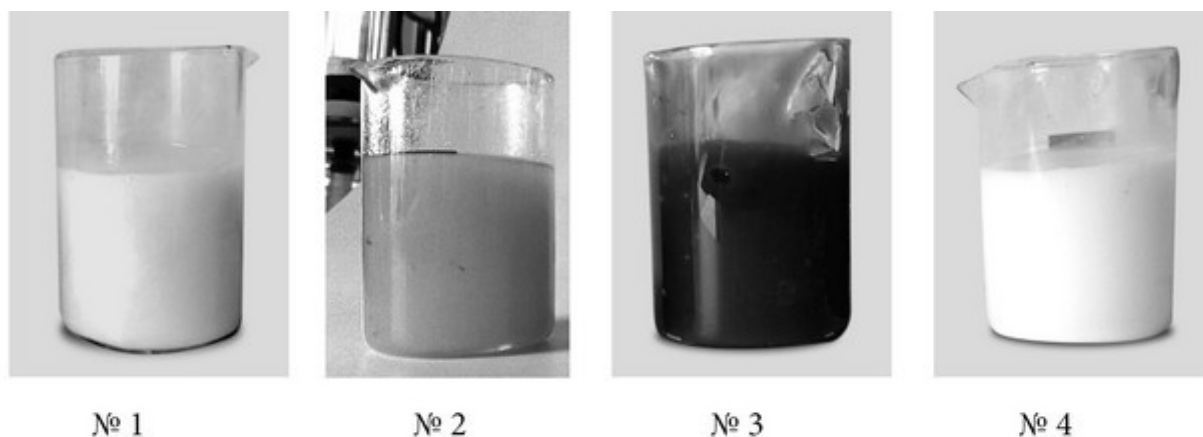


Рис. 3. Внешний вид молочных сгущенных продуктов на основе молочной сыворотки с сахаром

Рис. 3. Внешний вид молочных сгущенных продуктов на основе молочной сыворотки с сахаром

На основании полученных данных разработаны комплекты ТНПА и ТД на производство продукта молочного сгущенного низколактозного с сахаром и продукта молочного сгущенного с сахаром вареного «Варюша», выпуск которого освоен и продукт поступил в торговую сеть.

Выводы

1. В результате исследований показано, что молочная сыворотка, несмотря на высокое содержание лактозы в ее составе, может рассматриваться как сырье для использования в молочно-консервном производстве. Сочетание селективных методов воздействия — ферментативный гидролиз, баромембранное концентрирование и электродиализ — позволяет получать высококачественные молочные консервы. А сам по себе ферментативный гидролиз лактозы является перспективным инновационным технологическим процессом, внедрение которого возможно, а зачастую и необходимо, во всех сферах молочного производства, в том числе молочно-консервной промышленности, а также в секторе переработки вторичного молочного сырья.
2. Консервы, полученные из ферментированной β -галактозидазой молочной сыворотки, обладают высокой пищевой ценностью и позволяют расширить слаборазвитый на данный момент ассортимент низколактозных молочных продуктов нашей страны. Кроме того, применение гидролиза лактозы позволяет значительно снизить содержание сахарозы в сладких сгущенных молочных продуктах, а также оптимизировать технологические характеристики готовых вареных консервов. Новые сгущенные молочные продукты могут выступать как самостоятельный, готовый к употреблению продукт с диетическими свойствами, а могут, как и сухая гидролизованная молочная сыворотка, играть роль полуфабрикатов для производства других групп пищевой продукции.

Литература

1. Козлов, А. И. Лактазная недостаточность (первичная гиполактазия) в различных группах населения Евразии: дис. ... докт. биол. наук: 03.00.13, 03.00.14 / А. И. Козлов. – М., 2004. – 200 с.
2. Арсеньева, Т. П. К чему приводит лактазная недостаточность/ Т. П. Арсеньева // Молочная промышленность. – 2010. – № 7. – С. 28–30.
3. Soft Ice Cream and Process for Production Thereof: pat. 4333954 США A23G9/00; A23G9/32; A23G9/02; A23G9/04 / Trzeciecki, Jan (Naerum, DK); заявл. 11.07.1980; опубли. 06.08.1982.
4. Арсеньева, Т. П. Развитие теоретических основ и разработка технологий низколактозных молочных продуктов с регулируемым жирнокислотным составом: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Т. П. Арсеньева. – СПб., 2008.
5. Варданян, А. Г. Разработка технологии концентратов гидролизованной лактозы на основе пермеата молочной сыворотки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / А. Г. Варданян. – Ставрополь: СевКавГГУ, 2009. – 133с.
6. Бараняк, А. Применение реактора с иммобилизованной лактозой для непрерывной обработки концентрированной сыворотки и пермеата / А. Бараняк, Ф. В. Косиковский // Международный молочный конгресс. Краткие сообщения. – М., 1982. С. 360.
7. Дымар, О. В. Научно-технические аспекты повышения эффективности переработки молочных ресурсов / О. В. Дымар. Минск: Колорград, 2015. – 245 с.
8. Определение содержания сахаров (глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза, мальтоза и мальтодекстрин) в специализированных продуктах питания, биологически активных и пищевых добавках: МВИ. МН. 4475-2012.
9. Maxilact для производства безлактозных молочных продуктов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.dsm.com/arkets/foodandbeverages/ru/_products/enzymes/dairy/maxilac.html.
10. Деминерализация лактозосодержащего сырья методом электродиализа / А. Г. Храмцов [и др.] // Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1992. – 33 с.