

УДК 637.1/.3

Технология молочного сахара и его аналогов с применением мембранных и ионообменных процессов

Канд. техн. наук **М.С.ЗОЛОТОРЕВА**,
канд. техн. наук **Д.Н.ВОЛОДИН**
ООО «МЕГА ПрофиЛайн»
Д-р техн. наук **И.А.ЕВДОКИМОВ**,
канд. техн. наук **И.К.КУЛИКОВА**,
канд. техн. наук **Б.В.ЧАБЛИН**
Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь

В отечественной молочной промышленности на фоне нехватки молока-сырья, с одной стороны, и наращивания импортозамещения – с другой, наблюдаются следующие тенденции: увеличение производства сыров и творога (на 16,4 и 6,7 % за 2015 г. соответственно [1]); увеличение объемов производства и переработки вторичных молочных ресурсов, в частности молочной сыворотки. При этом предприятия интересуются организацией более глубокой переработки молока и сыворотки с получением высококачественных продуктов и ингредиентов. Следует отметить, что такие перспективные ингредиенты, как концентраты белков, лактоза и их производные, практически не производятся в РФ и ввозятся из-за рубежа, несмотря на огромные собственные сырьевые ресурсы. Многие из них на данный момент попадают под продуктовое эмбарго, и на них действуют ограничения на ввоз. Все это создает благоприятную основу для создания собственного производства таких ингредиентов. При этом, используя современные технологии переработки, качество продукции не будет уступать зарубежным аналогам данных ингредиентов.

Перспективность реализации таких технологий в России подтверждается прогнозами аналитиков (3A Business Consulting) [2], которые указывают на ожидаемый рост производства и спроса на сывороточные ингредиенты в нашей стране, а также мировой рост спроса на сывороточные белковые концентраты (особенно с высокой концентрацией белка), лактозу и сухой пермеат. Сырьем

для указанных ингредиентов служит молочная сыворотка, значительную часть которой (около половины [1]) в России составляет кислая сыворотка. Особенности переработки кислой сыворотки являются затруднения при ее тепловой обработке, вакуумном сгущении, кристаллизации и сушке, а готовый продукт обладает низкими качественными показателями, поэтому при переработке такого сырья требуется совершенно другой подход.

70–80 % сухого вещества сыворотки приходится на лактозу, поэтому сыворотка является традиционным источником для производства этого ингредиента. Состав сыворотки характеризуется также наличием таких компонентов молока, как сывороточные белки, небелковые азотистые соединения, витамины, минеральные и минорные вещества, которые влияют на качество и выход молочного сахара, определяя доброкачественность сырья. Причем некоторые из этих компонентов представляют собой ценные нутрицевтики и могут быть выделены из сыворотки как самостоятельные коммерческие продукты. Мембранные процессы стали неотъемлемой частью технологии как молочного сахара, так и других сывороточных ингредиентов. Процесс ультрафильтрации позволяет максимально выделить из молочной сыворотки белки, которые затем подвергаются дальнейшей технологической обработке с целью получения сухих сывороточных белковых концентратов различного состава (с содержанием белка от 35 до 95 % и более в сухом веществе [2]) или могут быть использованы внутри производства для обогащения продукции сывороточными белками, совершенствования структуры и свойств, расширения ассортимента молочных продуктов. Процесс ультрафильтрации позволяет получить ценный и востребованный в пищевой промышленности белковый ингредиент. При этом в качестве сопутствующего продукта образуется УФ-пермеат сыво-

ротки, который представляет собой раствор лактозы, минеральных веществ, кислот, небелковых низкомолекулярных азотистых соединений и некоторых минорных компонентов, например пигментов, и характеризуется более высокой доброкачественностью по лактозе (более 80 %) по сравнению с сывороткой (70–80 %) [3]. Наличие вышеописанных сопутствующих веществ негативно сказывается как на качестве конечного продукта – лактозы, так и на ходе технологических процессов: вакуумного сгущения, кристаллизации.

Для получения молочного сахара высокого качества из УФ-пермеата необходимо провести выделение значительной части компонентов, являющихся несахарами, что позволит повысить доброкачественность сырья до 90 % и более. Для этих целей служат мембранные методы и обменные процессы. Последовательное применение нанофильтрации и электродиализа позволяет наиболее эффективно извлечь из сырья минеральные вещества (до 90 %) и отрегулировать кислотность. Нанофильтрация характеризуется применением мембран с размером пор, обеспечивающим частичное удаление одновалентных минеральных ионов, позволяя достичь уровня деминерализации сырья до 25 %. Параллельно происходит концентрирование остальных сухих веществ УФ-пермеата до массовой доли сухих веществ 18–22 %, что соответствует порядка 70 % удаления воды [4]. Такая обработка положительно сказывается на интенсивности последующих процессов электродиализа и вакуумного сгущения и снижения энергетических затрат.

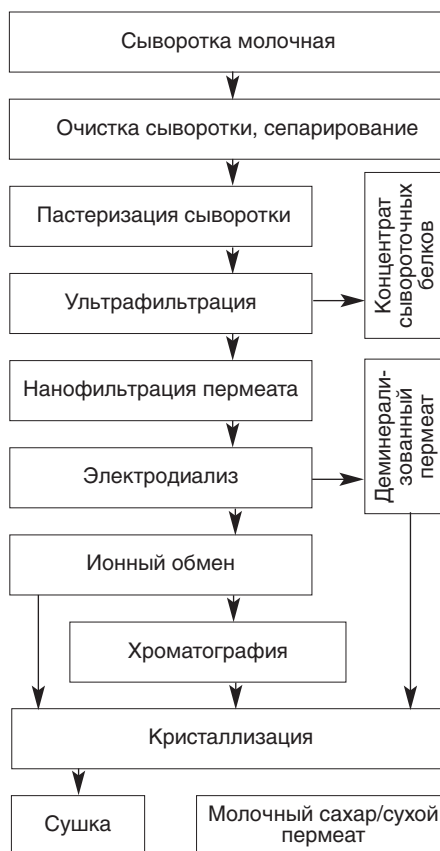
Электродиализная обработка направлена на удаление низкомолекулярных компонентов в ионной форме под действием электрического поля с использованием анионообменных и катионообменных мембран. Например, применение современных гетерогенных ионообменных мембран «Ralex®» про-

изводства АО «МЕГА» (Чешская Республика) обеспечивает максимальное удаление одновалентных ионов и значительной части двухвалентных, а также остатков органических и неорганических кислот. Данные мембраны обладают улучшенными механическими и электрохимическими свойствами, позволяют достичь уровня деминерализации до 90 % и провести частичное регулирование кислотности. Они безопасны и сертифицированы для применения в производстве продуктов питания [5]. Мембраны «Ralex®» являются неотъемлемой частью современных и полностью автоматизированных электродиализных установок производства АО «МЕГА», адаптированных для переработки различных видов молочного сырья. В технологии молочного сахара электродиализ интенсифицирует процессы сгущения и кристаллизации, а также обеспечивает возможность переработки мелассы. Деминерализованная меласса обладает достаточно высокой доброкачественностью и повторно вовлекается в технологический процесс, увеличивая выход лактозы. Таким образом, применение электродиализной обработки в технологии молочного сахара или его аналогов (сухого пермеата) расширяет спектр сырьевых ресурсов, что позволяет перерабатывать соленую подсырную сыворотку и кислые виды сыворотки и пермеата.

Подвергая сырье мембранной обработке (ультрафильтрация, нанофильтрация, электродиализ), мы улучшаем его технологические и органолептические параметры, что, в свою очередь, приводит к интенсификации процессов сгущения, кристаллизации и сушки в технологии молочного сахара. Варьируя степень извлечения компонентов – несхаров из УФ-пермеата, можно добиться различного состава и качества готового продукта в зависимости от производственной необходимости и направления использования и приблизить по составу к молочному сахару пищевой категории качества, при этом исключить образование мелассы, а сушку производить распылительным способом.

Следующим этапом более глубокой очистки сырья в технологии молочного сахара является применение процессов ионного обмена и хроматографии. Ионный обмен рекомендуется проводить на стадии после процесса электродиализа для удаления оставшейся части поливалентных ионов, таких как

Схема производства молочного сахара/сухого деминерализованного пермеата с применением мембранных и обменных процессов



фосфаты, сульфаты, цитраты, а также ионы кальция и магния. При этом последовательно используются анионообменные и катионообменные смолы, что позволяет повысить уровень деминерализации сырья более 95 %. Для удаления остатков азотистых соединений и пигментов в технологии высокоочищенной лактозы применяют хроматографические методы. Примером может служить ионообменная SSMB (Sequential simulated moving bed) хроматография низкого давления с симулированным движением подвижной фазы [6]. Суть процесса заключается в различной скорости прохождения и элюирования компонентов сырья через слой ионообменной смолы в зависимости от их природы. При переработке деминерализованного пермеата в результате такой хроматографической обработки образуются две фракции: обедненная фракция, содержащая быстрые компоненты (соли) и окрашенные соединения (рафинат); обогащенная фракция высокоочищенной лактозы (экстракт). Дополнительная ионообмен-

ная обработка лактозосодержащего сырья позволяет получить экстракт лактозы с доброкачественностью до 99 % [6]. При этом также исключается стадия отделения кристаллов (образования мелассы), а готовый продукт по качественным показателям соответствует категории пищевой рафинированной лактозы. Схема производства молочного сахара или его аналогов по предлагаемой технологии с использованием мембранной, ионообменной и хроматографической обработки представлена на рисунке.

Реализация предлагаемой схемы позволит повысить выход молочного сахара до 95 % [6]. При этом сокращается количество побочных продуктов и отходов, исключаются стадии образования мелассы, промывки, очистки и измельчения кристаллов лактозы и, как следствие, уменьшаются энергетические затраты. Готовый продукт обладает высоким качеством и хорошо востребован в консервной и кондитерской промышленности, в производстве напитков и хлебобулочных изделий.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Производство основных видов импортозамещающих пищевых продуктов в Российской Федерации** [Электронный ресурс]: Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/importexchange/#;
2. **Tage Affertsholt, Morten Fenger Whey Book 2014.** – The Global Market for Whey and Lactose Ingredients 2014–2017 / 3A Business Consulting. – August 2014/ – 146 p.
3. **Синельников Б.М.** Лактоза и ее производные / Б.М.Синельников, А.Г.Храмцов, И.А.Евдокимов, С.А.Рябцева, А.В.Серов; науч. ред. акад. РАСХН А.Г.Храмцов. – СПб.: Профессия, 2007. – 768 с.
4. **Золоторева М.С., Володин Д.Н., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Чаблин Б.В.** О переработке молочной сыворотки и внедрении наилучших доступных технологий // Переработка молока. 2016. № 7. С. 17–19.
5. **Применение мембран** [Электронный ресурс] / ООО «МЕГА ПрофиЛайн». – Режим доступа: <http://www.mpline.ru/oborudovanie/membrany/primenenie/>
6. **Coralie Sowa, Francois Rousset, Frédéric Schab** / Strategic technology combinations for the production of high purity lactose from whey permeate *European Dairy Magazine* 5/2011 (23. Jg.).