

Электродиализ – наиболее эффективный процесс деминерализации молочной сыворотки

Канд. техн. наук **М.С.ЗОЛОТОРЕВА**,
канд. техн. наук **Д.Н.ВОЛОДИН**,
канд. техн. наук **А.С.БЕССОНОВ**,
В.К.ТОПАЛОВ
ООО «МЕГА ПрофиЛайн»

Молоко испокон веков на Руси было основным продуктом на столе. Течет время, меняются вкусы, но любовь к молоку и молочным продуктам остается по-прежнему неизменной.

В последние годы со стороны потребителей растет интерес к белковым молочным продуктам – сыру и творогу. В связи с этим молокоперерабатывающие заводы увеличивают объемы производства и расширяют ассортимент. При этом особенно остро встает проблема переработки молочной сыворотки.

Целесообразность переработки молочной сыворотки в первую очередь определяется ее ценным составом. Наряду с этим использование молочной сыворотки внутри производства способствует росту экономической эффективности и обеспечению экологической безопасности работы предприятий.

Для реализации возможности дальнейшего использования молочной сыворотки, как ингредиента в продуктах питания, ее необходимо деминерализовать.

На сегодняшний день деминерализованную сыворотку используют:

- при производстве сухой деминерализованной молочной сыворотки;
- детского и специализированного питания;
- питьевого молока;
- кисломолочных продуктов;
- творожных изделий;
- продуктов типа «сгущенное молоко»;
- мороженого;
- десертов;
- кондитерских изделий;
- в хлебобулочных изделиях;
- колбасных изделий;
- соусов, паст, майонезов и др.

Процесс деминерализации может быть осуществлен различными способами. Рассмотрим основные из них: ионный обмен (ИО), нанофильтрацию (НФ) и электродиализ (ЭД).

ИОННЫЙ ОБМЕН

Сущность ионного обмена заключается в том, что при определенных условиях между смолой и раствором, содержащим нежелательные компоненты, происходит обмен ионов, в результате которого смола сорбирует ион из раствора, отдавая в него ион, менее «вредный» для основного производства.

Ионный обмен, с теоретической точки зрения, является достаточно эффективным методом, позволяющим выделить из молочной сыворотки до 99 % минеральных веществ. При этом также регулируется кислотность до 10–18 °Т.

Однако в молочной промышленности ионный обмен имеет ограниченное применение из-за особенностей состава обрабатываемого сырья. В отличие от мембранных методов, где сырье или его компоненты проходят через мембрану, при ионном обмене сырье смешивается с ионообменными смолами, что затрудняет регенерацию последних. Таким образом, этот способ обработки требует предварительной высокой очистки молочного сырья от крупных белковых фракций, клеток бактерий и веществ, способных приводить к биохимическому загрязнению смол. Кроме того, растворенные в сыворотке фракции сывороточных белков могут адсорбироваться на поверхности смол, что приводит к потерям ценных белков в процессе обработки сыворотки.

При использовании смол процесс деминерализации молочной сыворотки протекает за счет реакции ионного обмена. При этом реакционные группы смол реагируют с минеральными веществами сыворотки, теряя заряд и способность к обмену. По этой причине смолы требуют регенерации с использованием значительных объемов химических реагентов (сильных кислот и оснований) для активации заряда на поверхности смолы и удаления связанных из сырья ионов. Это создает определенные проблемы в связи с хранением и использованием на пищевом предприятии больших объемов химических реагентов. Ионообменные смолы для пищевой промышленности должны быть выполнены из определенных материалов, прошедших испытания на токсичность и гигиеничность,

и разрешенных к использованию для обработки пищевого сырья.

Все эти факторы существенно усложняют и удорожают процесс деминерализации молочного сырья с применением ионного обмена. В основном он применим в технологии лактозы высокого качества (рафинированной, фармакопейной) для очистки растворов молочного сахара. Следует учитывать, что ионный обмен целесообразно применять на определенной стадии процесса, когда часть солей предварительно удалена посредством другого метода (нанофильтрацией, электродиализ). Широкое использование этого процесса в молочной промышленности сдерживают, кроме того, необходимость регенерации ионообменных смол и низкая производительность установок.

НАНОФИЛЬТРАЦИЯ

Процесс нанофильтрации (НФ) по своей функции в классификации баромембранных процессов располагается между ультрафильтрацией и обратным осмосом. Для НФ характерно применение мембран, способных задерживать основные компоненты молочного сырья, и пропускать воду и одновалентные минеральные компоненты в ионной форме. Такая избирательность оказывается весьма интересной применительно к переработке молочной сыворотки, в том числе соленой.

В молочной промышленности нанофильтрацию используют для получения частично деминерализованной (уровень деминерализации до 30 %) концентрированной молочной сыворотки. Ретентат включает часть минеральных веществ, белковые и углеводные компоненты, а пермеат представляет собой водный раствор солей низкой концентрации. Объединение частичной деминерализации и концентрирования в одной технологии имеет ряд преимуществ: уменьшение объемов сыворотки; повышение органолептических показателей сухой сыворотки за счет улучшения протекания кристаллизации и сушки; увеличение производительности электродиализного оборудования в случае дальнейшей деминерализации концентрированной сыворотки. Ретентат направляют на производство концент-

ратов, сгущенных и сухих продуктов, а пермеат может быть бесппроблемно утилизирован. Следует учитывать, что при использовании мембранных методов обработки к сырью предъявляются жесткие требования по содержанию жира и взвешенных частиц.

Эффективность удаления минеральных веществ при НФ зависит от ряда факторов: класса и типа мембран, размера пор мембран, режимов фильтрации, кислотности сырья и др. Во многих исследованиях по НФ молочной сыворотки отмечено удаление преимущественно одновалентных катионов, а также хлорид-анионов. Двухвалентные катионы, фосфат- и сульфат-ионы остаются в составе обрабатываемого сырья. В процессе нанофильтрации молочная кислота распределяется между потоками ретентата и пермеата в соотношении 85:15 соответственно. Так, при обработке сладкой подсырной сыворотки удается извлечь до 30 % минеральных веществ. Применение диафильтрации ретентата позволяет повысить этот показатель до 40–50 %. При этом значительно увеличиваются затраты энергии и сервисных сред на технологический процесс. В процессе диафильтрации ретентат разбавляется специально подготовленной водой, при этом в течение фильтрации происходят потери лактозы и некоторых ценных компонентов сыворотки с низкой молекулярной массой (аминокислоты, витамины и др.), что является крайне нежелательным аспектом в процессе переработки сырья.

Недостатки данного метода: работа при высоком давлении; низкая степень деминерализации. Основным преимуществом НФ является возможность концентрирования сырья до содержания СВ 20–22 % с одновременной частичной деминерализацией, что способствует интенсификации и снижению энергопотребления в дальнейших процессах переработки сыворотки (электродиализ, сгущение, кристаллизация и др.)

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗ

Это электрохимический процесс, позволяющий выделять минеральные вещества из исходного раствора посредством перемещения диссоциированных ионов через ионселективные мембраны. Он позволяет удалить из сыворотки минеральные компоненты и молочную кислоту, что особенно важно при переработке кислой молочной сыворотки. Электродиализная обработка способна обеспечить 90 %-ный уровень деминерализации сыворотки без существенно-

го изменения количественного состава других компонентов, входящих в состав сырья. Данный продукт хорошо подвергается процессам вакуумного сгущения, кристаллизации, сушки, имеет улучшенные технологические и органолептические показатели и соответственно более широкий спектр применения, включая цельномолочную продукцию.

Кислотность и минеральный состав сырья регулируются за счет удаления ионообменных соединений через ионообменные мембраны под действием постоянного электрического тока. Катионитовые ионообменные мембраны пропускают катионы, а анионитовые мембраны – анионы. Оба типа мембран препятствуют гидродинамическому движению растворителя (воды), и всем истинно растворенным в воде веществам, не обладающим электрическим зарядом. Наиболее распространены гомогенные мембраны. Однако более прочными и эффективными являются гетерогенные ионообменные мембраны, в связи с чем они находят все более широкое применение в технологии электродиализа, вытесняя свои гомогенные аналоги.

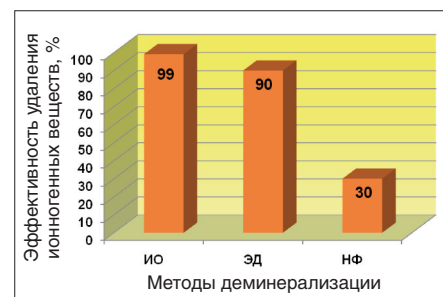
Электродиализ обеспечивает почти полное удаление одновалентных ионов и значительную часть двухвалентных, таких как кальций, магний, гидрофосфаты. При деминерализации кислой сыворотки из нее удаляются не только соли, но и органические (для творожной сыворотки) и неорганические (для казеиновой) кислоты. Исследованиями установлено, что в начальный период электродиализной обработки удаляются одновалентные ионы – натрий, калий, хлор (которые наиболее сильно влияют на вкусовые качества сыворотки), затем анионы кислот, что приводит к частичной диссоциации комплексов, связывающих ионы кальция и магния. Далее по мере увеличения степени деминерализации – двухвалентные катионы.

Молочная кислота удаляется со скоростью, занимающей промежуточное положение между одно- и двухвалентными неорганическими анионами. Степень удаления лактатов в 70–90 % достигается при уровне деминерализации 50–90 %, что улучшает технологические свойства сыворотки и качество конечного продукта. Это обеспечивает возможность использования сыворотки на пищевые цели, в том числе в детском питании.

Электродиализ кислой сыворотки позволяет получить сырье с необходимой титруемой (10–20 °Т) и активной (рН 5,8–6,7) кислотностью, при этом

обработке может подвергаться молочная сыворотка с массовой долей сухих веществ от 5 до 22 %, предварительно очищенная от жира и казеиновой пыли. В результате электродиализной обработки значительно улучшаются органолептические показатели. Уже при уровне деминерализации 50 % кислая сыворотка приобретает сладковатый вкус, а при дальнейшей деминерализации – сладкий.

Зависимость эффективности деминерализации от применяемых методов представлена на рисунке.



Эффективность деминерализации в зависимости от применяемых методов

Наибольшей эффективностью обладает ионный обмен, однако сложности его применения, требования к сырью, существенные потери целевых компонентов, а также высокая стоимость процесса делают этот метод маловостребованным в молочной промышленности. Использование нанофильтрации показывает самую низкую эффективность деминерализации среди рассмотренных процессов. Наиболее рационально и экономически оправдано осуществлять деминерализацию молочной сыворотки методом электродиализа, который позволяет не только удалять избыток минеральных веществ, но и регулировать кислотность сырья.

Целесообразно комбинирование процессов для достижения максимального эффекта и требуемых характеристик сырья в соответствии с производственными задачами. Так, сочетание нанофильтрации и электродиализа позволяет повысить эффективность и производительность последнего за счет обработки частично деминерализованной сыворотки с повышенным содержанием сухих веществ (до 18–22 %). Использование мембранных процессов помогает не только экономить на энергоносителях, но и исключить влияние высоких температур на термолабильные компоненты молочной сыворотки, что в конечном счете повышает биологическую ценность и технологические свойства сырья и готового продукта. [9]