УДК 637. 02

И.А. Короткий, П.А. Гунько, Т.З. Валиахмедов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ БЕЛКОВ И ЛАКТОЗЫ ИЗ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Данная работа посвящена исследованию процессов выделения белков и лактозы из молочной сыворотки методом разделительного вымораживания. Проведены опыты по разделительному вымораживанию молочной сыворотки при температурах от –2 до –6 °С. Исследовано изменение плотности молочной сыворотки в процессе разделительного вымораживания. Построены графики зависимости количества образующегося льда, а также количество выпадаемого в осадок белка в процессе кристаллизации. Исследован фракционный состав белкового осадка, физико-химический состав образующегося льда в процессе кристаллизации. Определены параметры криоконцентрирования для выделения ценных компонентов молочной сыворотки.

Молочная сыворотка, криоконцентрирование, разделительное вымораживание, лактоза, белок.

Введение

Рост населения Земли и повышение его уровня жизни требует постоянного увеличения производства продуктов питания. Однако расширение ресурсной базы для увеличения производства продовольствия в соответствии с требованиями потребителей ограничено. Поэтому насущной потребностью пищевой промышленности в настоящее время является увеличение глубины переработки сырья для увеличения количества и повышения качества пищевой продукции. В России в последние десятилетия сократилось сельскохозяйственное производство, а технологии глубокой переработки пищевого сырья внедряются очень низкими темпами. Дефицит собственного производства компенсируется импортом, который стимулирует зарубежного производителя и развитие импортных технологий, а развитие своего производства и внедрение отечественных инновационных технологий тормозится.

Молочная сыворотка является побочным продуктом производства молочной продукции. В среднем в молочную сыворотку переходит около половины сухих веществ исходного молока, что дает основание использовать термин «полумолоко» (рис. 1) [1, 2, 4].

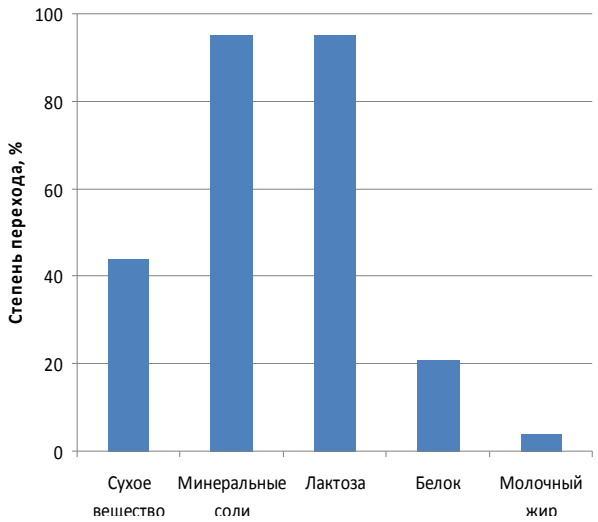

Рис. 1. Степень перехода основных компонентов молока в молочную сыворотку

Из этого следует, что молочная сыворотка может быть источником ценных компонентов при наличии соответствующих технологий их выделения. В развитых странах молочную сыворотку используют в кондитерской, мясной, молочной промышленности, а также парфюмерии и фармакологии путем извлечения из молочной сыворотки белковых компонентов, лактозы, лактулозы и других ценных органических и неорганических веществ. В России большие объемы сыворотки, получаемой в процессе производства молочной продукции, для производителя являются скорее проблемой, чем источником сырья, и, соответственно, источником дохода. Внедрение технологий переработки молочной сыворотки идет достаточно сложно. Технологии эти, как правило, дороги, а своего потребителя в России практически нет, поэтому на молочных предприятиях перерабатывается только небольшая часть сыворотки, основная ее масса в реальном производстве сливается в канализацию. Помимо того, что это очень нерационально с экономической точки зрения, это является также экологически небезопасным процессом. При попадании в канализацию молочной сыворотки выделяются высокотоксичные компоненты, что увеличивает антропогенное воздействие на окружающую среду. Предприятия молочной промышленности вместо того, чтобы извлекать прибыль, несут дополнительные потери, потому как приходится регулярно оплачивать немалые штрафы, которые накладывают органы Госсанэпиднадзора [3].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что разработка и внедрение технологий переработки молочной сыворотки является актуальной проблемой развития отечественной молочной и смежных отраслей промышленности. Из существующих технологий переработки молочной сыворотки, такие как электродиализ, центробежное выделение, мембранные технологии, характеризуются рядом недостатков, ограничивающих их широкое внедрение в производство. Решить данную задачу позволяет использование метода разделительного вымораживания. Сущность этого процесса заключается в том, что в процессе вымораживания раствора на теплообменной поверхности намерзает чистая влага, а молекулы растворенного вещества остаются в незамерзшей части раствора, концентрация которого

повышается. Криоконцентрирование обладает рядом преимуществ по сравнению с другими способами переработки, такими как:

– низкие энергозатраты на осуществление процесса;

– возможность использования естественного холода при низких температурах окружающей среды;

– простота и надежность в работе применяемого технологического оборудования;

– невысокая стоимость технологического оборудования;

– экологическая безопасность технологии и получаемых продуктов разделения;

– процесс осуществляется при низких температурах, что замедляет микробиологическую порчу продукта, а также исключает тепловую денатурацию белков.

Данная работа посвящена разработке режимов криоконцентрирования для молочной сыворотки с целью выделения из нее ценных белковых компонентов.

Материалы и методы

Для реализации поставленной задачи был использован криоконцентратор емкостного типа, конструкция которого представлена на рис. 2.

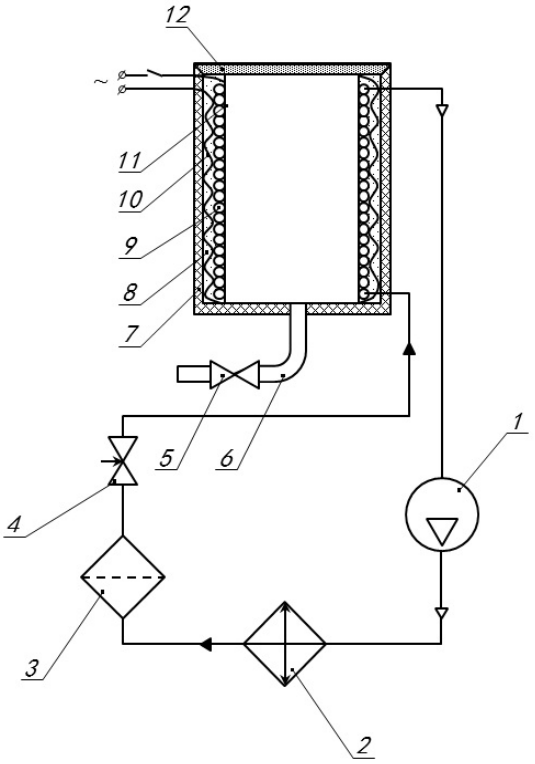

Рис. 2. Схема кристаллизатора емкостного типа:
1 – компрессор, 2 – конденсатор, 3 – фильтр-осушитель, 4 – терморегулирующий вентиль, 5 – вентиль трубопровода слива, 6 – сливной трубопровод, 7 – теплоизоляция, 8 – хладоноситель, 9 – змеевиковый испаритель, 10 – ТЭН, 11 – рабочая емкость, 12 – теплоизоляционная крышка

Установка состоит из рабочей емкости 11 объемом 3,5 л, погруженной в хладоноситель 8 и обнесенной змеевиковым испарителем 9. Емкость 11 имеет теплоизолированную крышку 12 и внешнюю теплоизоляцию 7. Холодильная машина работает по одноступенчатой схеме. Пары хладагента из испарителя 9 отсасываются компрессором 1, сжимаются и нагнетаются в конденсатор 2. Сконденсировавшийся хладагент через фильтр-осушитель 3 и терморегулирующий вентиль 4 направляется обратно в испаритель 9. Для оттаивания образующегося на стенках льда предусмотрены ТЭНы 10. Слив концентрата осуществляется через трубопровод 6 путем открытия вентиля 5.

Объектом исследования послужила творожная молочная сыворотка, характеризующаяся содержанием влаги 92,4–94,8 % и плотностью 1028 г/см^3.

Содержание общего белка определяли на анализаторе белкового азота Rapid N Cube по методу Дюма.

Фракционный состав белка определяли с использованием электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии и в отсутствии додецилсульфата натрия на стандартном оборудовании (камера для вертикального электрофореза Mini Protean).

Плотность концентрата определяли набором погружных ареометров.

Результаты и их обсуждение

В ходе экспериментов определялось количество вымороженной влаги в ходе кристаллизации при температуре хладоносителя –2, –4 и –6 °С. Вымораживание при более низкой температуре нецелесообразно вследствие значительного повышения энергозатрат. Результаты представлены на рис. 3.

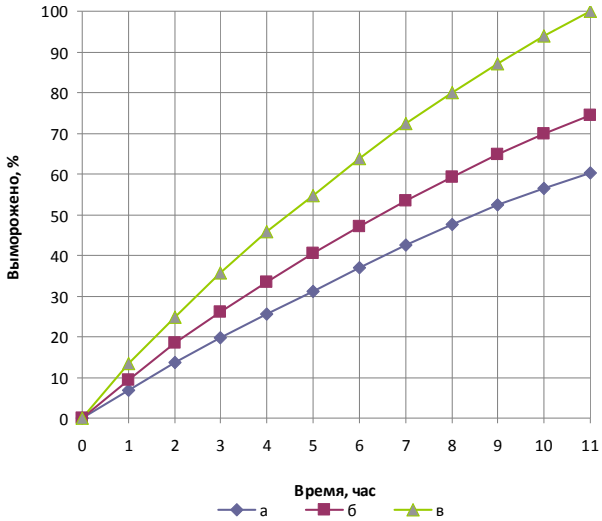

Рис. 3. Зависимость величины образовавшегося льда в процессе разделительного вымораживания молочной сыворотки при температуре хладоносителя – 2 °С (а), –4 °С (б) и –6 °С (в)

Установлено, что чем ниже температура хладоносителя, тем быстрее протекает процесс кристаллизации – через 11 часов при температуре хладоносителя –6 °С была выморожена вся влага в молочной сыворотке, тогда как при температурах –4 °С и –2 °С через 11 часов криоконцентрирования было выморожено 74,4 и 60,2 % влаги соответственно.

По полученным данным была рассчитана скорость льдообразования по следующей формуле

$$v = \frac{V_i - V_{i+1}}{\tau}, \qquad (1)$$

где v – скорость льдообразования, %/ч; V_i и V_{i+1} – количество вымороженного льда в i-й час времени; τ – время вымораживания между замерами V_i и V_{i+1}.

Результаты расчета отражены на рис. 4.

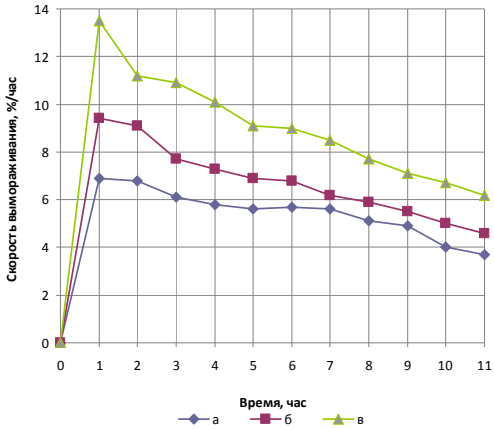

Рис. 4. Скорость льдообразования в процессе криоконцентрирования молочной сыворотки при температуре хладоносителя – 2 °С (а), –4 °С (б) и –6 °С (в)

Из графика на рис. 4 следует, что наибольшая скорость льдообразования наблюдается в первый час кристаллизации и составляет 6,9; 9,4 и 13,5 %/ч соответственно при температурах хладоносителя –2, –4 и –6 °С. На протяжении всего процесса разделительного вымораживания скорость образования льда снижается и через 11 часов после начала эксперимента составляет 3,7–6,2 %/ч. Стоит отметить, что колебания графиков на рис. 4 вызваны возможными погрешностями при измерении количества образованного льда.

В ходе экспериментов устанавливалось также изменение плотности молочной сыворотки в процессе разделительного вымораживания (рис. 5).

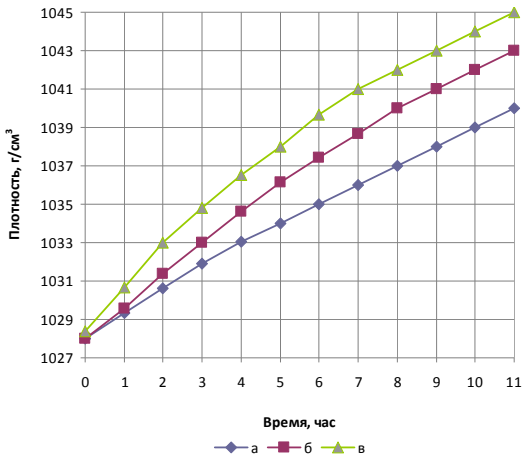

Рис. 5. Зависимость плотности молочной сыворотки от продолжительности криоконцентрирования при температуре хладоносителя –2 °С (а), –4 °С (б) и –6 °С (в)

Исходная сыворотка характеризовалась плотностью 1028,0–1028,5 г/см^3. В ходе кристаллизации через 11 часов плотность концентрата составляла 1040 г/см^3 при температуре хладоносителя –2 °С. В случае, когда вымораживание осуществлялось при температурах –4 °С и –6 °С, плотность сконцентрированной сыворотки повышалась до 1043 и 1045 г/см^3 соответственно. Было также установлено, что наибольшая скорость концентрирования наблюдается в первые часы кристаллизации, с увеличением продолжительности процесса данная характеристика снижается.

В ходе экспериментальных исследований было обнаружено, что если задавать волнообразный характер изменения температуры в пределах –5,5…–6,5 °С, то на дне рабочей емкости выпадает белковый осадок [4]. Это объясняется тем, что если температура хладоносителя стабильна, то в разделяемом продукте образуется стационарное поле температур и, соответственно, стационарный температурный градиент, который является движущей силой процесса разделения: молекулы воды перемещаются к поверхности, на которой происходит льдообразование, а растворенные компоненты выталкиваются в центральную часть емкости, где находится незамерзший раствор. Если задать определенный волнообразный характер изменения температуры хладоносителя, то в разделяемом продукте возникает нестационарное поле температур, и величина температурного градиента или даже его направление меняется по заданному закону. В этом случае на теплообменной поверхности происходит намерзание льда, а растворенные коллоидные компоненты, к которым относятся сывороточные белки, поскольку отсутствует устоявшийся режим движения белковых мицелл, коагулируют и выпадают из раствора.

Количество выпавшего белкового осадка от общей исходной массы молочной сыворотки в зависимости от скорости изменения температуры (–5,5…–6,5 °С), представлено на рис. 6.

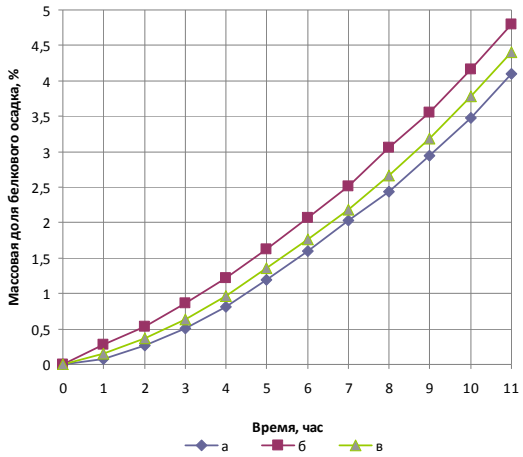

Рис. 6. Количество выпадающего белкового осадка в процессе криоконцентрирования молочной сыворотки при периоде изменения температуры в 10 (а), 30 (б) и 60 (в) минут

Установлено, что с увеличением продолжительности криоконцентрирования молочной сыворотки количество выпадающего белка повышалось. В случае, когда период волнообразного изменения температуры составлял 10 минут, количество белкового осадка через 11 часов процесса составляло 4,4 % от исходной массы сыворотки. Повышение периода изменения температуры до 30 минут влекло за собой увеличение доли белкового осадка до 4,8 %. Дальнейшее повышение периода до 60 минут характеризовалось снижением данного показателя до 4,4 %. Таким образом, наиболее эффективное выпадение белка в молочной сыворотке наблюдается в том случае, когда период волнообразного изменения температуры хладоносителя составляет 30 минут.

Для определения белковых составляющих выпадаемого осадка был проведен электрофорез в полиакриламидном геле, который позволил выявить несколько фракций белков (рис. 7).

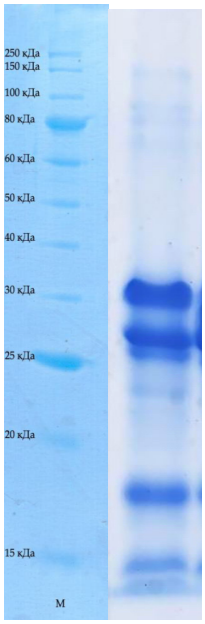

Рис. 7. Результаты электрофореза выпадающего сывороточного белка

Содержание фракций в белковом осадке по результатам электрофореза представлено в табл. 1.

Таблица 1

Фракции белкового осадка

Номер полосы	Молекулярная масса, кДа	Содержание, %
1	32,4	52,5
2	27,1	24,8
3	26,3	4,3
4	23,8	1,5
5	18,4	10,9
6	15,1	3,2
7	12,7	2,8

В выпадаемом осадке было обнаружено семь фракций белка с различной молекулярной массой. Высокомолекулярные фракции (26,3–32,4 кДа) соответствуют казеину, содержание которого составляло 81,6 %. Белки с молекулярными массами 18,4 кДа и 12,7–15,0 кДа соответствуют β-лактоглобулину и α-лактоальбумину, содержание которых от общего белка составляло 10,9 и 6,0 % соответственно.

В предлагаемой технологии имеется возможность выделять не только белковый компонент, но также водный раствор лактозы, который намораживается на стенках льда при вышеуказанном режиме разделительного вымораживания. В табл. 2 приведены результаты анализа льда, образующегося на стенках теплообменной поверхности при вымораживании 90 % молочной сыворотки.

Таблица 2

Физико-химический состав льда, образующегося при криоконцентрировании молочной сыворотки

Показатель	Содержание, %
Массовая доля влаги	48,1
Массовая доля сухих веществ	51,9
Содержание белка	3,4
Содержание лактозы	45,4

Из результатов анализа следует, что при криоконцентрировании молочной сыворотки во фронте образующегося льда происходило схватывание молекул лактозы, массовая доля которой от сухих веществ составила 87 %. Содержание белка от сухих веществ составило лишь 6,5 %.

Выводы

Таким образом, в ходе проведенной работы было установлено, что концертировать молочную сыворотку методом разделительного вымораживания целесообразно при температуре хладоносителя –6 °С в течение 10 часов, что позволяет получить концентрат молочной сыворотки, плотностью 1044 г/см^3 и водный раствор лактозы в виде кристаллизованной фазы в количестве 90 % от исходной массы сыворотки. При этом можно также задавать волнообразный характер изменения температуры хладоносителя в пределах –5,5…–6,5 °С с периодом вариации в 30 минут, что обеспечивает выпадение белкового осадка в количестве 4,2 % от исходной массы сыворотки. Разработанная технология разделительного вымораживания может найти широкое применение на предприятиях молочной промышленности.

Список литературы

1. Храмцов, А.Г. Феномен молочной сыворотки / А.Г. Храмцов. – СПб.: Профессия, 2011. – 804 с.
2. Оноприйко, А.В. Технология молочных продуктов мини-производств / В.А. Оноприйко, А.Г. Храмцов, В.А. Оноприйко. – Ростов н/Д: Март, 2004. – 411 с.
3. Свириденко, Ю.Я. Экологические и экономические аспекты переработки молочной сыворотки / Ю.Я. Свириденко, Э.Ф. Кравченко, О.Я. Яковлева // Сыроделие и маслоделие. –2006. – № 5. – С. 40–41.
4. Короткий, И.А. Исследование работы емкостного кристаллизатора для разделительного вымораживания жидких пищевых продуктов / И.А. Короткий, Д.Е. Федоров, Н.А. Тризно // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 4 (27). – С. 106–110.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел/факс: (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

I.A. Korotky, P.A. Gunko, T.Z. Valiahmedov

RESEARCH ON PROTEINS AND LACTOSE ISOLATION FROM WHEY

The article deals with the study of proteins and lactose isolation from whey using the method of separating freezing out. Experiments on the separating freezing out of whey are done at temperatures from -2°C to -6°C. The change of whey density in the course of freezing out is investigated. The diagrams of quantity dependence of the ice formed, and also the amount of the protein deposit formed in the course of crystallization is constructed. The fractional structure of the protein deposit has been studied. The physical and chemical structure of the ice formed in the course of crystallization has been investigated. Rational parameters of cryoconcentration for isolation of valuable whey components have been determined.

Whey, cryoconcentration, separating freezing out, lactose, protein.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology,
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7(3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

Дата поступления: 17.12.2013