УДК 637.03

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ РАСТВОРОВ СУХОЙ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ, ВОССТАНОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ

Research of Dry Milk Whey Dispersity Reconstructed
by the Cavitation Disintegration Method

Храмцов А.Г., Брацихин А.А., Костенко К.В., Лещенко Е.Г.
Khramtsov A.G., Bratsikhin A.A., Kostenko K.V., Leshchenko E.G.

Ключевые слова:

молочная сыворотка;
кавитационная
дизинтеграция;
восстановление;
гидродинамический
радиус частиц;
мелкодисперсная
эмульсия

Реферат

В настоящее время Российская Федерация является одной из крупнейших в мире стран – производителей молока и молочной продукции. Однако сформировавшиеся экономические и внешнеполитические условия, в которых функционирует отечественный молочный рынок, приводят к ускоренному развитию негативных для молочной отрасли тенденций, например таких, как дефицит молочного сырья. Данная проблема может быть решена за счет более широкого использования сухой и/или восстановленной молочной сыворотки в качестве источника белка и углеводов в составе пищевых продуктов. Одна из актуальных задач, которые предстоит решать отрасли – совершенствование процессов восстановления сухих молочных продуктов, в том числе сухой молочной сыворотки (СМС), с целью получения стабильных систем, свойства которых будут соответствовать свойствам нативной сыворотки. К перспективным направлениям восстановления и гомогенизации пищевых систем ученые относят метод кавитационной дезинтеграции (КД). В статье представлены результаты исследования размеров частиц СМС при ее восстановлении кавитационной обработкой. Разработана математическая модель в виде уравнения регрессии, адекватно описывающая влияние режимов КД-обработки на формирование размеров частиц сухой молочной сыворотки. Результаты экспериментальных исследований показали, что при росте продолжительности и интенсивности кавитационного воздействия средний гидродинамический радиус частиц СМС в восстановленной сыворотке уменьшается. Минимальная величина гидродинамического радиуса частиц СМС формируется при обработке с максимальной интенсивностью воздействия. Согласно полученным данным использование КД-обработки благоприятно влияет на получение однородной мелкодисперсной гомогенной системы за счет интенсивного диспергирования сухих частиц.

Keywords:

milk whey;
cavitation disintegration;
restoration;
hydrodynamic
radius of particles;
fine emulsion

Abstract

Currently, the Russian Federation is one of the world's largest countries – producers of milk and dairy products. However, the formed economic and foreign policy conditions in which the domestic dairy market operates, lead to the accelerated development of negative trends for the dairy industry, such as the raw milk shortage. The solution of the problem can be the wider use of dry and/or reduced whey as a source of protein and carbohydrates in food. One of the urgent tasks to be solved by the industry is to improve the recovery processes of dry dairy products, including whey powder (WP), in order

to obtain stable systems, which properties will correspond to the properties of native whey. Scientists include the method of cavitation disintegration (CD) to promising areas of food systems recovery and homogenization. The article presents the study results of the particle size of WP during its recovery by cavitation treatment. Authors developed the mathematical model in the form of a regression equation that adequately described the effect of CD-processing modes on the formation of dry whey particles. The results of experimental studies have shown that the average hydrodynamic radius of WP particles in the reduced serum decreases with increasing cavitation duration and intensity. The minimum value of the hydrodynamic radius of the WP particles is formed during processing with the maximum exposure intensity. According to the obtained data, the use of CD-processing has a positive effect on obtaining smooth, micronized, homogeneous system due to intensive dispersion of dry particles.

Введение

В настоящее время предприятия молочной отрасли пищевой индустрии Российской Федерации получают значительные объемы вторичной молочной продукции, при этом основным видом переработки является сушка. Например, на производство сухой молочной сыворотки (СМС) приходится 60 % всех видов ее переработки. Сушка вторичной молочной продукции позволяет увеличить сроки ее реализации до одного года и снизить издержки, связанные с хранением и переработкой. Следует отметить, что в процессе применения сухих молочных продуктов возникает обратная задача – их восстановления с целью дальнейшего использования после консервации. Современные предприятия пищевой промышленности могут использовать сухое вторичное молочное сырье и его восстановленные формы для производства широкой номенклатуры пищевых продуктов, что, в свою очередь, позволит отечественной молочной промышленности частично решить проблему дефицита молочного сырья. Однако возникают новые проблемы, связанные со стабильностью восстановленного сырья, а также вызванные его несоответствием требуемым свойствам продукции, для которой планируется его использовать [3; 5].

Особый интерес в научных кругах вызывает исследование методов восстановления сухих молочных продуктов, обеспечивающих свойства восстановленных продуктов, сопоставимые с натуральными. Одним из таких методов признан метод ультразвуковой кавитации.

Цель исследования

Высокочастотные акустические методы воздействия получили в последнее время широкое распространение на предприятиях молочной промышленности в связи с протекающими процессами дезинтеграции, кавитации и сонолиза (кавитолиза). Ультразвуковую кавитацию применяют для гомогенизации, холодной пастеризации, создания мелкодисперсных эмульсий.

В печати появились работы, раскрывающие специфику ультразвуковой обработки воды, используемой в дальнейшем для восстановления сухих молочных продуктов [6–8].

Основным критерием качества данных процессов признана возможность перехода белковой составляющей сухой молочной сыворотки в стабильное эмульсионно-коллоидное состояние посредством ее гидратации. Применение КД-обработки способно интенсифицировать процесс путем уменьшения размеров частиц и увеличения реакционной способности белковых фракций.

С учетом вышеизложенного целью исследования является установление оптимальных режимов кавитационного воздействия, приводящих к минимизации размеров частиц и интенсифицирующих процесс гидратации белков молочной сыворотки с одновременной гомогенизацией раствора.

Объекты и методы исследования

Основные объекты исследования – растворы сухой молочной сыворотки со степенью деминерализации 50 % (ТУ 9229-001-82062396-2012). Для приготовления растворов использовалась питьевая вода с $pH = 6,8 \pm 0,2$.

Для выявления механизма восстановления сухой молочной сыворотки методом КД-обработки при различных режимах и для изучения их влияния на частицы СМС применена методика определения размеров частиц сухой молочной сыворотки в растворах на спектрометре динамического рассеяния света «PhotocorComplex»¹, позволяющем измерять размеры частиц, и на этой основе рассчитываются коэффициенты диффузии. Принцип его работы заключается в использовании метода динамического рассеяния света для установления коэффициента диффузии дисперсных частиц в жидкой среде посредством

¹Спектрометр динамического и статического рассеяния света PhotocorComplex URL: <http://www.photocor.ru/dls-instrument>.

анализа корреляционной функции флуктуаций интенсивности света без определения количества частиц¹. После определения коэффициента диффузии рассчитывается радиус частиц [1].

В процессе планирования и организации исследования применена методика трехфакторного эксперимента на основе греко-латинских квадратов. Полученные данные были обработаны путем построения нейросетевой модели с использованием программного продукта StatisticaNeuralNetworks.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе изучения изменения размеров частиц сухой молочной сыворотки при ее восстановлении методом КД-обработки варьировались технологические параметры – интенсивность и продолжительность воздействия. Концентрация сухих веществ в изучаемом растворе СМС имела постоянную величину – 15 % [2].

¹Измерение размеров частиц в малопрозрачных дисперсных средах. URL: <http://www.photocor.ru/opaque-dispersions>.

Для исследования использовались образцы, приготовленные путем восстановления сухой молочной сыворотки (концентрация – 15 %) методом КД-обработки при изменении интенсивности от 20 до 100 % и продолжительности от 10 до 90 с [2].

По экспериментальным данным была получена нейросетевая модель в виде двухслойного персептрона (рис. 1).

Полученная математическая модель в виде уравнения регрессии адекватно описывает влияние режимов КД-обработки на формирование размеров частиц СМС. При этом уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$R_{cp} = 47,954 - 0,264 \times A - 0,4998 \times \tau + 0,0011 A^2 - 0,0004 \times A \times \tau + 0,004 \times A \times \tau.$$

Графическая интерпретация уравнения представлена в виде поверхности отклика и изолиний ее сечений на рис. 2.

Рис. 1. Двухслойный персептрон нейронной сети:

τ – время обработки, с; A – интенсивность ультразвукового воздействия; R_{cp} – средний гидродинамический радиус

а) поверхность отклика

б) изолинии сечения поверхности

Рис. 2. Зависимость среднего гидродинамического радиуса частиц от режимов КД-обработки:

R_{cp} – средний гидродинамический радиус, нм; A – интенсивность ультразвукового воздействия, %; τ – время обработки, с

Результаты анализа поверхности отклика показали, что при увеличении продолжительности и интенсивности кавитационного воздействия средний гидродинамический радиус частиц СМС в восстановленной сыворотке уменьшается в 1,5–2 раза.

Наименьшая величина гидродинамического радиуса частиц сухой молочной сыворотки формируется при интенсивности обработки от 85 до 100 % и продолжительности от 50 до 85 с.

Полученные данные позволяют предположить, что использование КД-обработки высокой интенсивности (85–100 %) в течение 50–85 с обеспечивает образование однородной мелкодисперсной гомогенной системы за счет более интенсивного диспергирования компонентов и их эффективного растворения.

Заключение

Результаты исследования подтверждают гипотезу, согласно которой под действием ультразвуковой кавитации с поверхности частицы СМС в первую очередь будут выщелачиваться лактоза и минеральные вещества, что способствует вытеснению воздуха и обеспечивает доступ растворителя к ядру частицы, сформированному сывороточными белками. Аналогичный механизм описан [4] при восстановлении сухого молока в питьевой воде при ультразвуковой обработке. Поскольку содержание лактозы и минеральных веществ в сухой молочной сыворотке значительно выше, чем в сухом молоке, то для начала интенсивного растворения СМС необходимо более продолжительное выщелачивание лактозы и минеральных веществ с поверхности частицы путем КД-обработки.

Библиографический список

1. Базиков И.А., Омелянчук П.А., Хатков Э.М. Изучение нанокapsул кремнийорганической природы, используемых для трансдермальной доставки активных субстанций // Вестник Российской академии естественных наук. 2012. № 1. С. 81–83.
2. Костенко К.В., Брачихин А.А., Салманова Д.А., Лещенко Е.Г. Оптимизация процесса восстановления молочной сыворотки методом кавитационной дезинтеграции // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2015. № 5 (50). С. 7–13.
3. Липатов Н.Н., ст. Восстановленное молоко (теория и практика производства восстановленных молочных продуктов). М.: Агропромиздат, 1985. 256 с.
4. Попова Н.В. Обеспечение качества восстановленных продуктов переработки молока и интенсификация их производства на основе ультразвукового воздействия: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2014. 168 с.
5. Храмов А.Г. Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2011. 804 с.
6. Шестаков С.Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции. М.: Изд-во «ЕВА-пресс», 2001. 173 с.
7. Ashokkumar M., Bhaskaracharya R., Kentish S., Lee J., Palmer M. The ultrasonic processing of dairy products // An overview. Dairy science & technology. 2010. 90 p.
8. Burrington Kimberlee (K.J.). Whey protein heat stability // U.S. Dairy Export Council. 2012. 8 p.

Bibliography

1. Bazikov I.A., Omel'janchuk P.A., Hatkov Je.M. Izuchenie nanokapsul kremnijorganicheskoy prirody, ispol'zuemyh dlja transdermal'noj dostavki aktivnyh substancij // Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. 2012. № 1. S. 81–83.
2. Kostenko K.V., Brachihin A.A., Salmanova D.A., Leshchenko E.G. Optimizacija processa vosstanovlenija molochnoj syvorotki metodom kavitacionnoj dezintegracii // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. 2015. № 5 (50). S. 7–13.
3. Lipatov N.N., st. Vosstanovlennoe moloko (teorija i praktika proizvodstva vosstanovlennyh molochnyh produktov). M.: Agropromizdat, 1985. 256 s.
4. Popova N.V. Obespechenie kachestva vosstanovlennyh produktov pererabotki moloka i intensifikacija ih proizvodstva na osnove ul'trazvukovogo vozdejstvija: dis. ... kand. tehn. nauk. Cheljabinsk, 2014. 168 s.
5. Hramcov A.G. Fenomen molochnoj syvorotki. SPb.: Professija, 2011. 804 s.
6. Shestakov S.D. Osnovy tehnologii kavitacionnoj dezintegracii. M.: Izd-vo «EVA-press», 2001. 173 s.
7. Ashokkumar M., Bhaskaracharya R., Kentish S., Lee J., Palmer M. The ultrasonic processing of dairy products // An overview. Dairy science & technology. 2010. 90 p.
8. Burrington Kimberlee (K.J.). Whey protein heat stability // U.S. Dairy Export Council. 2012. 8 p.

**Храмцов
Андрей Георгиевич**

Khramtsov
Andrey Georgievich

Тел./Phone: (8652) 23-58-32
E-mail: akhramtcov@ncfu.ru

Академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор, профессор-консультант Северо-Кавказский федеральный университет 355009, РФ, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Laureate of the RF Government Prize, Doctor of Technical Science, Professor, Visiting Professor North Caucasian Federal University 355009, Russia, Stavropol, Pushkina St., 1

**Брацихин
Андрей Александрович**

Bratsikhin
Andrey Aleksandrovich

Тел./Phone: (8652) 95-68-08
E-mail: a_bracihin@mail.ru

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой пищевых технологий и инжиниринга

Северо-Кавказский федеральный университет 355009, РФ, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Doctor of Technical Science, Associate Professor, Head of the Food Technology and Engineering Department North Caucasian Federal University 355009, Russia, Stavropol, Pushkina St., 1

**Костенко
Константин Васильевич**

Kostenko
Konstantin Vasilievich

Тел./Phone: (8652) 94-41-40
E-mail: kvkostenko@ncfu.ru

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования Северо-Кавказский федеральный университет 355009, РФ, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Candidate of Technical Science, Senior Lecturer of the Machinery Engineering and Technological Equipment Department North Caucasian Federal University 355009, Russia, Stavropol, Pushkina St., 1

**Лещенко
Елена Геннадьевна**

Leshchenko
Elena Gennadyevna

Тел./Phone: (8652) 95-68-08
E-mail: lena_leshenkoo@mail.ru

Магистрант кафедры пищевых технологий и инжиниринга Северо-Кавказский федеральный университет 355009, РФ, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Master's Degree Student of the Food Technology and Engineering Department North Caucasian Federal University 355009, Russia, Stavropol, Pushkina St., 1