

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КАВИТАЦИЯ КАК ФАКТОР ГОМОГЕНИЗАЦИИ ВОССТАНОВЛЕННОГО МОЛОКА-СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

Н.В. Попова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Молочные продукты, являясь продуктами повседневного спроса, должны обладать определенными потребительскими свойствами и требуемым уровнем качества. Компонентный состав молока характеризуется различной степенью дисперсности, которая влияет на потребительские свойства и вкусовые характеристики молочных продуктов, а также степень их усвояемости. Потребительские свойства молочных продуктов зависят как от сырьевого состава молока, так и от технологии их производства. Для повышения дисперсности компонентного состава, что позволяет исключить отстаивание жира во время хранения молока, развитие окислительных процессов, дестабилизацию и подсыживание при интенсивном перемешивании и транспортировании, осуществляется процесс гомогенизации молока. При производстве продуктов на основе восстановленного молока-сырья гомогенизация способствует созданию наполненности вкуса продукта и предупреждению появления водянистого привкуса. Эффект ультразвуковой обработки – кавитация – за счет возникновения импульсов сжатия и микропотоков от движения в различных направлениях, схлопывания, слияния друг с другом пульсирующих пузырьков – способствует разрушению находящихся в жидкости твердых тел и ускоряет различные физические и химические процессы. Внедрение ультразвуковой обработки в процесс восстановления сухого молока показало ее выраженное влияние на активацию процесса восстановления с гомогенизацией состава частиц по размерным признакам, что позволяет отказаться от отдельного этапа гомогенизации. Серией опытов установлено, что обработка механической смеси сухого молока и воды при восстановлении имеет более выраженную тенденцию в положительную сторону, когда размер частиц уменьшается в среднем до (202 ± 30) нм. Увеличение времени обработки увеличивает степень дисперсности и гомогенизирует состав восстановленного молока-сырья. В дальнейшем это отражается и на органолептических характеристиках молочного напитка: ультразвуковое воздействие улучшает органолептические показатели, и в большей степени вкус и запах.

Ключевые слова: кавитация, дисперсный состав, восстановленное молоко-сырье, молочный напиток, сухое молоко, гомогенизация.

Молоко и молочные продукты занимают важное место в рационах питания человека, и уровень их качества регламентируется перечнем нормативных документов. Качество молочных продуктов определяется как сырьем, так и условиями осуществления технологических процессов их производства. При выработке молочных продуктов на основе сухого молока – помимо строгого контроля за этапом его восстановления – немаловажно следить и за другими этапами технологического цикла, в частности этапом гомогенизации.

Гомогенизация – это способ механической обработки молока и жидких молочных продуктов. Служит для повышения дисперсности компонентного состава, что позволяет исключить отстаивание жира во время хранения молока, развитие окислительных процессов, дестабилизацию и подсыживание при интенсивном

перемешивании и транспортировании. При производстве продуктов на основе восстановленного молока-сырья гомогенизация способствует созданию наполненности вкуса продукта и предупреждению появления водянистого привкуса.

Известно, что молоко является сложной полидисперсной системой: белок содержится в виде коллоидных частиц, размер которых составляет от 15 до 300 нм, жировая фаза представлена в виде грубодисперсных частиц различной величины (диаметр жировых шариков от 0,5 до 10 мкм). Другие составные части молока находятся в ионно-молекулярном состоянии с размерами частиц около 1 нм и менее. Водные растворы одних веществ являются дисперсионной средой для других [1–3]. При установлении тесной взаимосвязи между фазами формируется единая равновесная система мо-

лока, разрушение которой может быть вызвано любыми изменениями в содержании и состоянии составных частей молока [4–8], и это является неблагоприятным фактором. Равновесное состояние компонентов молока в системе характеризует его хорошую усвояемость.

Ультразвуковая обработка способствует возникновению в жидкой среде эффекта кавитации – импульсов сжатия и микропотоков от движения в различных направлениях, схлопывания и слияния друг с другом возникающих в жидкости массы пульсирующих пузырьков. В результате указанных эффектов происходит разрушение находящихся в жидкости твердых тел (кавитационная эрозия), жидкость перемешивается, инициируются или ускоряются различные физические и химические процессы. Степень и глубина кавитационных процессов определяются условиями ультразвукового воздействия [9–11].

Следовательно, можно предположить возможное влияние ультразвуковой кавитации на стабилизацию компонентного состава молочной среды при ультразвуковом воздействии на нее. Что, в свою очередь, позволяет отказаться от отдельного этапа гомогенизации при производстве молочных продуктов

Это подтверждают проведенные нами исследования.

Ультразвуковая обработка внедрялась на различных этапах восстановления сухого молока:

- 1) до внесения сухого молока (только воды);
- 2) после внесения сухого молока (совместная обработка воды и сухого молока).

Результаты представлены на рис. 1–4.

Сравнительный анализ данных по дисперсному составу образцов восстановленного молока-сырья свидетельствует о влиянии ультразвука на активацию процесса восстановления с гомогенизацией состава частиц по размерным признакам. С увеличением длительности обработки диаметр частиц снижается (рис. 5).

Все образцы характеризуются двухфазным составом частиц, относящихся к различным размерным рядам, что свидетельствует о гетерогенности структуры восстановленного молока-сырья. Это влияет как на степень усвояемости молочного продукта, так и на пригодность его для сквашивания при дальнейшем использовании в качестве сырьевого компонента кисломолочной продукции. Обработка воды ультразвуковым воздействием

снижает диаметр частиц молока и в целом гомогенизирует состав по размерным признакам, положительное воздействие ультразвуковой кавитации на систему молока-сырья прослеживается уже с первой минуты обработки и в дальнейшем во взаимосвязи с увеличением временем обработки. В контрольном образце треть состава (32,5 %) приходится на крупные частицы диаметром в среднем 507,0 нм; 67,5 % состава представлено частицами размером 176,1 нм, что характеризует большие колебания по диаметру частиц. Обработка в течение одной минуты приводит к изменению размерных фаз частиц в среднем на 10,7 – 15,9 %, 3 минуты – на 19,3 %, 5 минут – на 23,8 – 30,6 %, что в целом характеризует способность обработанной воды активизировать процессы растворения агломератов сухого молока.

Согласно данным рисунков третьей серии образцов, обработка на этапе механического смешивания компонентов [сухое молоко + вода] оказывает большее гомогенизирующее воздействие на дисперсный состав с выравниваем размерных характеристик частиц молока-сырья, причем степень воздействия определяется временем (рис. 6–8).

Также отмечено, что обработка в одну минуту снижает средние пофазные размеры частиц на 42,3 и 53,1 %, 3 и 5 минут выравнивают структуру молока-сырья до частиц одного размерного ряда (см. рис. 8), что в последствии может оказывать влияние на усвояемость вырабатываемого молочного продукта.

Сопоставляя данные, полученные при одинаковой длительности обработки (3 минуты) на разных этапах технологического цикла, можно в качестве приоритетной выделить совместную обработку механической смеси [сухое молоко + вода] на этапе восстановления (рис. 9).

Кавитационное воздействие усиливается механическим и способствует формированию однородной структуры с уменьшением размеров частиц: 202,2...243,10 нм. Данные рис. 10 конкретизируют полученные результаты в размерных рядах.

Таким образом, серией опытов установлено, что обработка механической смеси [сухое молоко + вода] при восстановлении имеет более выраженную тенденцию в положительную сторону, когда размер частиц уменьшается в среднем до (202 ± 30) нм. Увеличение времени обработки увеличивает степень дисперсности и гомогенизирует состав восстановленного молока-сырья.

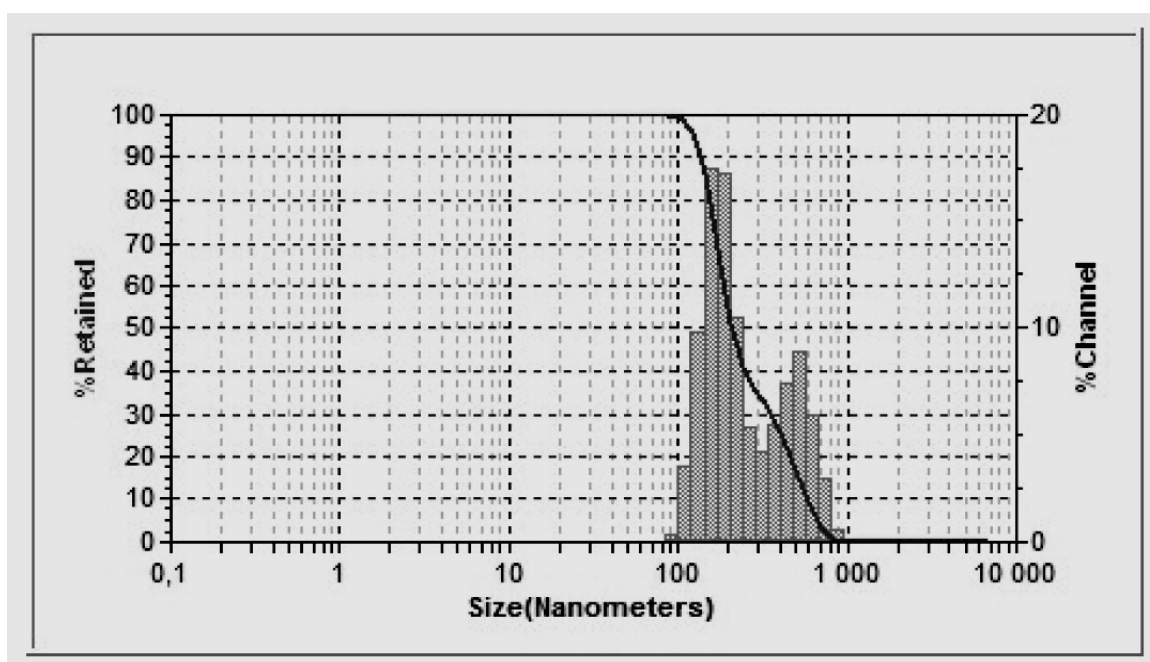


Рис. 1. Кривая распределения частиц дисперсной системы восстановленного молока-сырья, полученного по традиционной технологии (контроль)

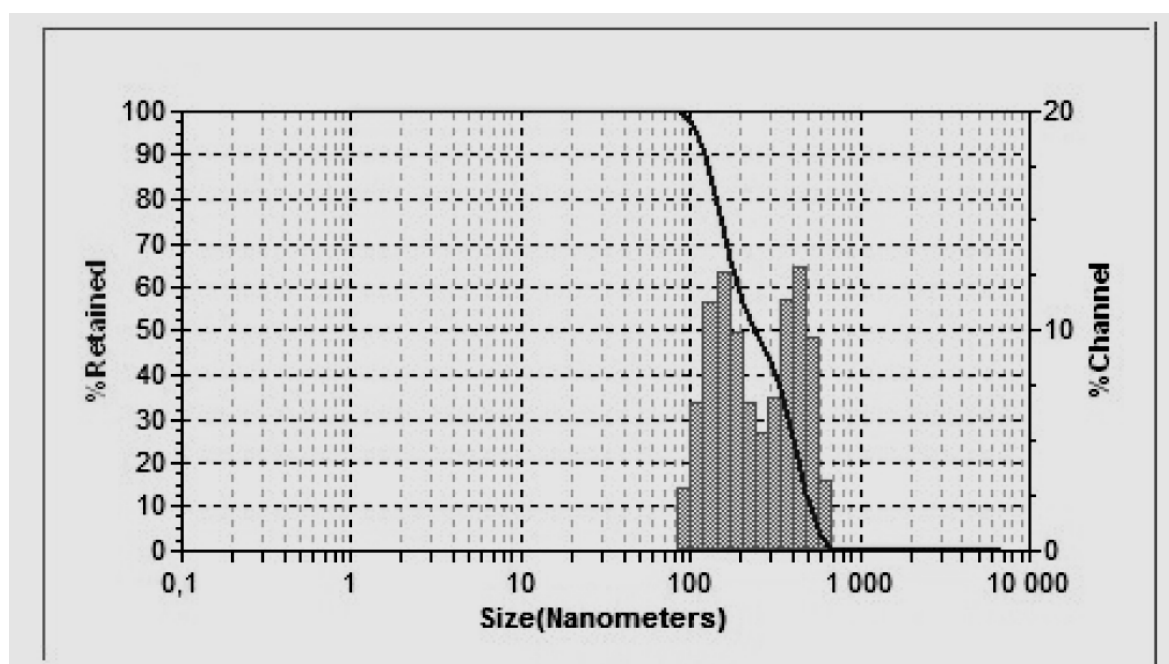


Рис. 2. Кривая распределения частиц дисперсной системы молока-сырья, восстановленного водой УЗ (1 мин воздействия)

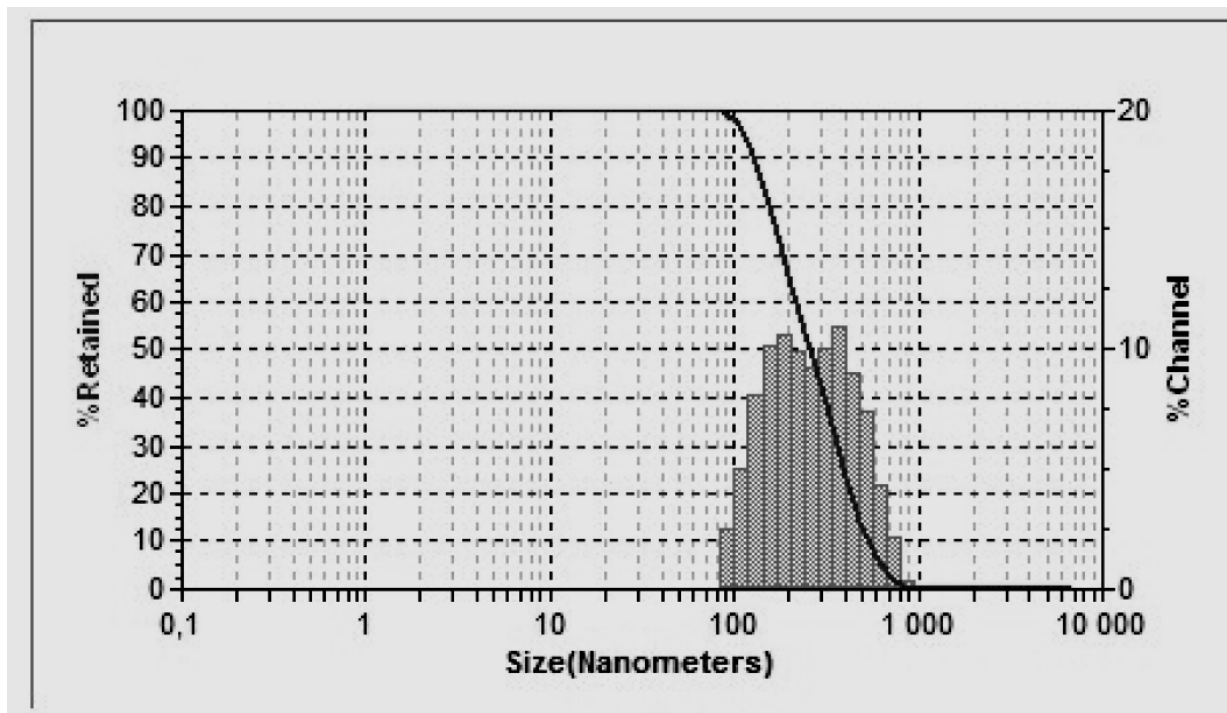


Рис. 3. Кривая распределения частиц дисперсной системы молока-сырья, восстановленного водой УЗ (3 мин воздействия)

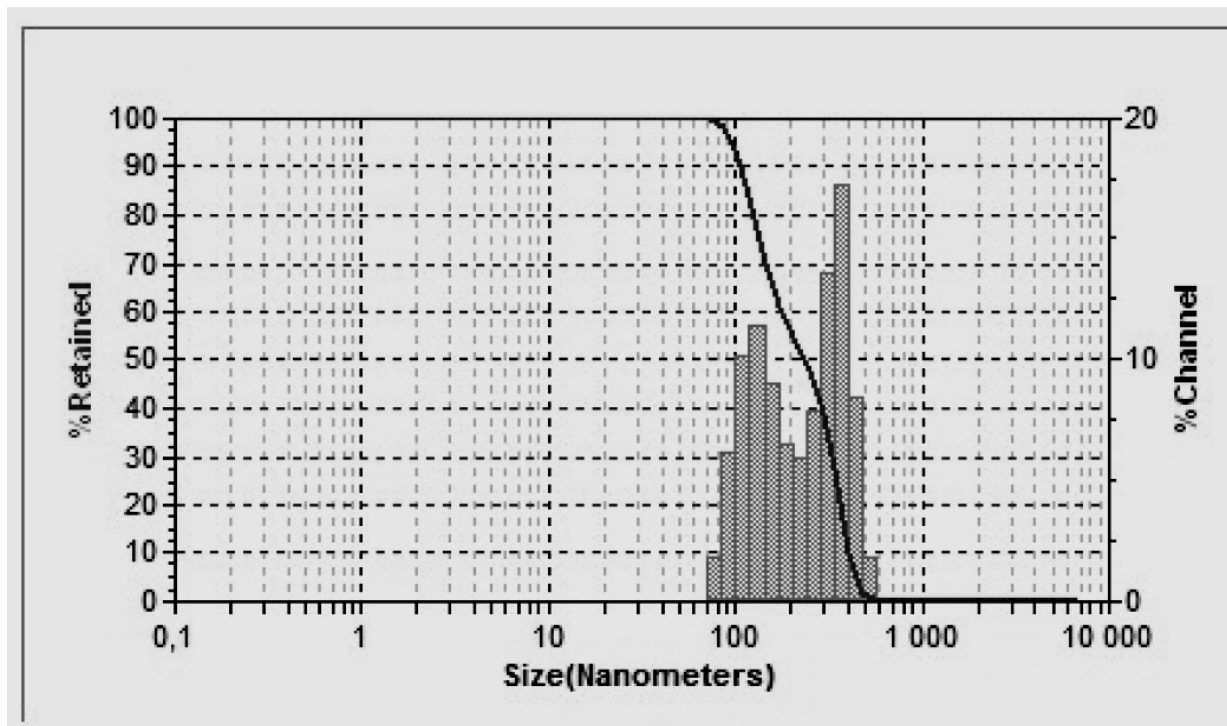


Рис. 4. Кривая распределения частиц дисперсной системы молока-сырья, восстановленного водой УЗ (5 мин воздействия)

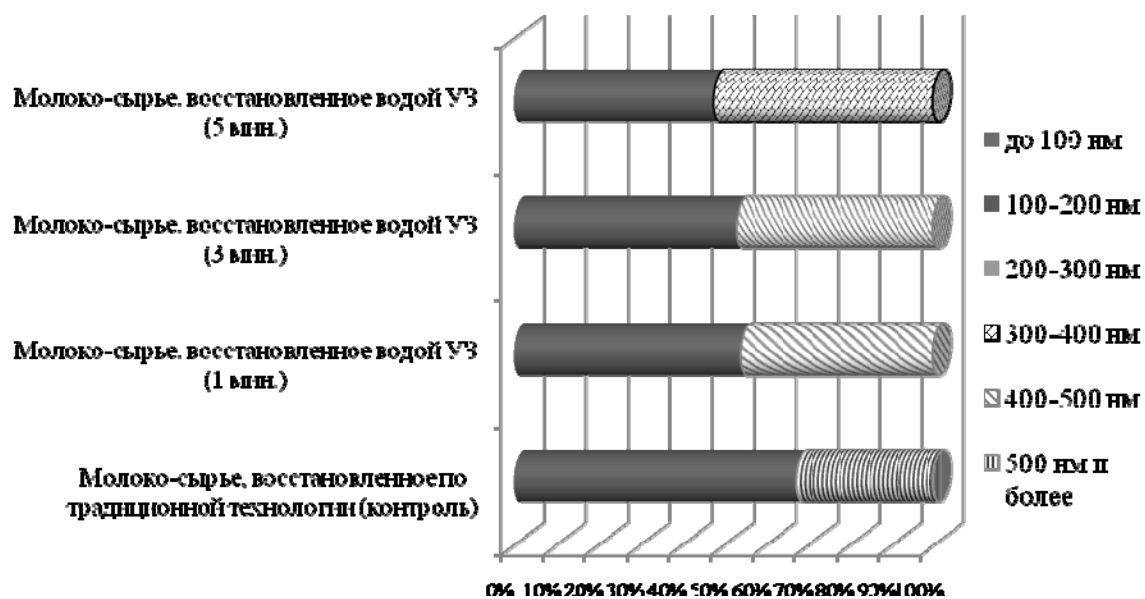


Рис. 5. Долевое соотношение размерных фракций в образцах восстановленного молока-сырья, нм%

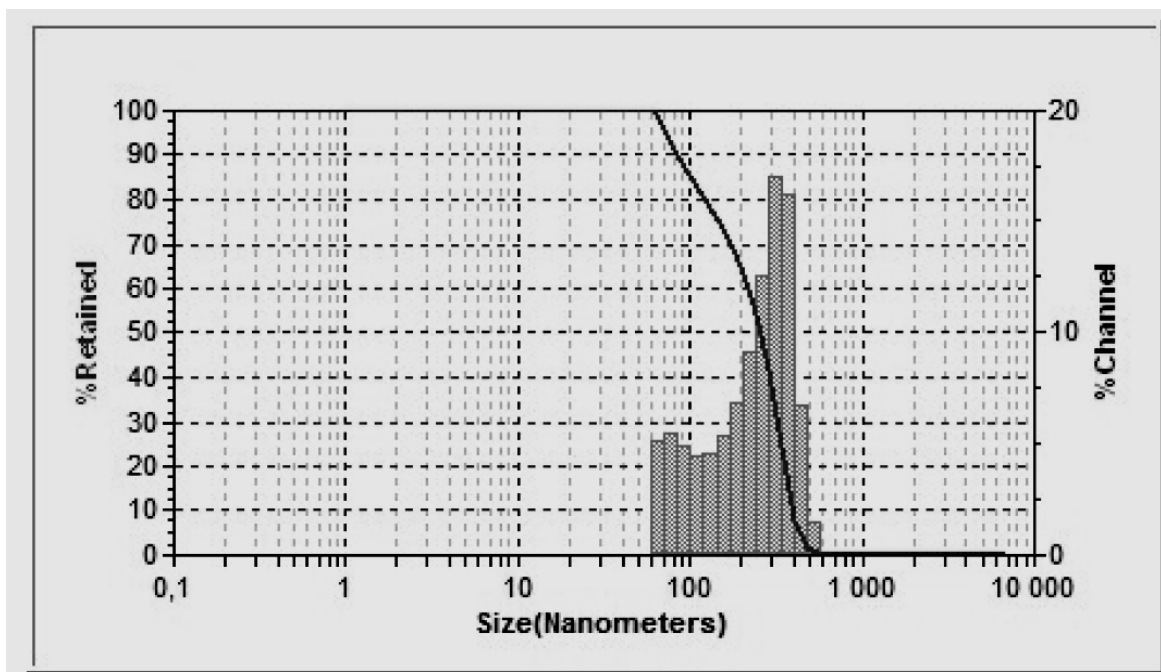


Рис. 6. Кривая распределения частиц дисперсной системы восстановленного молока-сырья, обработанного УЗ (1 мин воздействия)

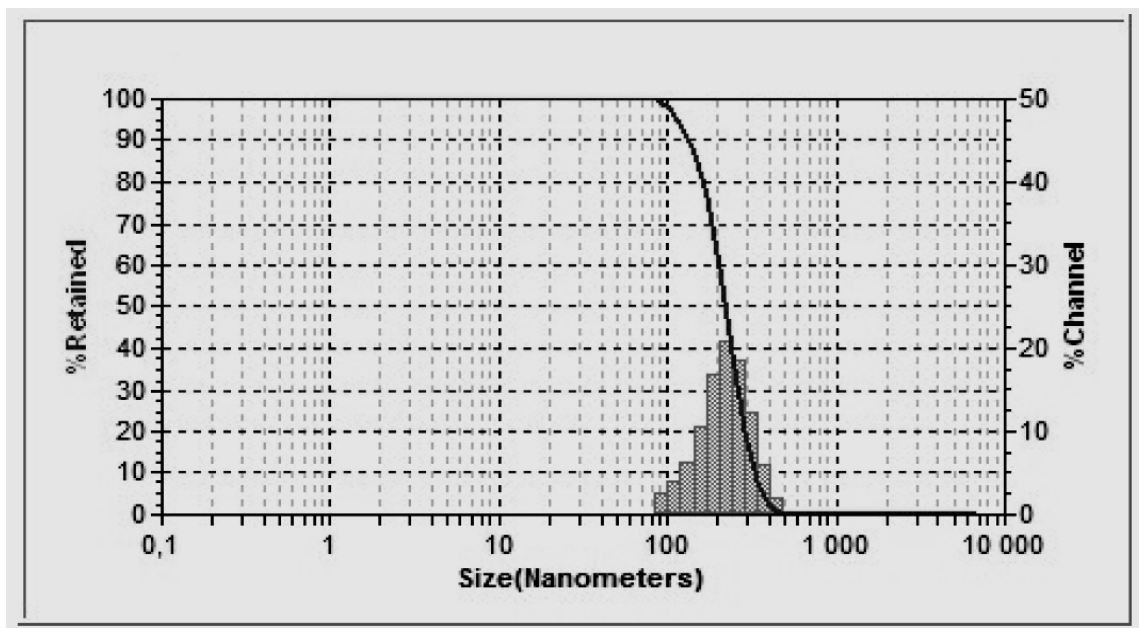


Рис. 7. Кривая распределения частиц дисперсной системы восстановленного молока-сырья, обработанного УЗ (3 мин воздействия)

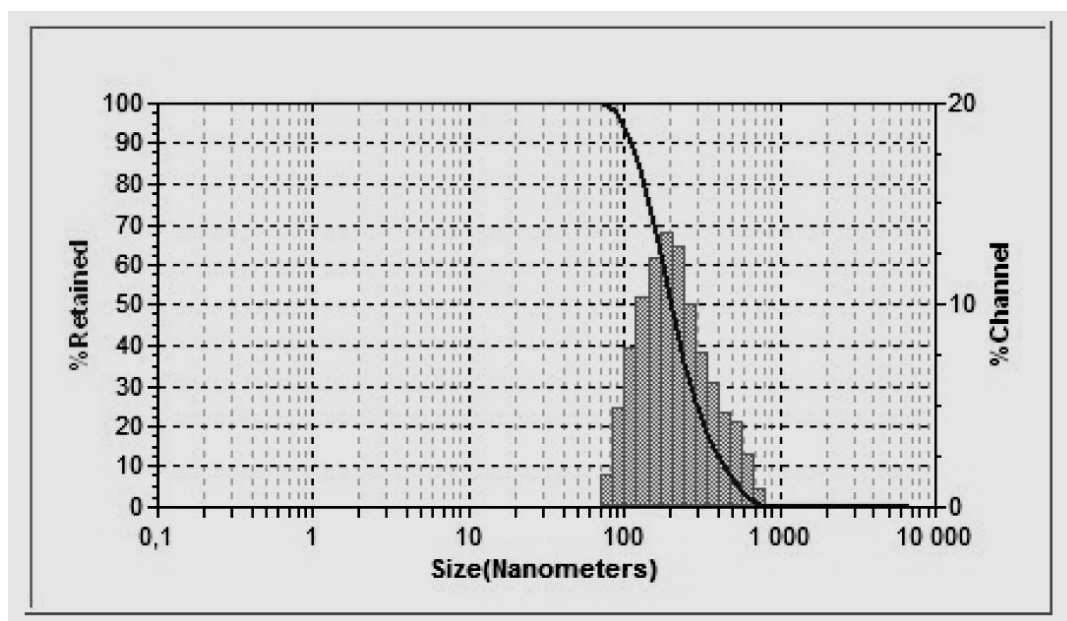


Рис. 8. Кривая распределения частиц дисперсной системы восстановленного молока-сырья, обработанного УЗ (5 мин воздействия)

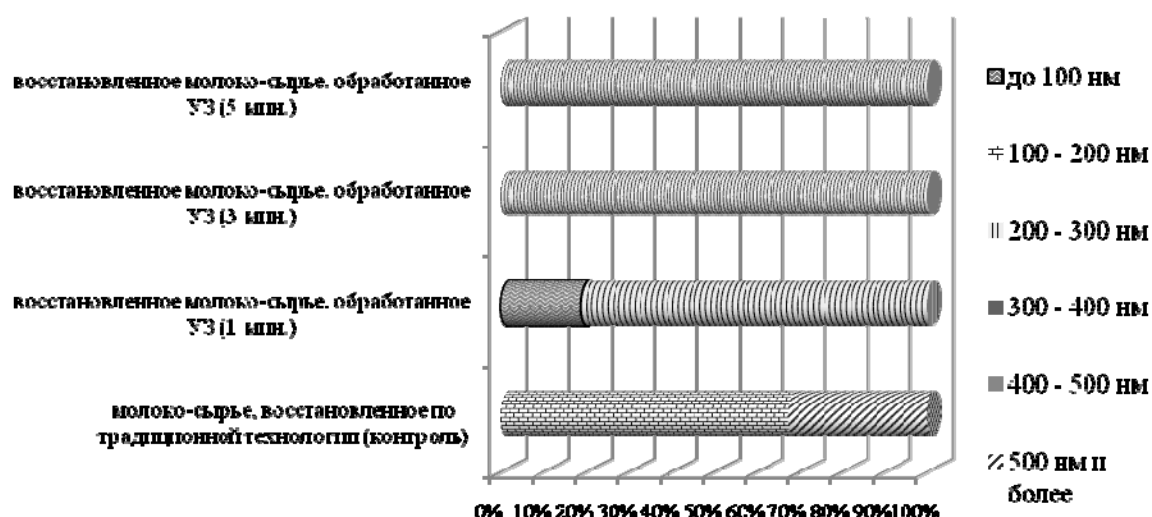


Рис. 9. Долевое соотношение размерных фракций в образцах восстановленного молока-сырья, обработанного УЗ, нм%

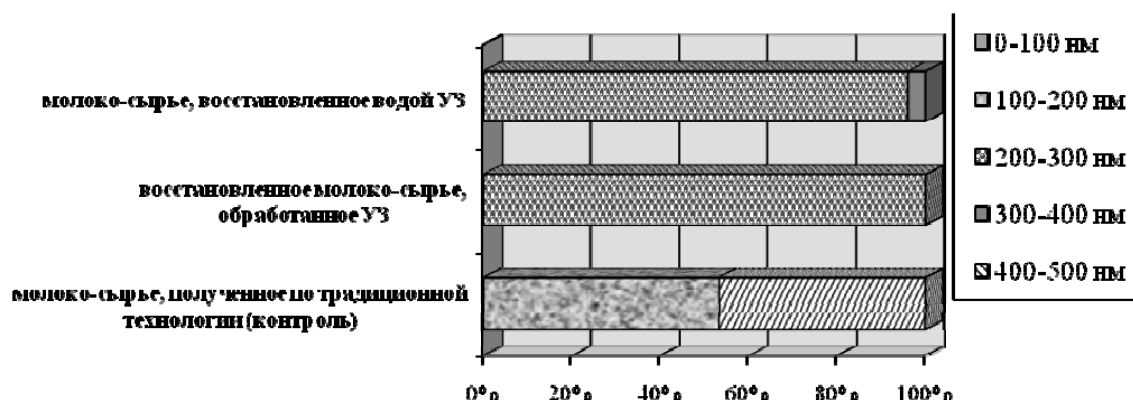


Рис. 10. Размер дисперсных частиц и их объемное распределение в фракциях восстановленного в разных условиях молока-сырья, нм%

В дальнейшем это отражается и на органолептических характеристиках молочного напитка, полученного на основе восстановленного молока-сырья.

Для органолептической оценки применялась разработанная на основе экспертного метода балловая шкала, в которой основное внимание уделяется характеристике единичных показателей качества, коэффициентам весомости показателей, принципам дифференцирования качества товаров по результа-

там балловых оценок. Оценивая каждое свойство по балльной системе, использовали цифровую дискретную интервальную пятибалльную шкалу с учетом отклонения от установленных заранее требований к органолептическим свойствам продукта. Результаты оценки представлены как средние значения по группе [12].

Для облегчения представления и анализа данных принята следующая система обозначений:

– объект 3.1 – восстановленное молоко-сырье, полученное по традиционной технологии (контроль);

– объект 3.2 – восстановленное молоко-сырье, полученное посредством обработки ультразвуком мощностью 120 Вт в течение 3 минут смеси воды и сухого молока сразу после его внесения, с последующей выдержкой (обозначение: «молоко-сырье, обработанное УЗ»).

– объект 3.3 – восстановленное молоко-сырье, полученное посредством восстановления сухого молока на воде, предварительно обработанной ультразвуковым воздействием мощностью 120 Вт в течение 3 минут (обозначение «молоко-сырье, восстановленное водой УЗ»).

– объект 3.4 – восстановленное молоко-сырье, полученное двухэтапной обработкой ультразвуком: на первом этапе обработке подвергнута вода, на втором – механическая смесь сухого молока и обработанной воды, с последующей выдержкой (обозначение «молоко-сырье двухэтапной обработки УЗ»).

Результаты органолептической оценки свидетельствуют, что по показателям «консистенция», «внешний вид» и «цвет» образцы были практически идентичны, с небольшими различиями. Все молочные напитки представляли собой непрозрачные жидкости, имели однородную, не тягучую или слегка тягучую консистенцию, без хлопьевидных включений, лишь в контрольном образце и образце молочного напитка, восстановленного водой УЗ (3.3*), отмечены в осадке частицы нерастворившегося сухого молока. Цвет образцов молочного напитка – равномерный по всему объему, молочно белый, с синеватым оттенком большей или меньшей интенсивности (рис. 11).

Наличие в двух образцах (контрольном и 3.3*) видимых нерастворившихся частиц сухого молока способствовало снижению их баллов по показателям «внешний вид» до значений 4,1 и 4,3 и «консистенция» – до 4,2 и 4,8 соответственно. По показателю «цвет» все образцы получили наибольшее значение – 5 баллов – вследствие отсутствия посторонних оттенков в цвете.

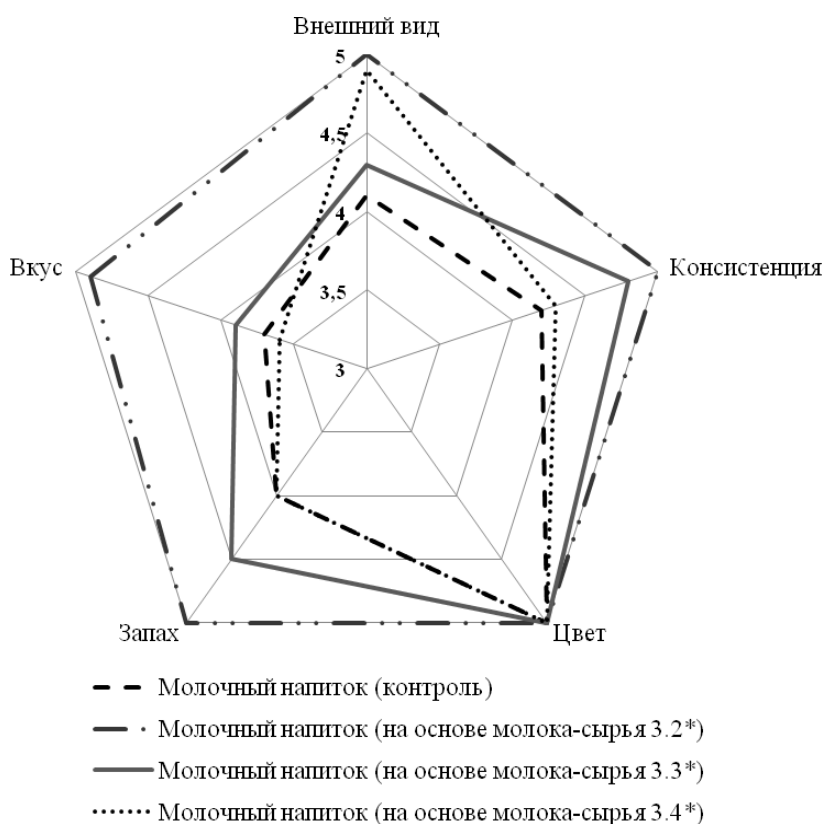


Рис. 11. Профилограмма органолептических показателей молочных напитков (по усредненным значениям показателей)

Разница в образцах отмечена по вкусу и запаху молочных напитков. Контрольный образец (традиционная технология восстановления – без УЗ обработки) имел выраженный запах, сладковатый, без посторонних оттенков (4 балла), вкус выраженный, с явным привкусом тепловой обработки молока, водянистый (3,7 балла). Молочный напиток, обработанный УЗ (3.2*): запах хорошо выраженный, без посторонних оттенков, едва уловимый запах кипячения слабой интенсивности (5,0 баллов); вкус – полный, хорошо выраженный, без посторонних оттенков, не водянистый. Сглаженный вкус сладости (4,9 баллов).

Молочный напиток, восстановленный водой УЗ (3.3*): запах слабовыраженный, со слабыми ароматами сладости и кипячения (4,5 балла); вкус маловыраженный, излишне сладковатый, слегка водянистый (3,9 балла).

Молочный напиток двухэтапной обработки (3.4*): запах маловыраженный с легкими лактонными оттенками (4,0 балла); вкус – слабовыраженный, с послевкусием горечи (3,6 балла).

Обобщение результатов органолептической оценки указывает на выраженное влияние ультразвукового воздействия на органолептические показатели, и в большей степени на вкус и запах. Самые высокие значения показателей качества были у молочного напитка, полученного на основе УЗ обработки механической смеси сухого молока и воды. В совокупности образец получил ($24,9 \pm 0,2$) балла, что соответствует высшей градации качества (25–22 балла), приближенной была оценка молочного напитка, полученного на основе обработанной ультразвуком воде ($(22,5 \pm 0,2)$ балла), что указывает на повышение растворяющей способности кавитационно обработанных жидких сред. Фактически ультразвуковое воздействие выступает катализатором процесса экстракции вкусоароматических веществ и при правильном выборе режима обработки позволяет регулировать органолептические характеристики молочного продукта.

Таким образом, так как ультразвуковая обработка обладает диспергирующими свойствами, то использование ее в технологиях

производства молочных продуктов на этапе механической смеси сухого молока и воды (уже после растворения сухого молока) позволяет отказаться от этапа гомогенизации, что положительно влияет на потребительские свойства молочных напитков и интенсифицирует процесс их производства.

Литература

1. Богатова, О.В. *Химия и физика молока: учебное пособие* / О.В. Богатова, Н.Г. Догарева. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 137 с.
2. Голубева, Л.В. *Справочник технолога молочного производства* / Л.В. Голубева. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 272 с.: ил.
3. Горбатова, К.К. *Химия и физика молока: учебник для вузов* / К.К. Горбатова. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 288 с.: ил.
4. Инихов, Г.С. *Биохимия молока*. – М.: Пищепромиздат, 1956. – 343 с.
5. *Технология молока и молочных продуктов* / Г.Н. Крусь, А.Г. Храмов, З.В. Волокитина, С.В. Кропачев; под ред. А.М. Шалыгиной. – М.: КолосС, 2006. – 455 с.
6. Липатов, Н.Н. (ст.). *Восстановленное молоко (теория и практика производства восстановленных молочных продуктов)* / Н.Н. Липатов (ст.) – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
7. Твердохлеб, Г.В. *Химия и физика молока и молочных продуктов* / Г.В. Твердохлеб, Р.И. Раманаускас. – М. ДеЛи принт, 2006. – 360 с.
8. Тёпел, А. *Химия и физика молока* / А.Тёпел; пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой. – СПб.: Профессия, 2012. – 832 с.
9. Шутилов, В.А. *Основы физики ультразвука: учебное пособие* / В.А. Шутилов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 280 с.
10. Эльпинер, И.Е. *Биофизика ультразвука* / И.Е. Эльпинер. – М.: Наука, 1973. – 384 с.
11. Balachandran, S. *Ultrasonic enhancement of the supercritical extraction from ginger. Ultrasonics Sonochemistry* / S. Balachandran, S.E. Kentish, R. Mawson, M. Ashokkumar. – 2006. – 13. – 471 – 479 p.
12. Шидловская, В.П. *Органолептические свойства молока и молочных продуктов* / В.П. Шидловская. – М.: Колос, 2000. – 360 с.

Попова Наталия Викторовна. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), tef_popova@mail.ru.

Поступила в редакцию 15 июля 2015 г.

DOI: 10.14529/food150307

ULTRASONIC CAVITATION AS A FACTOR OF HOMOGENIZATION OF REDUCED RAW MILK AND PRODUCTS BASED ON IT

N.V. Popova

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Dairy products are the products of every-day demand, should have certain consumer properties and the desired level of quality. Component composition of milk is characterized by varying degrees of dispersion, which affects consumer properties and taste characteristics of dairy products, as well as their degree of digestibility. Consumer properties of dairy products depend on the composition of raw milk and the technology of their production. To improve the dispersion of the component composition that eliminates the defense of fat during storage of milk, the development of oxidative processes and destabilization with vigorous stirring and transportation, the process of homogenization of milk. In the manufacture of products on the basis of reduced raw milk homogenization helps create fullness of taste and product appearance with watery taste. The effect of ultrasonic treatment – Cavitation – due to the appearance and pulse compression microcurrents from movement in different directions, collapse, merge with each other pulsating bubbles – contributes to the destruction in a liquid solid and accelerates the various physical and chemical processes. The introduction of ultrasonic treatment in the recovery process of milk powder showed her a pronounced effect on the activation of the recovery process with homogenization of the particles by size characteristics, eliminating the separate step of homogenization. A series of experiments determined that the processing of the mechanical mixture of powdered milk and water in the reduction has a marked tendency in a positive way, the particle size is reduced to an average of (202 ± 30) nm. Increasing the treatment time increases the degree of dispersion and homogenizes the composition of the reduced raw milk. In the future, it is reflected in the organoleptic characteristics of the milk beverage, ultrasound improves the organoleptic effects, and more taste and smell.

Keywords: cavitation, the particulate composition, reconstituted milk, raw milk beverage, milk, homogenization.

References

1. Bogatova O.V., Dogareva N.G. *Khimiya i fizika moloka* [Chemistry and Physics of Milk]. Orenburg, 2004. 137 p.
2. Golubeva L.V. *Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva* [Directory Technologist Milk Production]/ L.V. Golubeva. St. Petersburg, GIORD Publ., 2005. 272 p.
3. Gorbatova K.K. *Khimiya i fizika moloka* [Chemistry and Physics of Milk]. St. Petersburg, GIORD Publ., 2004. 288 p.
4. Inikhov G.S. *Biokhimiya moloka* [Biochemistry of Milk]. Moscow, Pishchepromizdat, 1956. 343 p.
5. Krus' G.N., Khrantsov A.G., Volokitina Z.V., Kropachev S.V. *Tekhnologiya moloka i molochnykh produktov* [Technology of Milk and Dairy Products]. Moscow, KolosS Publ., 2006. 455 p.
6. Lipatov N.N. (st.). *Vosstanovlennoe moloko (teoriya i praktika proizvodstva vosstanovlennykh molochnykh produktov)* [The Reconstituted Milk (the Theory and Practice of Production Restored Dairy Products)]. Moscow, Agropromizdat, 1985. 256 p.
7. Tverdokhleб G.V., Ramanauskas R.I. *Khimiya i fizika moloka i molochnykh produktov* [Chemistry and Physics of Milk and Dairy Products]. Noscov, DeLi print, 2006. 360 p.

8. Tepel A. *Khimiya i fizika moloka* [Chemistry and Physics of Milk]. Translated from German. St. Petersburg, 2012. 832 p.
9. Shutilov V.A. *Osnovy fiziki ul'trazvuka* [Basic Physics of Ultrasound]. Leningrad, 1980. 280 p.
10. El'piner I.E. *Biofizika ul'trazvuka* [Biophysics Ultrasound]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 384 p.
11. Balachandran, S. Ultrasonic enhancement of the supercritical extraction from ginger. *Ultrasonics Sonochemistry* / S. Balachandran, S.E. Kentish, R. Mawson, M. Ashokkumar. 2006. 13. 471–479 p. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2005.11.006.
12. Shidlovskaya V.P. *Organolepticheskie svoystva moloka i molochnykh produktov* [The Organoleptic Properties of Milk and Dairy Products]. Moscow, Kolos Publ., 2000. 360 p.

Popova Natalia Viktorovna. Ph.D., associate professor of “Expertise and quality control of food production”, South Ural State University (Chelyabinsk), tef_popova@mail.ru.

Received 15 July 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Попова, Н.В. Ультразвуковая кавитация как фактор гомогенизации восстановленного молока-сырья и продуктов на его основе / Н.В. Попова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2015. – Т. 3, № 3. – С. 44–54. DOI: 10.14529/food150307

FOR CITATION

Popova N.V. Ultrasonic Cavitation as a Factor of Homogenization of Reduced Raw Milk and Products Based on it. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2015, vol. 3, no. 3, pp. 44–54. (in Russ.) DOI: 10.14529/food150307
