

САМООРГАНИЗАЦИЯ НАНОСТРУКТУРЫ СЛИВОЧНОГО МАСЛА С КРИОПОРОШКОМ ИЗ СВЕКЛЫ КРАСНОЙ СТОЛОВОЙ

Иванов С.В., Рашевская Т. А.

Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина

E-mail: rashevsk@nuft.edu.ua

Одной из основных задач современной пищевой индустрии является создание пищевых продуктов, которые не только удовлетворяют потребности человека в основных пищевых веществах и энергии, но и имеют оздоровительные, лечебно-профилактические свойства. В 21-м столетии стратегическим направлением развития науки и техники является нанонаука и нанотехнология[1].

Нами впервые разработаны функциональные виды сливочного масла с добавками, полученными из натурального растительного сырья – полисахаридами и криопорошками, в том числе из красной столовой свеклы, который содержит комплекс биологически активных веществ. Цель работы - исследование влияния добавки криопорошка из красной столовой свеклы на формирование наноструктуры сливочного масла. Наноструктуру сливочного масла изучали методом сканирующей электронной микроскопии. Для подготовки образцов масла к исследованию использовали замораживающее-разламывающую технику, позволяющую фиксировать истинную структуру масла. Исследовали образцы сливочного масла свежееизготовленные (МБ_{св}), хранившиеся при 5°C (МБ₅) и -18 °C (МБ₋₁₈) в течении 6 месяцев. Масло вырабатывали способом преобразования высокожирных сливок (ПВЖВ). Наноструктура сливочного масла впервые изучена нами. Ранее проведенные исследования микро- и наноструктуры свежееизготовленного сливочного масла без добавки показали [2], что она состоит из непрерывной жировой фазы, в которой диспергирована плазма и распределены одинокие разрушенные и частично поврежденные жировые шарики $d \sim 1,5-3,5$ мкм.

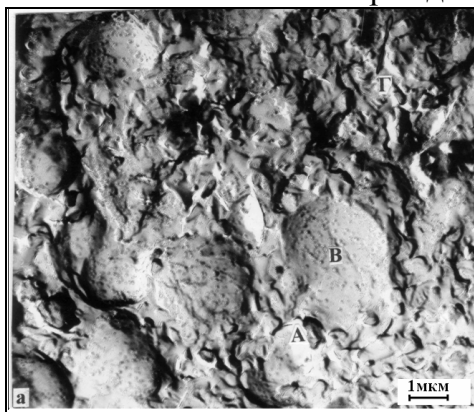


Рис. 1. Микроструктура МБ_{св}: В, Г, Д – жировые шарики, К – кристаллический слой, А – аморфный слой.

Межглобулярная структура содержит слоистые кристаллические агрегаты и кристаллические глицеридные слои. В процессе хранения проходит деление кристаллических слоев и агрегатов на наноблоки величиной. При температуре хранения -18 °C формируется слоистая наноструктура, обуславливающая появление такого порока сливочного масла, как слоистость и крошительность. Электронно-микроскопические исследования (рис. 1) показали, что микро- и наноструктура МБ_{св} существенно отличается формой, размерами, морфологией и архитектурой. Снимки показывают, что формирование элементов структуры МБ проходит на наноуровне в процессе самоор-

ганизации наноструктуры масла. На снимках (рис. 2) представлены стадии формирования, самоорганизации наноструктуры поверхности жировых шариков и ее наноэлементы: наночастицы водной фазы, их квазиодномерные цепочки, шероховатая межфазная поверхность их раздела с непрерывной жировой фазой и нанобугорки $d \sim 60-100$ нм. Наноструктура бугорков состоит из чередующихся нано-зерен глицеридов $d \sim 3-6$ нм и слоев из наночастиц водной фазы $d \sim 3-12$ нм, кото-

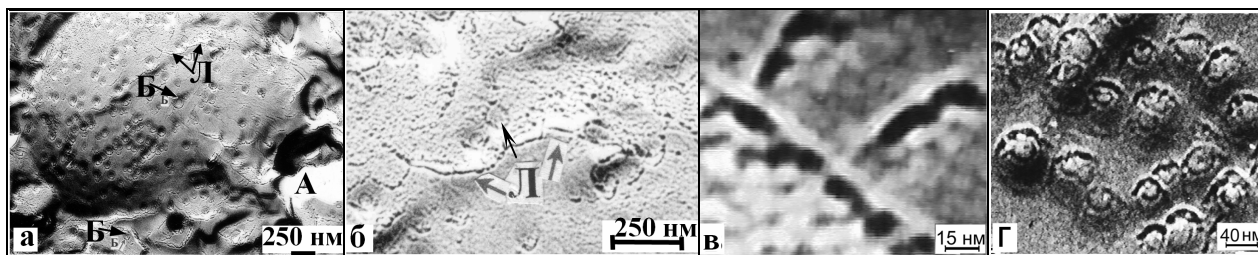


Рис. 2. Наноструктура элементов МБ_{св}: а – жировой шарик; б – наночастицы водной фазы и их квазиодномерные цепочки Л на поверхности шарика; в – шероховатая межфазная поверхность раздела квазиодномерных цепочек с жировой фазой; г – наноструктура бугорков Б; А – аморфный слой.

рые зарождаются гетерогенно на шероховатых межфазных границах раздела. Микроструктура МБ₅ содержит жировые шарики $d \sim 1,8-5,0$ мкм, и кристаллические агрегаты формы многогранников, цилиндров и аморфно-кристаллические слои, содержащие наноструктуры типа бугорков $d \sim 20-30$ нм с нанокляпьями водной фазы на вершине. Кристаллические слои состоят из участков ячеистой и ламельной наноструктур. Ламели (60-360 нм) образованы из кристаллических нанозерен и прослоек из наночастиц водной фазы. Межглобулярная наноструктура содержит наноблоки Б, имеющие форму нанобугорков. Образование бугорков свидетельствует [3] о вязкоэластичных свойствах МБ_{св} и МБ₅, которых им придают компоненты внесенного криопорошка, прежде всего пектина [4]. Микроструктура МБ₁₈ содержит неразрушенные жировые шарики $d \sim 2,0-5,0$ мкм с хорошо сформированными периферийными кристаллическими оболочками, имеющими ячеистую наноструктуру (рис. 4). В МБ₅ и МБ₁₈ величина элементов наноструктуры уменьшается в 5-25 раз. Межглобулярная микроструктура состоит из кристаллических наноагрегатов, имеющих слоистую ячеистую наноструктуру. Ячейки имеют выпуклую или вогнутую форму. Они соединены по принципу «выступ к впадине», что упрочняет оболочки жировых шариков и кристаллических агрегатов. Ячеистая структура кристаллических слоев формируется согласно принципа

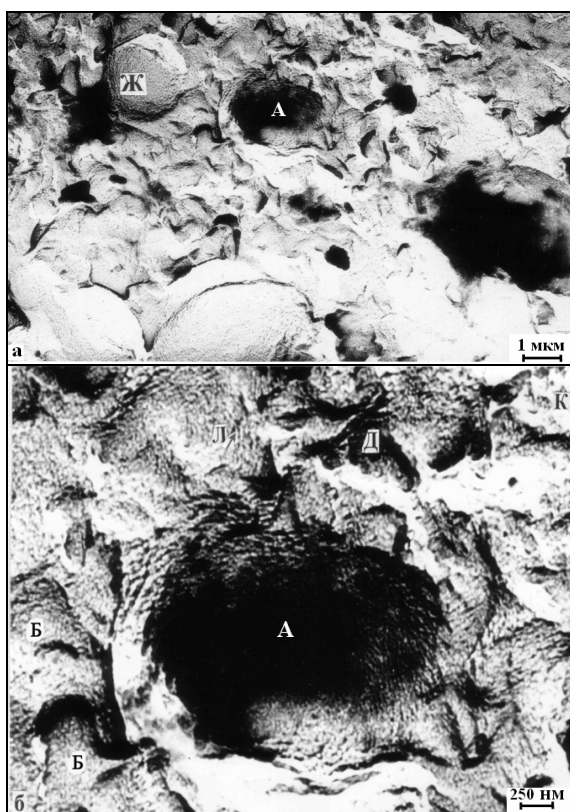


Рис. 3. Микро- и наноструктура МБ₅ (а) и ее фрагмент (б). Жировые шарики: Ж – с ячеистой, А – с ячеистой и ламельной наноструктурой, Д – частица криопорошка, Л – ламели, Б – нанобугорки, К – кристаллические наноблоки.

«подобное в подобном». Соответственно величина ячеек уменьшается до 8-15 нм. Это свидетельствует о соподчиненности наноэлементов и фрактальных проявлениях в процессах формирования наноструктуры МБ₁₈. Ячейки имеют форму многогранников, а их грани – четырех- пяти- и шестиугольников (рис. 4, в). Четырехугольные грани имеют кристаллы формы октаэдров, пятиугольные – декаэдров, а пятиугольный профиль с вершиной в центре характерный для

«подобное в подобном». Соответственно величина ячеек уменьшается до 8-15 нм. Это свидетельствует о соподчиненности наноэлементов и фрактальных проявлениях в процессах формирования наноструктуры МБ₁₈. Ячейки имеют форму многогранников, а их грани – четырех- пяти- и шестиугольников (рис. 4, в). Четырехугольные грани имеют кристаллы формы октаэдров, пятиугольные – декаэдров, а пятиугольный профиль с вершиной в центре характерный для

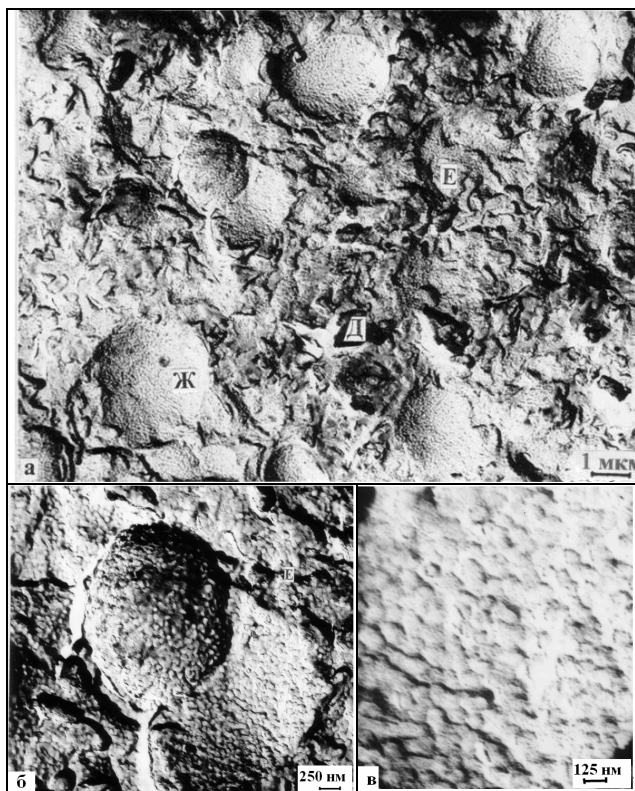


Рис. 4. Микро- и наноструктура МБ₁₈ (а) и ее фрагменты (б, в): Ж – жировой шарик, Д - частичка криопорошка, Е – ячеистая наноструктура.

кристаллов формы икосаэдров. Установлено [5], что на ребрах многогранников размещены наночастицы водной фазы $d \sim 6-8$ нм, а на их вершинах – частицы $d \sim 12-16$ нм. Большая часть влаги в наноструктуре МБ₁₈ распределена в виде наночастиц $d \sim 3-16$ нм, меньшая – в виде тонких пленок на межфазных поверхностях раздела отдельных кристаллических слоев и элементов структуры. В поверхностном аморфном слое высокая концентрация наночастиц влаги $d \sim 3$ нм. Предложен [6] механизм формирования ячеистой наноструктуры МБ, базирующийся на фазовых превращениях в жировой фазе масла. Его начальной стадией является гетерогенное зарождение в МБ_{св} нанокapель водной фазы и их квазиодномерных цепочек прямой и кольцеобразной формы, из последних формируются нанобугорки, а в даль-

нейшем – многогранные ячейки, имеющие форму октаэдров, декаэдров и икосаэдров. По данным комплексных исследований установлено, что уменьшение величины элементов наноструктуры сливочного масла с криопорошком из свеклы красной столовой улучшает показатели структуры, консистенции и реологические свойства масла: повышается его термоустойчивость и связность структуры; способность структуры удерживать жидкую фазу жира, уменьшается твердость масла и повышается его пластичность; способствует формированию кристаллизационно-коагуляционной структуры, в которой преобладает коагуляционная, и изменению механизма разрушения структуры сливочного масла от крошливого до вязкого, который характерный для пластичных систем; тормозит микробиологическую и биохимическую порчу масла, что повышает его биологическую ценность. По результатам клинической апробации и выводов МОЗ Украины рекомендовано использование сливочного масла с криопорошком из красной столовой свеклы в лечебно-профилактическом и диетическом питании.

Выводы

1. Установлено, что внесение криопорошка из красной столовой свеклы способствует уменьшению величины элементов наноструктуры сливочного масла в 5...25 раз и формированию ячеистой структуры с размером ячеек до 100 нм. Впервые установлено влияние наноструктуры сливочного масла на его функциональные свойства, показатели структуры и консистенции, а также хранимоспособность. Выявлены полифункциональные свойства криопорошка из красной столовой свеклы.

2. Предложен механизм формирования ячеистой наноструктуры МБ, базирующийся на фазовых превращениях в жировой фазе масла и влиянии на них компонентов криопорошка.

3. Установлено, что внесение криопорошка из красной свеклы, целесообразно использовать для управления формированием наноструктуры сливочного масла, ее наноэлементов, соответственно для регулирования качества и физико-химических свойств продукта.

4. Фундаментальные данные исследований использованы при разработке научных основ формирования и самоорганизации наноструктуры функциональных видов сливочного масла с растительными пищевыми добавками, которые являются теоретической базой для создания нанотехнологий продуктов функционального назначения, в первую очередь – в маслоделии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рашевська Т.О. Самоорганізація мікро- і наноструктури вершкового масла / Т.О. Рашевська, А.І. Українець // Наукові праці ОНАХТ. – 2008, вып. 33, т. 1. – С. 172–177.

3. Зимон А.Д. Коллоидная химия – 5-е изд., доп. и исправл. / А.Д. Зимон. – М.: Агар. – 2007. – 344 с.

2. Rashevskaya T.A. Nanostructure of Butter with Biopolimer Pectin Additive / T.A. Rashevskaya, A.I. Ukrainets // Book of Abstract the European MRS Spring Meeting 2005, Symposium A “Current Trends in Nanoscience – from Materials to Applications”, 31 May – 3 June 2005. – Strasbourg (France), 2005. – P.A. – 53.

3. Rashevskaya T.A. Identification of moisture nanoparticles in the butter sub-microstructure / T.A. Rashevskaya, I.S. Gulyi, A.I. Ukrainets, M.M. Nishchenko, S.P. Likhtorovich, E.V. Buzaneva // Materials Science and Engineering C. (Elsevier). – 2002. – Vol. 19 C. – P. 33–35.

4. Rashevskaya T.A. Formation of Gellular Crystalline Sub-microstructure in the Butter with Aditives / T. Rashevskaya, I. Gulyi, M. Nishchenko, S. Likhtorovich // Article Materials Research Society. – San Francisco (USA, California). – 2000. – P. 7.1–7.6.