

NANOSTRUCTURE AND PROPERTIES OF INULIN BUTTER

T. Rashevskaya, S. Ivanov

National University of Food Technologies

Key words:

Butter inulin Nanostructure Nanopores

Article history:

Received 20.03.2014

Received in revised form
31.03.2014

Accepted 07.04.2014

Corresponding author:

T. Rashevskaya

E-mail:

rashevsk@nuft.edu.ua

ABSTRACT

The university developed butter with inulin derived from plant materials. By electron scanning microscopy investigated its micro- and nanostructure. Revealed that the introduction of inulin reduces interglobular nanostructure elements 5—25. Crystalline layers of shells of fat globules, the surface layers of crystalline aggregates and nanoblocks in BI_{sv} and after storage at 5 °C (BI₅) have dendritic nanostructures. Identified fractal manifestation of hierarchical subordination of elements in the nanostructure BI_{sv} and BI₅. Found that the formation of nanostructures BI, its architecture is influenced by properties nanoelements inulin. Revealed that the introduction of inulin has a multifunctional effect: according to the findings of MOH of Ukraine BI is recommended to use in a health and diet food.

НАНОСТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ВЕРШКОВОГО МАСЛА З ІНУЛІНОМ

Т.О. Рашевська, С. В. Іванов

Національний університет харчових технологій

В університеті розроблено вершкове масло з інуліном (МІ), отриманим з рослинної сировини. Методом електронної скануючої мікроскопії досліджено його мікро- і наноструктуру. Виявлено, що внесення інуліну сприяє зменшенню величини елементів міжглобулярної наноструктури. Кристалічні шари оболонок жирових кульок, поверхневих шарів кристалічних агрегатів і наноблоків у свіжовиготовленому МІ_{св} і після зберігання при 5 °С (МІ₅) мають дендритну наноструктуру. Виявлено фрактальні прояви ієрархічної співвідпорядкованості елементів у наноструктурі МІ_{св} і МІ₅. Установлено, що на формування наноструктури МІ, архітектуру її наноелементів впливають властивості інуліну. Виявлено, що внесення інуліну надає маслу багатofункціональних властивостей. Згідно з висновками МОЗ України МІ рекомендовано використовувати в лікувально-профілактичному і дієтичному харчуванні.

Ключові слова: вершкове масло, інулін, наноструктура, нанопори, консистенція, лікувально-профілактичні властивості.

Сьогодні весь світ переходить на профілактичну медицину. Концепція здорового харчування відображає останні напрями розвитку харчової інду-

стрії. Враховуючи це, найбільш актуальним соціальним завданням є розробка нових вітчизняних технологій харчових продуктів функціонального призначення, спрямованих на захист і збереження здоров'я населення країни.

Вершкове масло займає значне місце в харчуванні населення України, входить до раціону харчування закладів охорони здоров'я та дитячих установ, що обумовлює доцільність створення вершкового масла функціонального призначення.

Постановка завдання. В останні роки увага медиків і харчовиків зосереджена на використанні добавок з рослинної сировини, що мають оздоровчі та лікувально-профілактичні властивості. Це вказує на доцільність їх використання при розробленні функціональних видів вершкового масла. Слід зауважити, що провідні вчені світу пов'язують створення функціональних харчових продуктів з нанонаукою і нанотехнологією [1,2,3]. Відзначається, що створення нанотехнологій є пріоритетним напрямком науки та харчової індустрії [2—4]. Нанотехнологія базується на вмінні цілеспрямовано створювати наноструктури матеріалів із заданими властивостями, які регулюються в нанорозмірному діапазоні, тому вивчення формування наноструктури харчових продуктів на сьогодні особливо актуально.

Мета дослідження: вивчення наноструктури функціонального масла з інуліном та її впливу на структуру, консистенцію і здатність до зберігання вершкового масла.

Результати досліджень. Нами розроблено асортимент функціональних видів вершкового масла з рослинними харчовими добавками. У даній роботі представлено результати дослідження зразків вершкового масла з інуліном «Імунне» (МІ), масла без добавок і контролю (МК).

Полісахарид інулін останнім часом привертає увагу медичної та харчової галузей. Створення харчових продуктів і препаратів, що містять інулін, в багатьох країнах є одним із пріоритетних напрямків харчової промисловості та медицини [6,7]. Як біологічно активну добавку лікувального та профілактичного харчування інулін рекомендовано використовувати при таких захворюваннях: цукровому діабеті, ожирінні, атеросклерозі, ішемічній хворобі серця, остеохондрозі, нирково-кам'яній і жовчно-кам'яній хворобах, імунодефіциті, при контакті з радіонуклідами. Загальнооздоровчий ефект інуліну пов'язаний з його імуномодулюючими властивостями, антиканцерогенними властивостями, здатністю виводити токсини з організму і покращувати засвоєння вітамінів і мікроелементів. Інуліну також притаманні комплексоутворюючі властивості, що важливо для харчових технологій [4,6]. Завдяки вищенаведеним властивостям інулін знаходить застосування в медицині і харчовій промисловості.

Вершкове масло виробляли у виробничих умовах маслоцеху. Інулін вносили у вершки у вигляді розчину в маслянці, потім їх додавали в маслоутворювач. Досліджували зразки свіжовиготовленого масла (МК_{св}, МІ_{св}) і після їх зберігання при температурі +5 °С протягом 10 діб (МК₅, МІ₅), при температурі –18 °С протягом шести місяців (МК₁₈, МІ₁₈). Мікро- та наноструктуру вершкового масла досліджували методом електронної скануючої мікроскопії, викладеним у [8]. Для цього використали скануючий електронний мікроскоп

ЕМ-410 фірми «Філіпс». Для підготовки препаратів досліджуваних зразків масла використали заморожувально-розламувальну техніку, яка дозволяє фіксувати істинну структуру вершкового масла [5,8]. Досліджували основні показники консистенції і структури вершкового масла (термостійкість, здатність структури утримувати рідкий жир, зв'язність структури, ступінь руйнування і відновлюваність структури, твердість масла), використовуючи стандартні методи [9,10].

Твердість масла визначали на пенетрометрі AP 4 /1 за глибиною занурення конуса з кутом заточки 60° при 18°C згідно з рекомендаціями [10]. Перевагу в структурі масла коагуляційних і кристалізаційних елементів засвідчує ступінь руйнування та відновлення структури, який визначали за методикою, запропонованою А. Хайгтоном [12]. Зв'язність структури масла визначали як тангенс кута, при якому розламується консольно закріплений шматок масла при деформації згину [11].

Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що мікроструктура МК_{св} складається з безперервної жирової фази, в якій розподілені дисперговані краплини плазми діаметром $d \approx 1\text{--}10$ мкм і частково зруйновані жирові кульки $d \approx 1,5\text{--}3,5$ мкм (рис. 1). Міжглобулярна структура містить безліч кристалічних шарів величиною $1000\text{--}2600$ нм, заввишки $30\text{--}100$ нм, які складаються з мономолекулярних гліцеридних шарів товщиною ~ 5 нм.

З окремих кристалічних шарів сформувалися кристалічні агрегати.

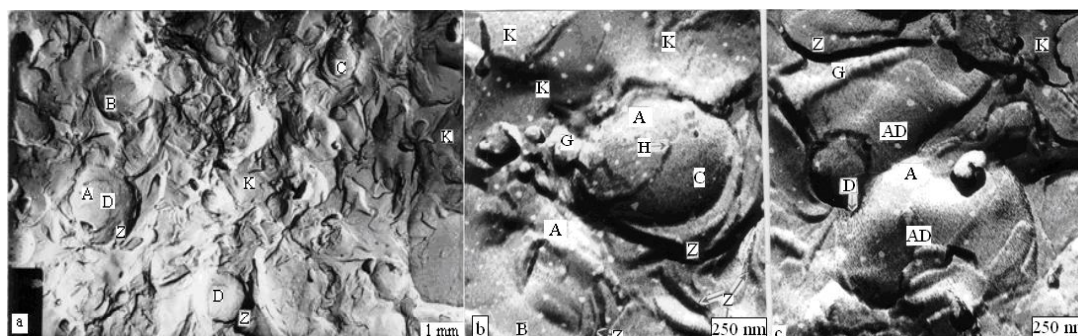


Рис. 1. Мікро- і наноструктура МК_{св} (а) та її фрагменти (b,c): В, С, D — жирові кульки, К — кристалічний шар міжглобулярної області; Н — нанокраплини водної фази; Z — водний канал; А — поверхневий аморфний шар; AD — кристалічний агрегат; G — шорстка поверхня розлому з виступами

Поверхневі шари жирових кульок і агрегатів складаються з аморфної жирової фази. Межі поділу фаз кристалічних шарів і агрегатів мають шорстку поверхню з прошарком водної фази у вигляді наноплівок або нанокраплин між виступами шорсткості і в нанопорах жирової фази масла. Наявність нанопор у структурі молочного жиру виявлено локально-чутливим методом електронно-позитронної анігіляції [13]. З нанопор паралельних кристалічних шарів формуються нанокapіляри Н, якими дифундує водна фаза, що доводить її безперервність у вершковому маслі на нанорівні.

На знімку мікроструктури МК₅ видно зруйновані жирові кульки $d = 1,6\text{--}3,5$ мкм (рис. 2). Внутрішня структура гліцеридного ядра глобули В містить ряд концентрично розміщених кристалічних шаруватих агрегатів і прошарків з водної фази на межі їх поділу. Межа поділу кристалічних шарів має шорстку з виступами поверхню.

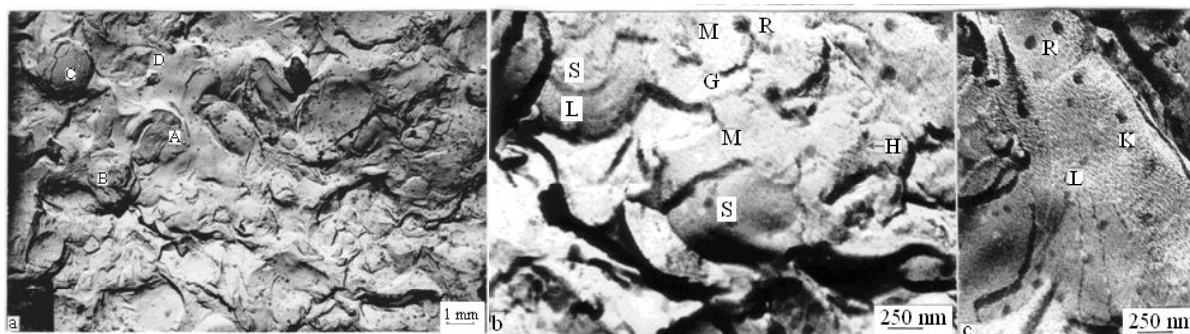


Рис. 2. Мікро- і наноструктура МК₅ (а) та її фрагменти (b,c): жирові кульки: А, В, С — зруйновані жирові кульки; D — залишок зруйнованої жирової кульки. Кристалічні наноблоки: S — сферичний; М — багатогранний; N — нанокapіляри; L — ламельна наноструктура; G — шорстка з виступами поверхня поділу; R — кластер; К — кристалічний шар

Наноструктура шарів складається з кристалічних нанозерен гліцеридів $d = 10\text{--}15$ нм, розташованих у вигляді лінійних ламелей з прошарками наночастинок води $d = 5\text{--}12$ нм. Наноструктура шарів агрегатів розрізняється. У міжглобулярній області МК₅ (рис. 2,b) утворилося безліч кристалічних шаруватих наноблоків різної форми величиною 300—1000 нм, висотою 30—80 нм, на які поділилися кристалічні шари. Це вказує на самоорганізацію наноструктури МК₅. Механізм самоорганізації базується на процесах кристалізації, фазових перетвореннях і фракціонуванні гліцеридів.

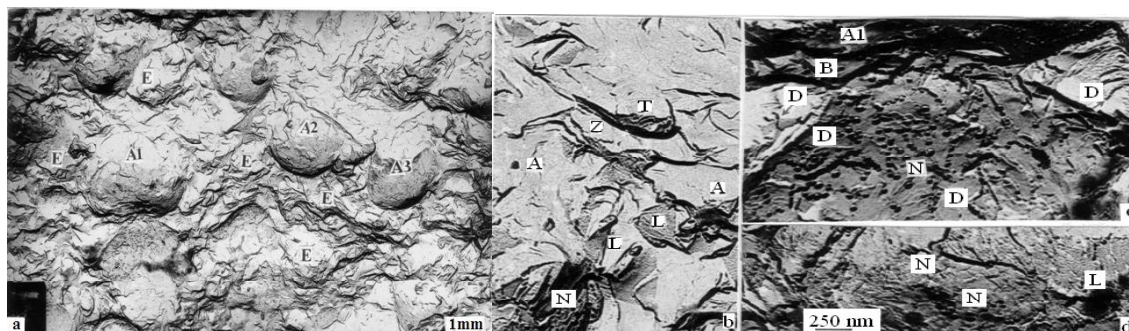


Рис. 3. Мікро- і наноструктура МК₁₈ (а) та її фрагменти (b,c,d): A1, A2, A3 — жирові кульки з поверхневим аморфно-кристалічним шаром; E — кристалічний агрегат; D — водна доріжка; c, d — наноструктура кристалічних шарів; A — аморфний шар; N — нанокapіляри; L — ламельна наноструктура з кристалічних нанозерен гліцеридів з прошарками нанокapіляри; D — водна доріжка; B — водний канал; T — тераса

У результаті фракціонування гліцеридів формуються шаруваті кристалічні наноблоки, між шарами яких утворюються прошарки з нанокapіляри водної фази. При температурі зберігання вершкового масла -18°C формується надзвичайно шарувата наноструктура (рис. 3), що пов'язано з її самоорганізацією.

Механізм самоорганізації базується на фазових перетвореннях у жирі: дискретній кристалізації легкоплавких гліцеридів, перерозподілі гліцеридів у твердій аморфній і кристалічній фазах, поліморфних перетвореннях гліцеридів. Поверхня жирових кульок, агрегатів і наноблоків має аморфно-кристалічний шар. Між кристалічними шарами формуються прошарки з нанокapіляри води $d \sim 3\text{--}50$ нм. Діаметр нанокapіляри зменшується в міру віддалення

прошарків від початкового шару формування агрегатів і наноблоків, тобто із збільшенням легкоплавкості гліцеридів, що утворюють кристалічні шари.

Електронно-мікроскопічні дослідження функціонального вершкового масла з інуліном показали, що на формування наноструктури масла, морфологію та архітектуру її наноелементів впливають властивості внесеної добавки.

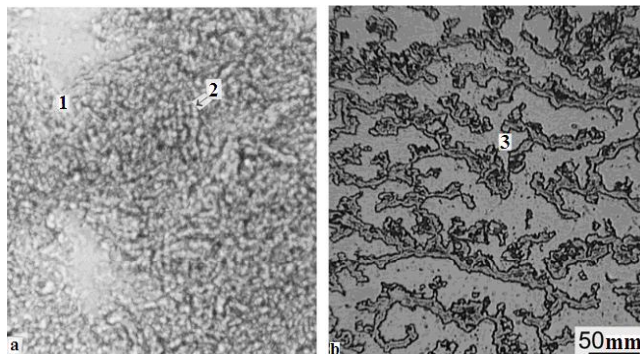


Рис. 4. Мікроструктура водного розчину інуліну (a,b): 1 — сферична структура; 2 — початок формування дендритів; 3 — дендритна структура

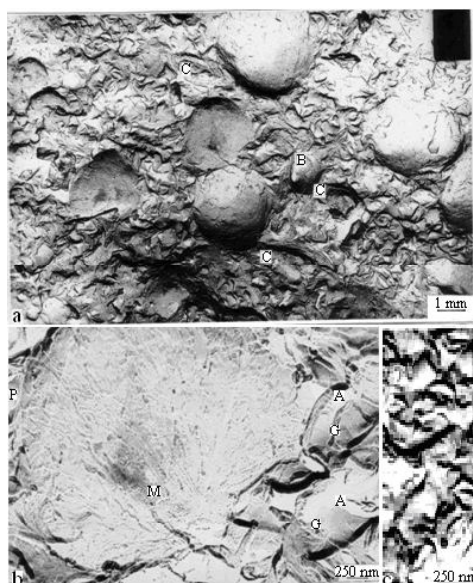


Рис. 5. Мікро- і наноструктура MI_{sv} (a) та її фрагменти (b,c): В — жирова кулька з частково зруйнованою оболонкою; С — залишки зруйнованих кульок; А — аморфний інуліно-ліпідий шар. Кристалічні агрегати: G — форма глобули; М — лінія розлому дендритного мономолекулярного шару; b — оболонка жирової кульки; c — міжглобулярна наноструктура

MK_{sv} , що пояснюється збільшенням товщини оболонок кульок унаслідок виникнення водневих зв'язків інуліну з компонентами оболонки. Кристалічні шари оболонок жирових кульок мають дендритну наноструктуру, яка включає наночастинки вологи $d \sim 3\text{—}10$ нм. Зовнішня поверхня мономолекулярних шарів має опуклу дендритну структуру, а внутрішня — увігнуту. Дендритні шари мають шорстку поверхню розлому з невеликими виступами і наночастинками вологи між ними (рис. 5б).

Для глибшого розуміння впливу інуліну на формування структури вершкового масла вивчали мікроструктуру його водного розчину, яка представлена на рис. 4. Із рис. 4а видно, що в розчині інуліну спочатку формується глобулярна структура, яка складається з безлічі сферичних часток діаметром $5\text{—}10$ мкм. Через $4\text{—}8$ год з глобулярної формується дендритна структура, яка включає краплини води $d \sim \sim 5$ мкм, що вказує на її тривимірність.

Мікроструктура MI_{sv} порівняно з MK_{sv} містить більше незруйнованих і пошкоджених жирових кульок, їх $d \sim 1,2\text{—}4,5$ мкм (рис. 5). Величина жирових кульок у MI_{sv} більша, ніж у

Міжглобулярна область MI_{CB} містить залишки зруйнованих жирових кульок, кристалічні агрегати і наноблоки, що мають форму глобул і пластинчастих шаруватих багатогранників. Наноструктура окремих п'яти- і шестигранників складається з подібних їм ієрархічно співпорядкованих багатогранників неправильної форми, що складаються з нанозерен $d = 10\text{—}20$ нм. Останнє свідчить про фрактальні прояви: ієрархічну співвідпорядкованість і самоподобу багатогранних кристалічних агрегатів у наноструктурі MI_{CB} .

Концентричні кристалічні шари оболонки мають шорстку поверхню з виступами. Внутрішня поверхня кристалічних шарів покрита тонкою плівкою водної фази. Між поверхнями сусідніх шарів оболонки сформувалися нанокapіляри $d \sim 20\text{—}50$ нм, що містять нанокраплини або плівки водної фази.

Кристалічні агрегати міжглобулярної області мають різну форму: багатогранну, глобулярну, пластинчасту. Наноструктура кристалічних шарів в одному агрегаті істотно різниться, що свідчить про фракціонування гліцеридів у процесі формування агрегатів. На їх поверхні формується інуліно-ліпідний аморфно-кристалічний шар. Кристалічні шари агрегатів складаються з нанозерен і утворених ними коротких ламелей.

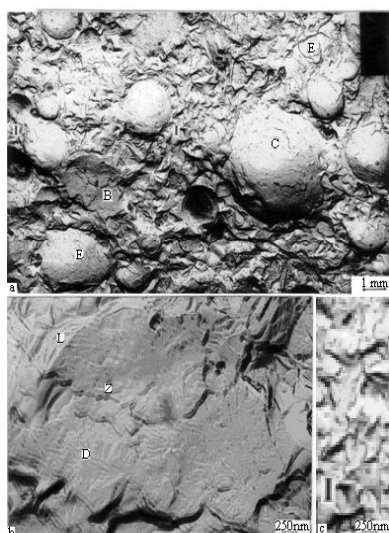


Рис. 6. Мікро- і наноструктура MI_5 (а) та її фрагменти (b,c): B,C,E — жирові кульки;

L — ламельна структура із кристалічних нанозерен; D — дендритна структура; Z — шорстка поверхня розлому; c — міжглобулярна наноструктура

Мікроструктура MI_5 (рис. 6) містить більше незруйнованих жирових кульок, ніж MI_5 . У процесі зберігання MI_5 збільшується товщина оболонки і, відповідно, величина жирових кульок, їх $d = 1,0\text{—}6,1$ мкм. Поверхневі шари оболонок жирових кульок мають дендритну наноструктуру, подібну MI_{CB} . Розлом жирової кульки проходить через її внутрішню структуру, товщина ~ 50 нм.

Міжглобулярна мікроструктура MI_5 мало відрізняється від MI_{CB} . Вона складається з глобул і шаруватих багатогранників, поверхневих кристалічних шарів, які мають в основному дендритну наноструктуру. Із викладеного видно, що внесення інуліну сприяє подрібненню елементів структури вершкового масла в 5—25 разів, що проходить на нанорівні.

У процесі зберігання MI при температурі -18 °C на оболонках жирових кульок утворюються додаткові аморфно-кристалічні інуліно-ліпідні шари, що пов'язано з твердінням легкоплавких гліцеридів (ЛПГ) і виникненням нових водневих зв'язків інуліну з компонентами ЛПГ (рис. 7). Такі додаткові оболонки чітко видно на поверхні розлому оболонки жирової кульки Б. Завдяки додатковим шарам товщина оболонок жирових кульок у MI_{18} зростає на 7—8 порядків.

Міжглобулярна наноструктура ML_{18} складається з багатограничних кристалічних агрегатів, переважно п'ятигранних, розмір яких у 5—25 разів менший, ніж у MK_{18} . Поверхня агрегатів має інуліно-ліпідні мономолекулярні шари. Саме вздовж них проходить розлом у міжглобулярній області. На знімку (рис. 7 а) поруч із жировою кулькою В видно п'ятигранний опуклий агрегат П, який складається з нанозерен глобулярної форми до 100 нм. Подібні нанозерна видно на поверхні ядра розломленої жирової кульки В. Знімки показують, що частина нанокაпілярів на поверхні розлому зразків МІ містить поодинокі нанокраплини вологи. Внутрішня поверхня більшості нанокапілярів вкрита тонкою плівкою адсорбційно зв'язаної водної фази.

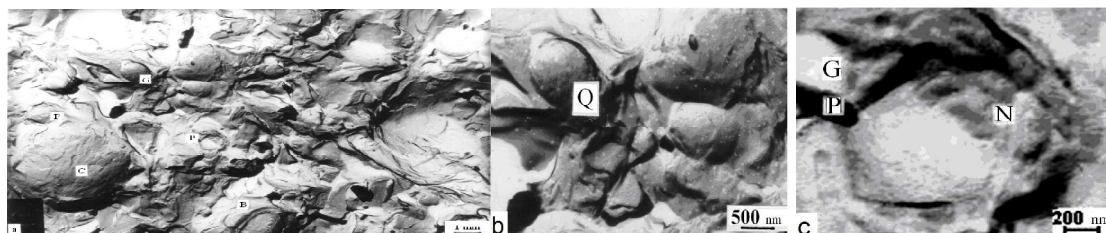


Рис. 7. Мікро- і наноструктура ML_{18} (а) та її фрагменти (b,c): В,С — жирові кульки; G — глобула; N — нанозерна; P — п'ятигранний кристалічний агрегат; Q — вторинна глобула

У міжглобулярній області ML_{18} сформувалися вторинні глобули G, величиною до 1 мкм. У процесі формування кристалічної фази жирових кульок і кристалічних агрегатів міжглобулярної області на їх поверхню відштовхуються ЛППГ та інулін. Наявність інуліно-ліпідних аморфно-кристалічних шарів на поверхнях жирових кульок і агрегатів міжглобулярної області свідчить про молекулярні зв'язки інуліну з ЛППГ. Виступи шорсткості на поверхні розлому шарів свідчать про наявність у них кристалічної фази. Під поверхневим аморфним шаром оболонки жирових кульок і кристалічних агрегатів знаходиться шорсткий інуліно-ліпідний шар, що складається з паралельних вигнутих структур. Формування різновидів наноструктур у системі МІ свідчить про фазовий розподіл складових жира, фракціонування інуліну і здатності фракцій інуліну утворювати різні види структур зі складовими молочного жиру в процесі самоорганізації наноструктури МІ.

Результати досліджень свідчать, що внесення інуліну спричиняє змінення наноструктури вершкового масла. На оболонках жирових кульок МІ формуються додаткові інуліно-ліпідні шари, тому збільшується товщина оболонки. Це підвищує їх міцність і запобігає руйнуванню жирових кульок, відповідно, збільшується кількість незруйнованих жирових кульок. Збільшення кількості неушкоджених жирових кульок і утворення в міжглобулярній області об'ємних тривимірних кристалічних агрегатів, розмір яких у 5—25 разів менший, ніж в МК, сприяє формуванню в МІ зернистої структури. Наноструктура зразків МІ також свідчить, що внесення інуліну спричинює змінення механізму руйнування структури масла від крихкого (властивого МК) до в'язкого, запобігає формуванню крихкої шаруватої наноструктури. Встановлено, що формування глобулярної і дендритної наноструктури в зразках МІ, що властиві структурі водного розчину інуліну, свідчить про вплив властивостей інуліну на наноструктуру вершкового масла.

Отже, електронно-мікроскопічні дослідження наноструктури вершкового масла показали, що внесення полісахариду інулін спричинює подрібнення структурних елементів у 5—25 разів, більша частина їх знаходиться в нанорозмірному діапазоні 1—100 нм. Механізм подрібнення пов'язаний з поверхневими явищами: адсорбцією поверхнево-активних речовин (ПАР) на поверхнях поділу фаз і наноелементів — нанозерен, наноблоків і агрегатів.

Показники консистенції і структури зразків МІ і МК наведені в табл. 1, з якої видно, що внесення полісахариду інулін сприяє збільшенню термостійкості вершкового масла і покращує здатність його структури утримувати рідку фазу жиру. Це можна пояснити тим, що завдяки міжмолекулярним зв'язкам інулін добре зв'язує ЛПГ, які витісняються в процесі формування наноструктури масла на поверхню наноелементів. Розвинена поверхня наноелементів меншого розміру і міжмолекулярні зв'язки жирової фази з тривимірною структурою розчину інуліну у водній фазі масла поліпшують адсорбційні властивості і здатність наноструктури МІ утримувати рідкий жир, запобігають його виділенню зі структури масла і, відповідно, сприяють підвищенню термостійкості продукту.

Ступінь руйнування структури зразків МК перевищує 82 %, що свідчить про перевагу в них кристалізаційної структури. Ступінь руйнування структури МІ менша і знаходиться в межах 71,2—72,6 %, що відповідає оптимально твердій і пластичній консистенції продукту та має виражений коагуляційний характер структури.

Коагуляційні елементи забезпечують зв'язність і еластичність структури продукту. На перевагу коагуляційних зв'язків у зразках МІ вказує вищий рівень, ніж у МК, показника відновлення структури. Останнє можна пояснити високим вмістом у МІ адсорбційно зв'язаної водної фази [11].

Таблиця 1. Показники структури і консистенції вершкового масла

Показник	Температура зберігання масла, °С					
	5	0	-18°С			
			Тривалість зберігання, місяць			
	1	3	6	12		
1	2	3	4	5	6	7
Масло «Імунне» (з інуліном), м.ч. жиру 69,5 %						
Термостійкість	0,895	0,885	0,889	0,904	0,913	0,923
Витікання рідкого жиру, %	5,14	6,36	6,32	6,21	6,18	6,16
Ступінь руйнування структури, %	72,3	72,6	72,7	72,5	72,2	72,1
Відновлюваність структури, %	92,1	92,3	92,4	92,2	92,0	92,0
Твердість, Н/м ²	18,6	-	19,3	23,3	26,7	28,4
Зв'язність структури, tg α	0,228	0,225	0,225	0,223	0,221	0,220
Масло без добавок (контроль), м.ч. жиру 72,5%						
Термостійкість,	0,830	0,824	0,825	0,829	0,830	0,832

1	2	3	4	5	6	7
Витікання рідкого жиру, %	7,9	7,98	8,11	7,86	7,78	7,76
Ступінь руйнування структури, %	82,1	82,8	83,1	82,6	82,5	82,5
Відновлюваність структури, %	70,3	70,1	70,0	70,2	70,8	70,8
Твердість, Н/м ²	29,8	28,8	28,7	35,7	39,2	40,3
Зв'язність структури, tg α	0,134	0,131	0,130	0,126	0,121	0,118

Коагуляційну і кристалічну структуру масла характеризує зв'язність структури. У маслі з кристалічною структурою зв'язність структури менша, ніж у коагуляційній. Згідно з [9], кращій консистенції і структурі відповідає зв'язність в межах $\text{tg} = 0,150\text{--}0,250$. Результати досліджень показали, що в зразках МІ, порівняно з МК, одночасно зростає зв'язність структури та її здатність утримувати рідкий жир. Збільшення зв'язності структури МІ порівняно з МК пояснюється посиленням адгезії на поверхнях поділу фаз і нанoeлементів. Посиленню адгезії сприяє збільшення загальної поверхні поділу в зразках МІ внаслідок зменшення величини елементів структури.

Результати проведених досліджень показали, що керуючи розмірами і формою елементів наноструктури, вершковому маслу можна надати нових фізико-хімічних властивостей, регулювати його структуру і консистенцію. Змінення властивостей продукту, структурні елементи якого знаходяться в нанорозмірному інтервалі, обумовлено не тільки зменшенням величини структурних елементів, а й домінуючою роллю поверхонь розподілу суміжних фаз нанoeлементів.

Внесення інуліну спричинює тонке і рівномірне диспергування плазми у вершковому маслі. При цьому зменшується кількість краплин плазми діаметром більше 5 мкм і знижується обсяг плазми між ними. Інουλін підвищує вміст міцнозв'язаної вологи [14], тому зменшується кількість вільної вологи, диспергованої в структурі МІ на макрорівні. До 80 % вологи диспергованої на нанорівні.

Отримані дані підтвердили можливість регулювання фізико-хімічних властивостей і консистенції вершкового масла, керуючи формуванням його наноструктури. Вони слугуватимуть теоретичною базою новоствореного напрямку розробки нанотехнологій вершкового масла та інших харчових продуктів функціонального призначення.

Висновки

Розроблено вершкове масло з інуліном і його технологія, отримано три патенти України. Встановлено, що внесення інуліну поліпшує органолептичну оцінку, структуру і консистенцію вершкового масла, сприяє формуванню багатофункціональних властивостей (лікувально-профілактичних і діє-

тичних) у вершковому маслі, впливає на формування наноструктури (сприяє зменшенню елементів структури в 5—25 разів, величина яких знаходиться в нанорозмірному діапазоні 1—100 нм), на морфологію й архітектуру наноелементів впливають властивості внесеного інуліну. За результатами клінічної апробації та висновками МОЗ України рекомендовано використання вершкового масла з інуліном у лікувально-профілактичному та дієтичному харчуванні.

Результати досліджень показали, що інулін доцільно використовувати для управління формуванням наноструктури вершкового масла, що дозволить регулювати його якість і підвищити здатність до зберігання. Дані досліджень слугуватимуть теоретичною основою для розроблення нанотехнологій вершкового масла та інших харчових продуктів функціонального призначення.

Література

1. *Roco M.C., Williams R.S. and Alivisatos P. Nanotechnology Research Directions: IWG IV Workshop Report Vision for Nanotechnology in the Next Decade.* Dordrecht — Boston — London: Kluwer Academic Publishers. — 2000.
2. *Weiss J., Takhistov P. and Clements D.J. Functional Materials in Food Nanotechnology.* J. of Food Science. — 2006. — № 71 (9). — P. 107—116.
3. *Шендеров Б. Функциональные молочные продукты и нанотехнологии.* ЕС — Россия: Сотрудничество в области биотехнологии сельского, лесного хозяйства и пищи, сессия IV Международного симпозиума, 30 авг. — 2 сент. 2007, Россия: Суздаль.
4. *Филиппов А. Перспективы и особенности использования нанотехнологии в пищевой промышленности ЕС — Россия: Сотрудничество в области биотехнологии сельского, лесного хозяйства и пищи, сессия IV Международного симпозиума, 30 авг.— 2 сент. 2007, Россия: Суздаль.*
5. *Poole J.R., Owens F. Introduction to Nanotechnology* Wiley: Interscience. — 2003. — P. 330.
6. *Гріненко І.Г. Інулін — інгредієнт функціонального та лікувального харчування.* Київ: Знання України, 2003. — 112 с.
7. *Spiegel I.E. Safetti end Benefitis of Fructiooligosaccharides fs Food Ingredients.* Food Technologi. — 1994. — № 10. — P. 85–90.
8. *Precht D., Buchheim W. Electronenmikroskopische Untersuchungen die physikalische Struktur von Streichfetten in Butter. 2. Die Mikrostruktur der Zwischenglobularen Fettphase in Butter.* Milchwissenschaft, Bd.35, H.7. — S. 393—398.
9. *Адрианов Ю.П., Вьшемирский Ф.А., Качераускис Д.В., Климов В.П., Красуля Н.Г., Мирин В.Г., Пояркова Г.С., Чернышова Н.В. и Чужова З.П. Производство сливочного масла.* Справочник. — Москва: Агропромиздат, 1998. — 303 с.
10. *Качераускас Д. Реологические и некоторые структурные свойства сливочного масла и методы их определения/Труды Литовского филиала ВНИИМС.* — Вильнюс: Минтис. — 1974. — Т. 9. — С.123—145.
11. *Казанский М. Н. Вопросы образования структуры и консистенции сливочного масла в свете физико-химических изменений молочного жира / Молочная промышленность.* — 1960. — № 10. — С. 35—37.
12. *Haighton A. G. Worksoftening Margarine and Shorter/J. Amer., Seifen, Anstrichmittel.* — 1963. — №6. — S. 479—482.

13. *Rashevskaya T., Gulyi I., Pryadko M., Nishchenko M. and Likhtorovich S.* Positron Annihilation Study of Structural Relaxation and Crystallization of Glassified Milk Fat. *International Agrophysics*. — 2000.— Vol 14. — P. 221–225.

14. *Rashevskaya T.* The Influence of Inulin Additives in the Water Composition During the Processing of Butter// *Water management in the design and Distribution of Quality Foods*^ *International Simposium*. 30 May — 4 June 1998. — Helsinki, Finland. — 1998. — P. 197—199.

НАНОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЛИВОЧНОГО МАСЛА С ИНУЛИНОМ

Т.А. Рашевская, С.В. Иванов

Национальный университет пищевых технологий

В университете разработано сливочное масло с инулином, полученным из растительного сырья. Методом электронной сканирующей микроскопии исследованы его микро- и наноструктура. Выявлено, что внесение инулина способствует уменьшению элементов межглобулярной наноструктуры в 5—25 раз. Кристаллические слои оболочек жировых шариков, поверхностные слои кристаллических агрегатов и наноблоков в $МИ_{св}$ и после его хранения при 5 °С ($МИ_5$) имеют дендритную наноструктуру. Выявлены фрактальные проявления иерархической соподчиненности элементов в наноструктуре $МИ_{св}$ и $МИ_5$. Установлено, что на формирование наноструктуры $МИ$, архитектуру ее наноэлементов влияют свойства инулина. Выявлено, что внесение инулина оказывает многофункциональное действие. Согласно выводов МОЗ Украины $МИ$ рекомендовано использовать в лечебно-профилактическом и диетическом питании.

Ключевые слова: сливочное масло, инулин, наноструктура, нанопоры, консистенция, хранимостпособность.