

УДК 637.2 — 04/07

*Т.О. Рашевська,
д-р техн. наук,
С.В. Іванов, д-р хім. наук,
Національний університет
харчових технологій*

**МІКРОСТРУКТУРНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА
ТВЕРДІННЯ І СПІВКРИСТАЛІЗАЦІЮ
ГЛІЦЕРИДІВ МОЛОЧНОГО ЖИРУ**

Наведено результати мікроструктурних досліджень впливу режимів швидкого і повільного охолодження розплаву молочного жиру на формування кристалотворень та їх структуру, величину, співкристалізацію груп гліцеридів і температури їх плавлення.

Ключові слова: гліцериди, кристалізація, диференціація, дискретні групи, сфероліти, фракціонування.

Численними дослідженнями встановлено, що показники структури і консистенції вершкового масла залежать від хімічного складу молочного жиру сировини, режиму охолодження вершків і відповідно кристалізації жирової фази. Специфічною особливістю кристалізації молочного жиру є дискретний, роздільний і послідовний характер викристалізації гліцеридів із розплаву жиру у вигляді окремих груп-фракцій змішаних кристалів. Кількість дискретно викристалізованих груп гліцеридів та температурні зони їх плавлення визначаються хімічним складом жиру і режимами його охолодження.

Збільшення глибини і швидкості охолодження молочного жиру сприяє зниженню кількості високоплавких гліцеридів (ВПГ) в твердій фазі. Зменшення глибини і швидкості охолодження жиру підвищує кількість затверділих ВПГ, що не розплавляються при температурах вищих 20 °С. Вплив режимів охолодження на твердіння середньоплавких гліцеридів (СПГ) і співкристалізацію груп гліцеридів мало вивчено.

Характер твердіння і співкристалізації гліцеридів молочного жиру суттєво впливає на структуру та консистенцію вершкового масла, особливо на такі його властивості, як пластичність, твердість, термостійкість, гомогенність розподілу рідкої та твердої фаз жиру [1]. Тому представляє інтерес вивчення методом мікроструктурного аналізу закономірностей співкристалізації гліцеридів молочного жиру в залежності від швидкості та режимів охолодження. Для глибшого проникнення в закономірності співкристалізації гліцеридів молочного жиру вивчали механізм утворення сферолітів молочного жиру та формування їх структури. Для вивчення закономірностей твердіння та співкристалізації груп гліцеридів у твердій фазі молочного жиру готували мікроскопічні препарати із розплаву жиру, які охолоджували при різних режимах. При виготовленні препаратів молочний жир витримували при 60... 65 °С протягом 3...4 год., щоб зняти передісторію його попереднього твердіння. Потім краплину розплаву жиру наносили на попередньо підігріте предметне скло та покривали покривним.

Для вивчення закономірностей співкристалізації гліцеридів і механізму формування сферолітів при твердінні молочного жиру використовували декілька швидкостей охолодження препаратів. Для охолодження підготовлені препарати поміщали в ультратермостат Геплера, який доукомплектували спеціальним редуктором із електродвигуном. Швидкість охолодження регулювали обертанням головки контактного термометра через редуктор.

© Т.О. Рашевська, С.В. Іванов, 2012

Препарати молочного жиру охолоджували за наступними режимами:

1. Швидке охолодження до $-10...-15$ °C зі швидкістю 50 °C/хв.;
2. Швидке охолодження до 0 °C зі швидкістю 50 °C/хв.;
3. Повільне охолодження до $4...5$ °C зі швидкістю 1 °C/год;
4. Дуже повільне охолодження до $4...5$ °C зі швидкістю $0,5$ °C/год;
5. Дуже повільне охолодження до $4...5$ °C зі швидкістю $0,1$ °C/год.

Охолоджені препарати переглядали в поляризованому світлі на мікроскопі МИН-8 із мікрофотонасадкою. Освітлювальну систему мікроскопу настраювали за методом Келера.

Для перегляду препаратів та визначення температурних зон плавлення утворених змішаних кристалів гліцеридів, препарати поміщали в спеціально виготовлену охолоджувально-нагрівальну камеру, яку закріпили на предметному столику мікроскопа. Температуру жиру на препараті вимірювали за допомогою мідьконстантанової проградуйованої термопари, яку вводили під покривне скло препарату, та дзеркального мікроамперметр-вольтметра типу М-95. Нагрівання мікроскопічних препаратів жиру здійснювали шляхом рівномірного підвищення зі швидкістю 1 °C/хв. температури води, яка проходила через столик від ультратермостату Геплера. Мікроструктуру утворених на препаратах сферолітів фотографували. Розміри сферолітів визначали на мікрофотографіях за шкалою об'єктмікрометра, сфотографованої при тих же збільшеннях. Вивчали механізм формування та структуру сферолітів молочного жиру.

При охолодженні препаратів зі швидкістю 50 °C/хв до температур $-10...-15$ °C (режим 1) спостерігали під мікроскопом у поляризованому світлі блискучий, злегка відсвічуваний рівномірний білий фон із вкрапленнями точкових дрібних крупинок. Отримати виразні знімки цієї структури не вдалося. Вірогідно при режимі охолодження відбувалось часткове склування гліцеридів жиру. На препаратах, окрім засклованого напівтвердого жиру, спостерігали видимі точкові кристали, а також дрібні кристалики нерозрізної форми, які надавали препарату деякого блиску та світіння. Останнє характерно для кристалічної форми жиру. В процесі поступового нагрівання охолодженого препарату спостерігали при $5...10$ °C часткове відшарування препарату від покривного скла, виникали окремі ділянки меншої яскравості, що можна пояснити частковим розскловуванням з одночасною кристалізацією шляхом переходу частини гліцеридів із засклованого стану. В процесі подальшого нагрівання препарату до $13...17$ °C відмічали потемніння поля зору. При $17...21$ °C поле препарату було темним, залишались лише дрібні світні точки та штрихи, які розплавлялися при $20...25$ °C. Ці утворення, вірогідно, представляли собою змішані кристали а-поліморфної модифікації високоплавких (ВПГ) та частково середньоплавких (СПГ) груп гліцеридів [2, 3].

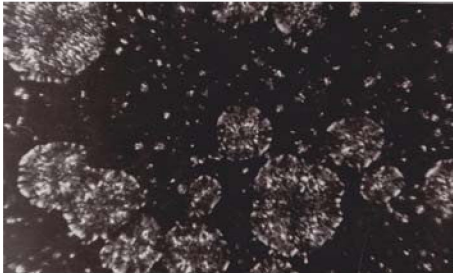
При охолодженні препаратів зі швидкістю 50 °C/хв. до 0 °C (режим 2) утворювалися дрібні кристали ($1...2$ мкм) округлої форми (рис. 1). Кінцева температура їх плавлення знаходилася в інтервалі $28...32$ °C з максимумом плавлення СПГ $20...23$ °C. При режимах повільного охолодження на препаратах молочного жиру утворюються сфероліти. У процесі їх росту послідовно співкристалізуються декілька груп змішаних кристалів із різними температурними зонами плавлення.

На рис. 2 наведено знімки препаратів жиру, повільно охолоджених. Охолодження жиру зі швидкістю 1 °C/год сприяло утворенню сферолітів діаметром $80...150$ мкм. Морфологія сферолітів вказує на ритмічний процес їх росту. Ритмічність формування сфероліта пов'язана із виділенням теплоти в процесі кристалізації дискретних груп гліцеридів і зміненням хімічного складу розплаву.

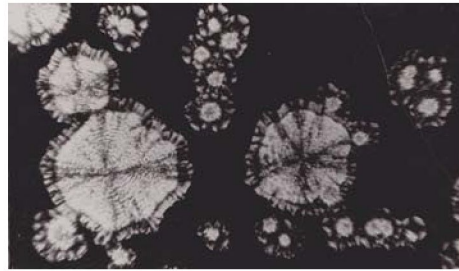
Концентричні кільця сферолітів складаються із радіально орієнтованих відносно центру сфероліта голчастих кристалів, що більш наглядно видно на мікрофотографіях рисунка 3. Представлений сфероліт утворений $4...5$ шарами змішаних голчастих кристалів, оточених шаром оптично менш щільних, найбільш легкоплавких



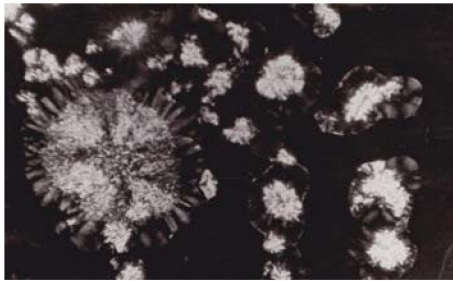
Рис. 1. Препарат молочного жиру, охолоджений зі швидкість 50 °C/хв. до 0 °C x140



а

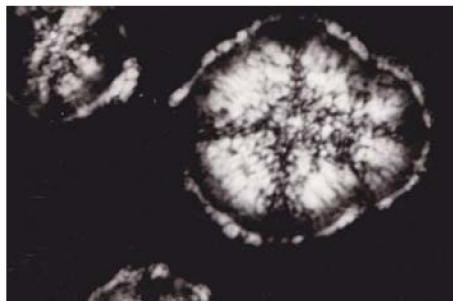


б



в

Рис. 2. Мікрофотографії препаратів молочного жиру, охолоджені зі швидкістю: а — 1 °C/хв., б — 0,5 °C/хв., в — 0,1 °C/хв. до 4..5 °C x107



а



б

Рис. 3. Сфероліти препаратів молочного жиру, охолоджених зі швидкістю: а — 1 °C/хв., б — 0,5 °C/хв до 4..5 °C (фрагменти рис. 2) x550

кристалів. За сферолітом видно невеликий шар оптично більш щільних змішаних кристалів. Гліцериди цього шару, співкристалізуючись, виділилися в окрему групу, оскільки за конфігурацією, вірогідно, суттєво відрізняються від гліцеридів серцевини сфероліта.

Сфероліти оточені слабкосвітним ореолом із СПГ. Навколо ореолів проглядають окремі дрібні слабкосвітні та досить яскраві сфероліти, також утворені із груп СПГ, температура їх плавлення становить 18...22 °С. У цьому ж діапазоні розплавляється ореол сфероліта. Дискретна кристалізація груп СПГ свідчить про різну конфігурацію вуглеводневих ланцюгів гліцеридів, що входять до цих груп. Окрім крупних сферолітів на препаратах видно велику кількість дрібних точкових кристалів (рис. 2, а) із СПГ. Температура їх плавлення становить 18...20 °С.

Плавлення сфероліта починається при 20 °С із периферійного шару, який при 23 °С повністю розплавляється. При 23 °С спостерігається також майже одночасне розплавлення поверхневого світлого шару із СПГ, що накристалізувалися на кристали ритмічних кілець сфероліта, при цьому зменшується його оптична густина. Потім фронт плавлення поступово просувається до центру сфероліта. Процес плавлення найбільш інтенсивний при 30...33 °С. При 34...36 °С на поверхні центральної частини сфероліта залишились лише окремі кристалоутворення голчастого типу. В інтервалі 37...39 °С настає повне розплавлення сферолітів.

Таким чином, охолодження препарату зі швидкістю 1 °С/год дозволило виявити в молочному жирі групи СПГ, які мають ідентичні температурні інтервали плавлення, але дискретно кристалізуються. Їхня дискретна кристалізація зумовлена, вірогідно, структурними чинниками.

При охолодженні зі швидкістю 0,5 °С/год на препараті жиру утворюються сфероліти двох основних видів (рис. 2, б): перший — крупні ($d \sim 250\text{...}300$ мкм) і другий — менші ($d \sim 60\text{...}10$ мкм). Сфероліти обох видів складаються із серцевини, оточеної ореолами. Серцевина сферолітів першого виду складається із 10...15 ритмічних шарів змішаних кристалів голчастого типу (рис. 2, б). Оптична густина цих кристалів значно більша, ніж голчастих кристалів сферолітів препаратів, охолоджених зі швидкістю 1 °С/хв. Збільшення оптичної густини пов'язано зі зростанням голчастих кристалів по нормалі до площини сфероліта за рахунок послідовної та пошарової накристалізації на них гліцеридів, ідентичних за конфігурацією гліцеридних ланцюгів, але більш легкоплавких, як показав процес плавлення сферолітів. Ореолі сферолітів складаються із закручених фібрил, які є продовженням фібрилярної полікристалічної структури серцевини сфероліта.

Сфероліти починають плавитись із ореолів, інтервал плавлення яких становить 19...25 °С. При 22...23 °С зменшується оптична густина серцевини сфероліта, оскільки розплавляється група СПГ поверхневого шару змішаних кристалів. При 26 °С розплавляється наступна група гліцеридів поверхневого шару. Після розплавлення цих груп концентричні кільця та їх змішані кристали голчастого типу видно найбільш чітко. Поступово зменшується розмір серцевини сфероліта. Найбільш інтенсивно плавлення змішаних кристалів відбувається при температурі 32...35 °С. При 37...38 °С проглядають окремі кристали в центрі серцевини сфероліта. Температура повного розплавлення сфероліта становить 40,0...41,5 °С.

За даними досліджень запропоновано механізм формування сферолітів першого виду. Із найбільш високомолекулярних ВПГ розплав молочного жиру утворюється «життездатний» голчастий кристал, який шляхом розщеплення перетворюється в зародковий сфероліт, що зростає в радіальному напрямку. За рахунок періодичного та послідовного розгалуження голчастих кристалів утворюється тонка фібрилярна полікристалічна структура сфероліта, що слугує «каркасом», на який накристалізуються гліцериди розпаву жиру. По мірі досягнення порога переохолодження гліцериди розпаву послідовно та пошарово співкристалізуються за принципом ідентичності та подібності гліцеридних ланцюгів із тригліцидами кристалів фібрилярної структури, утворюючи змішані кристали. Відбувається пошарове обростання фібрилярної структури сфероліта.

В процесі зростання сфероліта незакристалізовані гліцериди відштовхуються фронтом росту. У зв'язку з тим, що низькомолекулярні гліцериди кристалізуються

значно гірше високомолекулярних, по мірі зростання сфероліта в розплаві збільшується кількість низькомолекулярних гліцеридів. Незакристалізовані низькомолекулярні гліцериди, переміщуються разом із фронтом росту сфероліта поступово, по мірі досягнення порога переохолодження, залучаються до процесу кристалізації та утворення змішаних концентричних кристалів кілець сфероліта. У зв'язку із цим по мірі віддалення від центру сфероліта зменшується молекулярна маса гліцеридів, які утворюють змішані кристали ритмічних кілець, тобто в процесі зростання сфероліта відбувається диференціація гліцеридів за молекулярною масою. Це добре узгоджується із характером плавлення сфероліта, тобто послідовним просуванням фронту плавлення від периферійного шару до центру сфероліта.

Високий вміст в розплаві жиру домішки у вигляді низькомолекулярних гліцеридів і їхньої локалізації на межах зростаючого кристала спричинює викривлення фронту росту з утворенням відгалужень у вигляді додаткових секторів сфероліта (рис. 2, б).

Серцевина сферолітів другого виду утворена оптично щільними яскравими кристалами, довгі осі яких орієнтовані по нормалі до площини сфероліта. Зовнішній вигляд кристалів нагадує тичинки квітки (рис. 4), що розташовані у вигляді концентричних кілець. Щільність, яскравість та блиск цих кристалів поступово зростає. Після 3...6 добової витримки закристилизованого при 0...5 °С препарату, блиск кристалів підсилюється, серцевина сфероліта світиться яскравим світло-жовтим кольором. Аналіз знімків дозволяє припустити, що ореоли сферолітів складаються із закручених тонких фібрил.

Сфероліти другого виду також починають плавитись із периферійної частини ореолів при температурі 14...15 °С. Фронт плавлення послідовно просувається до центру сфероліта. Найбільш інтенсивно ореоли плавляться при 19 °С, а повністю розплавляються при 20...23 °С. водночас при 19...22 °С розплавляється верхній шар серцевини сфероліта. При температурі 25...26 °С спостерігається плавлення наступного шару кристалоутворень серцевини; кристали, з яких вона складається, втрачають яскравість та світіння. При 28...32 °С спостерігається найбільш інтенсивне плавлення серцевини сфероліта, зменшуються її щільність та розміри. При температурі 33...34 °С видно окремі кристалоутворення серцевини сфероліта, які повністю розплавляються при температурі 35...36 °С.

Характер плавлення сферолітів другого виду вказує, що СПГ, які розплавляються в температурному інтервалі 19...22 °С, фактично складаються із двох дискретних груп; одна з них співкристалізується із високоплавкими гліцеридами, утворюючи верхній шар тичинкоподібних змішаних кристалів серцевини сфероліта, друга — структурну решітку ореолу сфероліта. Той факт, що групи СПГ, які мають однакові температури плавлення, кристалізуються дискретно, свідчить про відмінності в конфігурації гліцеридних ланцюгів гліцеридів цих груп.

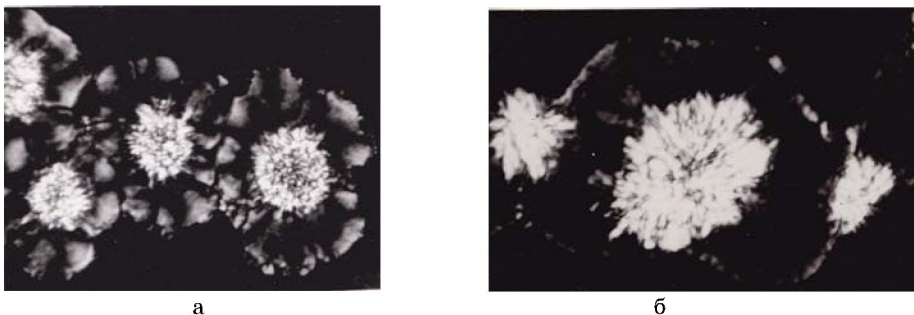


Рис. 4. Сфероліти препарату молочного жиру, охолодженого зі швидкістю:
а — 0,5 °С/хв., б — 0,1 °С/хв. (фрагменти рис. 2) x380

Порівняння температурних інтервалів плавлення сферолітів першого та другого видів показує, що температури плавлення груп, як ВПГ, так і СПГ, поширено закристалізованих у процесі формування серцевини сферолітів першого виду, на 3...5 °С вищі за температури плавлення аналогічних шарів змішаних кристалів серцевини сферолітів другого виду. Відповідно температури плавлення груп СПГ, що утворили ореоли сферолітів першого виду, також вищі на 2...5 °С ніж температури плавлення відповідних груп гліцеридів змішаних кристалів сферолітів другого виду.

Мікроструктурні дослідження виявили тенденцію до співкристалізації більш високоплавких груп ВПГ і СПГ при формуванні сферолітів першого виду та відповідно більш легкоплавких груп цих же гліцеридів при формуванні сфероліта другого виду. Вона свідчить про подібність конфігурації гліцеридних ланцюгів ВПГ і СПГ, які утворюють один вид сферолітів.

Подальше уповільнення швидкості охолодження препаратів до 0,1 °С/год сприяє підсиленню диференціації гліцеридів (рис. 2, в). При цьому в чотири рази збільшується розмір сферолітів та суттєво зростає оптична густина (яскравість світла) серцевини сферолітів, особливо другого виду.



Рис. 5. Сфероліт препарату молочного жиру, охолодженого зі швидкістю 0,1 °С/хв. до 4...5 °С (фрагмент рис. 2) x 550.

Збільшення розміру сферолітів пов'язано із додатковою диференціацією гліцеридів. Утворюються нові шари змішаних кристалів, які послідовно кристалізуються в радикальному напрямку. Одночасно зменшуються лінійні розміри кристалів серцевини сферолітів першого виду, збільшується їх щільність та виникає яскраве світіння. Ореоли сферолітів складаються із закручених фібрил, що добре видно на знімку сфероліта (рис. 5), проглядає також і шаруватість фібрил. Змішані кристали, що утворюють серцевину сфероліта першого виду, яскраві, блискучі, випромінюють жовтувате світло. При віддаленні від центру сфероліта щільність кристалів збільшується та зростає яскравість серцевини, що, певно, пов'язано із залученням до процесу кристалізації низькомолекулярних легкоплавких гліцеридів молочного жиру. Порівняно із попереднім режимом охолодження різко збільшується яскравість серцевини та розмір сферолітів другого виду. Блиск та світіння її значно яскравіші, ніж серцевини сферолітів другого виду, які за формою схожі на тичинки квітки і сяють яскраво-жовтим світлом.

Плавлення сферолітів починається із ореолів. Ореол сфероліта першого виду розплавляється в інтервалі температур 15...26 °С. Найбільш інтенсивне плавлення відбувається при температурі 20...21 °С. Серцевина плавиться в інтервалі 28...45 °С. При температурі 28 °С частково розплавляється її поверхневий шар, тому більш чітко видно кристали серцевини, яскравість їх зберігається. В процесі плавлення розмір серцевини зменшується та розплавляється поверхневий шар кристалів. При 35,0...36,5 °С серцевина інтенсивно темнішає і втрачає свою яскравість. Ореол сфероліта другого виду розплавляється при температурі 13...20 °С, найбільш інтенсивно — при 15...16 °С. Інтервал плавлення серцевини становить 28...38 °С. Зростання інтенсивності плавлення відмічається при 28, 31...32 та 34...35 °С; яскравість зникає при 34...36 °С. Остаточне розплавлення кристалоутворення настає при 45 °С.

Із викладеного виявлено, що із зменшенням швидкості охолодження збільшується кількість дискретно викристалізованих груп гліцеридів, розширюється температурний діапазон плавлення жиру, підвищується температура повного розплавлення сферолітів.

Спостереження за характером плавлення кристалоутворень препаратів показало, що у формуванні різних видів сферолітів беруть участь групи гліцеридів, які мають однакові температури плавлення. Дискретна кристалізація гліцеридів, які плавляться в одному температурному інтервалі, свідчить про різну структуру цих гліцеридів. У той же час в процесі росту одного сфероліта співкристалізується декілька груп гліцеридів, які суттєво різняться температурами плавлення, що свідчить про ідентичність їх будови. Отже, в процесі кристалізації відбувається диференціація гліцеридів, яка зумовлена хімічним складом груп гліцеридів.

Морфологія сферолітів і характер плавлення дискретних груп гліцеридів свідчить про шаруватість радіально орієнтованих кристалів голчастого типу. Шари відкладаються не тільки у радіальному напрямку, а й по нормалі до площини сфероліта.

Процес кристалізації не закінчується ростом сфероліта в радіальному напрямку. Всередині сферолітів продовжується процес зростання щільності та збільшення товщини кристалів. Відбувається подальша кристалізація гліцеридів розплаву, захоплених виступами та впадинами кристалоутворень сфероліта в процесі його росту. Водночас відбувається структурна реорганізація молекул гліцеридів у змішаних кристалах, покращується їхнє пакування. Про це свідчить зростання оптичної густини сферолітів та виникнення яскравості світіння кристалоутворень серцевини сферолітів. Яскравість світіння сильніше виражена у сферолітах другого типу, серцевина яких утворена більш легкоплавкими групами ВПГ та СПГ.

Якщо враховувати, що тільки гліцериди найбільш легкоплавкої п'ятої та частково четвертої фракції можуть утворювати яскравосвітні кристалоутворення, то поява яскравості світіння кристалоутворень серцевини сферолітів жиру свідчить про те, що в процесі перекристалізації змішаних кристалів відбувається додаткова диференціація гліцеридів, виділяються дискретні групи гліцеридів п'ятої та частково четвертої фракції [3]. Ці гліцериди співкристалізуються у поверхневому шарі кристалоутворень серцевини, утворюють стійку кристалічну структуру, про що свідчать високі температури плавлення цього шару. Причому, із зменшенням швидкості охолодження від 0,5 °С/год до 0,1 °С/год температура плавлення яскравосвітних кристалів підвищується на 10 °С. утворення стійкої кристалічної структури сфероліта пов'язано з фазовими перетвореннями: перекристалізацією гліцеридів змішаних кристалів, поліморфною перебудовою кристалічної структури. Підвищення щільності упаковки сферолітів та зростання яскравості світіння кристалів є процесом вторинної кристалізації. Механізм вторинної кристалізації є дуже складним і потребує подальших глибоких досліджень.

Таким чином, мікроструктурні дослідження показали, що при повільному охолодженні молочного жиру формуються сфероліти, які представляють собою агрегати змішаних кристалів, що радіально орієнтовані відносно центру сфероліта. Із найбільш високомолекулярних високоплавких гліцеридів розплаву молочного жиру виникає голчастий кристал, який шляхом розщеплення перетворюється в зародковий сфероліт. Зростання зародкового сфероліта відбувається внаслідок послідовного розщеплення голчастих кристалів. Формується фібрилярна полікристалічна структура сфероліта, яка слугує «каркасом» для наступної накристалізації гліцеридів розплаву жиру. При досягненні порогу переохолодження гліцериди розплаву послідовно та пошарово співкристалізуються із гліцеридами кристалів «каркасу» за принципом ідентичності та подібності гліцеридних ланцюгів, утворюючи змішані кристали концентричних кілець сфероліта. Процес утворення сферолітів молочного жиру має ритмічний характер. Ритмічність спричиняється температурними змінами та змінами хімічного складу розплаву.

Незакристалізовані гліцериди переміщуються разом із фронтом росту сфероліта. При віддаленні фронту росту від центру сфероліта збільшується кількість низькомо-

лекулярних гліцеридів. В процесі росту сфероліта відбувається фракціонування гліцеридів за молекулярною масою та їх структурою. Поверхні периферичних кристалоутворень сусідніх сферолітів зрощуються, утворюючи спільну основу структури твердої фази жиру. Із зниженням швидкості охолодження збільшується величина сферолітів і їхня оптична густина, особливо серцевини другого виду сферолітів, основа структури якої складається із другої, більш легкоплавкої, групи ВПГ. Повільне охолодження надає можливість молекулам гліцеридів краще підлаштуватися один до одного за принципом «виступ до впадини» (згідно уявленням А.І. Китайгородського). При цьому підсилюється диференціація гліцеридів відповідно з конфігурацією та довжиною вуглеводневих ланцюжків. Відповідно підвищується щільність упаковки молекул гліцеридів при утворенні змішаних кристалів. У зв'язку з щільнішою упаковкою молекул збільшується кількість вузьких груп гліцеридів, розширюється загальний діапазон їх плавлення, підвищується температура кінцевого плавлення затверділого жиру.

Висновки. Встановлено вплив швидкості охолодження розплаву молочного жиру на форму, величину та структуру кристалоутворень, співкристалізацію дискретних груп ВПГ і СПГ та температури їх плавлення. При швидкому охолодженні розплаву утворюються дрібні кристали округлої форми. При режимах повільного охолодження формуються сфероліти. Виявлено здатність молочного жиру утворювати декілька видів сферолітів. Виникнення і зростання сферолітів відбувається внаслідок послідовного розщеплення голчастих кристалів і фракціонування гліцеридів за молекулярною масою та структурою. Утворення сферолітів — процес ритмічний, пов'язаний із зміненням температури і хімічного складу розплаву в процесі росту сферолітів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Твердохлеб Г.В., Сажин Г.Ю., Риманускас Р.И.* Технология молока и молочных продуктов. — М.: ДеЛи принт, 2006. — 616 с.
2. *Вергелесов В.М.* Влияние полиморфизма в молочном жире на структуру сливочного масла. — Изв. Вузов. Пищевая технология. — 1962. — №. С. 59—64.
3. *Gulyi I.S., Rashevskaya T.A.* / Co-crystallization of Glycerides of Milk Fat // Protein and Fatglobule modification by Heat Treatment, Homogenization and other Technological Means for High Quality Dairy Products: International Dairy Federation Seminar, 25—28 august 1992: materials seminar. — Munich (Germany). — 1992. — P. 81—88.

Т.А. Рашевская, С.В. Иванов

Микроструктурные исследования влияния скорости охлаждения на твердение и сокристаллизацию глицеридов молочного жира

Приведены результаты микроструктурных исследований влияния режимов быстрого и медленного охлаждения расплава молочного жира на формирование кристаллообразований, их структуры, величины, сокристаллизацию групп глицеридов и температуры их плавления.

Ключевые слова: глицериды, кристаллизация, дифференциация, дискретные группы, сферолиты, фракционирование.

T.A. Rashevskaya, C.V. Ivanov

Microstructural studies of the effect of cooling rate on hardening and co-crystallization of milk fat glycerides

The results of microstructural researches of the effect of fast and slow cooling of butterfat's melt on the formation of crystallization and their structure, size, glycerides groups co-crystallization and their melting temperature are provided.

Key words: glycerides, crystallization, differentiation, discrete groups, spherolith, fractionation.

e-mail: jimp@ukr.net

Надійшла до редколегії 16.04.2012 р.