

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

УДК 664.3:665

Лозова Т. М.,

lozovatm@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4681-5849,

Researcher ID: E-9830-2019,

д.т.н., проф.,

професор кафедри товарознавства, митної справи та управління якістю,

Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМОРФНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ТРИГЛІЦЕРИДІВ ЖИРУ З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ У ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ

Анотація. У статті наведено результати сучасних наукових досліджень щодо поліморфних перетворень у жировій фракції кондитерської продукції під час її зберігання. Значна увага зарубіжних науковців приділяється дослідженням, пов'язаним із вивченням кристалізації і трансформацією поліморфної основи в динаміці температури триацилгліцеролів на основі пальмової, лауринової кислот та олій. Будучи багатообіцяючою альтернативою какао-масла (СВ), олеогелі можуть запобігти утворенню "посивіння" в шоколаді. Досліджено вплив різних добавок на уповільнення поліморфних перетворень тригліцеридів різних жирів для кондитерської галузі. Гліцериди можуть існувати в декількох поліморфних формах. Поліморфізм гліцеридів досить складний і пов'язаний із відмінностями в упаковці молекул у кристалічних структурах. Тому невеликі інтервали гліцеридів досить чутливі до змін поліморфних форм і слугують для цілей їх ідентифікації. Найбільш різноманітним є поліморфізм тригліцеридів. Поліморфні форми мають властивість переходити одна в іншу. Однак цей процес незворотний, тобто відбувається тільки у напрямку від низькоплавких і менш стабільних форм до високоплавких стабільних. Швидке охолодження розплаву жиру призводить, як правило, до утворення γ -форми. Винятком слугують лише тригліцериди, які містять кислотні радикали C_{10} і C_{12} . Поліморфні перетворення здійснюються термостатуванням зразка протягом більш або менш тривалого часу за температури, близької до точки плавлення вихідної поліморфної форми. Так, для насичених тригліцеридів із γ -форми, як правило, можуть бути послідовно отримані α -, β' - і β -форми. Зазвичай із підвищенням ступеня чистоти зразка перехід в найбільш стабільну β -форму прискорюється. Однак є дані, які свідчать про те, що цей же ефект може бути досягнутий і додаванням окремих тригліцеридів як добавок, що уповільнюватимуть поліморфні перетворення. Вивчено поліморфні перетворення тригліцеридів кондитерського жиру, що застосовується для кондитерської продукції, дилатометричним методом. Дилатометричний метод використовують для визначення вмісту твердих гліцеридів за встановлених температур, а також для дослідження поліморфних перетворень тригліцеридів, характеристики гліцеридного складу жиру. За необхідності складання дилатометричних кривих визначення проводять послідовно за декількох температур, починаючи від найбільш низької. Потім витримують дилатометр за кожної температури до досягнення постійного рівня замикаючої рідини та зазначають показання для кожної точки. Автором статті встановлено, що борошно соєве знежирене, моногліцериди дистильовані і соєвий фосфатидний концентрат сповільнюють поліморфні перетворення в кондитерському жирі в 1,4-2,2 рази. Ці добавки можна використовувати у вигляді інгібіторів жирого "посивіння" виробів, виготовлених на основі кондитерського жиру.

Ключові слова: поліморфні перетворення, жир, кондитерські вироби, добавки, якість, зберігання.

Lozova T. M.,

lozovatm@gmail.com, ORCID ID:0000-0003-4681-5849,

Researcher ID: E-9830-2019,

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Commodity Science, Customs Affairs and Quality Management,

Lviv University of Trade and Economics, Lviv

RESEARCH OF POLYMORPHIC TRANSFORMATIONS OF FAT TRIGLYCERIDES WITH THE PURPOSE OF IMPROVING THE QUALITY OF CONFECTIONERY PRODUCTS DURING THE STORAGE PROCESS

Abstract. *The article presents the results of modern scientific research on polymorphic transformations in the fat fraction of confectionery products during their storage. Considerable attention of foreign scientists is paid to research related to the study of crystallization and transformation of the polymorphic base in the temperature dynamics of triacylglycerols based on palm, lauric acids and oils. As a promising alternative to cocoa butter (CB), oleogels can prevent graying in chocolate. The influence of various additives on the slowing down of polymorphic transformations of triglycerides of various fats for the confectionery industry was studied. Glycerides can exist in several polymorphic forms. The polymorphism of glycerides is quite complicated and is associated with differences in the packing of molecules in crystal structures. Therefore, small intervals of glycerides are quite sensitive to changes in polymorphic forms and serve for the purposes of their identification. The most diverse is the polymorphism of triglycerides. Polymorphic forms have the ability of transitioning into one another. However, this process is irreversible, that is, it occurs only in the direction from low-melting and less stable forms to high-melting stable ones. Rapid cooling of the fat melt leads, as a rule, to the formation of the γ -form. The only exception is triglycerides, which contain C10 and C12 acid radicals. Polymorphic transformations are carried out by heating the sample for a more or less long time at a temperature close to the melting point of the original polymorphic form. Thus, for saturated triglycerides from the γ -form, as a rule, α -, β' - and β -forms can be successively obtained. Usually, with an increase in the purity of the sample, the transition to the most stable β -form accelerates. However, there is evidence that the same effect can be achieved by adding individual triglycerides as additives that slow down polymorphic transformations. Polymorphic transformations of triglycerides of confectionery fat used for confectionery products were studied by the dilatometric method. The dilatometric method is used to determine the content of solid glycerides at set temperatures, as well as to study polymorphic transformations of triglycerides, characteristics of the glyceride composition of fat. If it is necessary to compile dilatometric curves, the determination is carried out successively at several temperatures, starting from the lowest. The dilatometer is then maintained at each temperature until a constant level of sealing fluid is reached and the readings for each point are noted. The author of the article found that defatted soy flour, distilled monoglycerides and soy phosphatide concentrate slow down polymorphic transformations in confectionery fat by 1.4-2.2 times. These additives can be used as inhibitors of fatty graying of products made on the basis of confectionery fat.*

Key words: polymorphic transformations, fat, confectionery, additives, quality, storage.

JEL Classification: L81

DOI 10.32782/2522-1221-2023-35-05

Постановка проблеми. Збереження якості харчових продуктів під час зберігання має особливу актуальність для сфер торгівлі і виробництва. Харчові продукти, зокрема жировмісні кондитерські вироби, за хімічним складом становлять багатокомпонентні системи, що містять азотисті речовини і ліпіди, вуглеводи та мінеральні сполуки, вітаміни і ферменти. У процесі зберігання кожна з цих сполук піддається складним змінам, які можуть призвести до зниження якості, погіршення органолептичних характерис-

тик продукції та зробити її непридатною для харчування.

Усі процеси, які відбуваються в кондитерських виробках під час зберігання, тісно пов'язані з особливостями хімічного складу й обумовлені впливом навколишнього середовища.

Проблему розроблення раціональних способів зберігання кондитерської продукції можна вирішити тільки на основі глибоких досліджень перебігу основних змін під час зберігання. Водночас важливо також знати характер

взаємозв'язку між продуктами й оточуючим середовищем.

З метою подовження тривалості зберігання кондитерської продукції необхідно загальмувати процеси, які призводять до зниження якості й псування. Властивості продуктів та їх зміну під час зберігання доцільно вивчати за умов багатфакторності внутрішніх та зовнішніх впливів, а зв'язок між змінами продуктів і режимами їх зберігання – на підставі узагальнення результатів експериментальних спостережень.

Поліморфні перетворення жирів найчастіше відбуваються в шоколаді, шоколадних виробках, цукерках, глазуrowаних шоколадною і кондитерською глазур'ю. Внаслідок цього поверхня виробів втрачає блиск, тьмяніє, стає матовою. Потім виникає наліт білуватого кольору у вигляді окремих крапок, що займають все більшу площу та посилюють плямистість до помітного сіруватого відтінку. Подібні зміни стану поверхні називають "посивінням" [1]. Воно погіршує зовнішній вигляд виробів, а після поширення всередину призводить до грубозернистої структури шоколаду, невластивого присмаку й ослабленого аромату. Жирове "посивіння" обумовлено поліморфізмом гліцеридів. Дослідження поліморфних змін гліцеридів жиру як інгредієнту кондитерських виробів дозволить забезпечити високу якість продукції у процесі товаропросування.

Таким чином, окреслена проблема обумовлює доцільність виконання досліджень, які сприяли б вирішенню поставлених завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Атрибути якості харчових продуктів, такі як зовнішній вигляд, здатність до плавлення або термін придатності, значною мірою визначаються поведінкою кристалізації природних жирів і олій, що знаходяться всередині. У свою чергу, така поведінка залежить від поліморфізму та типу станів змішування (евтектична фаза, фаза твердого розчину, утворення молекулярної сполуки), які демонструють їхні основні триацилгліцеринові компоненти [2]. Тому важливо, щоб дослідження кристалізації ліпідів охоплювали від чистих молекулярних компонентів та їх сумішей до справжніх жирів і олій [3]. У зв'язку з цим дослідження здійснюються у напрямку отримання подальших фундаментальних знань про поліморфізм і кристалічну поведінку ліпідних систем різного ступеня складності.

Досліджувалися чисті триацилгліцерини на основі пальмітинової, лауринової та олеїнової кислот (P, L та O відповідно), характерних

для натуральних жирів та олій, таких як сало та пальмова, оливкова і кокосова олії. Послідовно здійснювалися дослідження бінарних та потрійних сумішей, включаючи триацилгліцероли, щоб отримати уявлення про їхні властивості щодо змішаності у твердому стані [4]. Зокрема, суміші склалися з повністю насиченого триацилгліцерину та одного або двох насичених-ненасичених триацилгліцеринів, здатних утворювати молекулярну сполуку. Незважаючи на ймовірну вирішальну роль взаємодій, включаючи триацилгліцероли, що утворюють молекулярну сполуку, у фізичній поведінці природних ліпідів та їх сумішей, фазова поведінка сумішей триацилгліцеринів із такою конфігурацією маловідома. Наступним етапом досліджено кристалічні і термічні властивості сумішей, включаючи натуральні жири, а точніше, бінарні суміші масла какао та стеарину масла ши.

Що стосується дослідження чистих TAG, колориметричні та рентгенівські дифракційні методи були використані для вивчення поліморфного виникнення та поведінки трансформації PPP, LLL, OPO та PPO під час застосування динамічної термічної обробки за різних швидкостей охолодження та нагрівання. Результати показали, що поліморфна зміна при охолодженні, а також послідовність і тип перетворень під час нагрівання залежали від швидкості застосованої термічної обробки [5]. Однак було також виявлено, що ступінь кінетичного впливу залежить від внутрішніх властивостей триацилгліцеринів, таких як довжина ланцюгів жирних кислот або характерний поліморфізм. Евтектична поведінка з частковою змішаністю спостерігалася в метастабільних і стабільних умовах. Крім того, результати, отримані для стабільних бінарних сумішей, показали, що на ступінь змішаності головним чином впливали вміст олеїнової кислоти в ненасиченому компоненті, а також відмінності в розмірі триацилгліцеринів у суміші [6]. З твердофазної змішаності, що спостерігається в потрійних системах, які містять LLL або PPP, було зроблено висновок: треті компоненти можуть впливати на взаємодії змішування, пов'язані з утворенням молекулярної сполуки. Крім того, результати свідчать про те, що вивчені потрійні взаємодії можуть допомогти пояснити поведінку кристалізації їстівних ліпідів, таких як пальмова олія, і бути корисними для структурування жирів [7]. В якості прикладу реальних сумішей жирів, комбінації масла какао та стеарину масла ши в різних пропорціях досліджували

за допомогою колориметричних, рентгенівських дифракційних, спектроскопічних і мікроскопічних методів [8]. Це дозволило охарактеризувати вплив складу на властивості поліморфної кристалізації та перетворення, профіль плавлення та розвиток мікроструктури. Результати, отримані для деяких досліджуваних параметрів, свідчать про те, що можна розглянути конкретні комбінації для його застосування в кондитерських виробках шоколадного типу.

Вивчено кристалізацію та трансформацію поліморфної основи в динаміці температури триацилгліцеролів на основі пальмової, лауринової кислот та олій [9-11]. Будучи багатообіцяючою альтернативою какао-масла (СВ), олеогелі можуть запобігти утворенню “посивіння” в шоколаді [12].

Таким чином, наведені літературні дані свідчать про те, що, незважаючи на позитивний досвід у наукових дослідженнях в цьому напрямку, є значні резерви щодо поліпшення і збереження якості продукції шляхом запобігання “посивінню”.

Постановка завдання. Метою статті є викладення результатів дослідження поліморфних змін гліцеридів кондитерського жиру під дією добавок.

Виклад основного матеріалу дослідження. Жирове “посивіння” обумовлено поліморфізмом гліцеридів. Багато дослідників вважають, що тригліцериди какао-масла або кондитерського жиру можуть перебувати в чотирьох поліморфних модифікаціях: γ , α , β' і β з температурою плавлення відповідно 16-18, 21-24, 27-29 і 34-35 °С. Більш стійкою є та модифікація, у котрій за даної температури найменша вільна енергія і найбільша теплота плавлення. Тому кристали жиру з підвищеною потенційною енергією прагнуть перейти у кристали з нижчою потенційною енергією. Внаслідок цього виділяється частина тепла, яка змінює напрям поліморфних перетворень.

Деякі технологічні операції сприяють утворенню відповідних модифікацій. Наприклад, різке охолодження розплавленого какао-масла призводить до формування аморфної, легкоплавкої, прозорої γ -модифікації, яка потім швидко переходить у метастабільну кристалічну α -модифікацію, при якій ацили кислот розташовані перпендикулярно до площини кінцевих груп. Швидкість утворення кристалів цієї модифікації підвищується при помірно швидкому пониженні температури до 15 °С, а швидкість їх росту збільшується з підвищенням температури. β' -модифікація отриму-

ється в основному у результаті перетворення α -модифікації, а потім досить швидко переходить у β -модифікацію. Зародки останньої в какао-маслі утворюються дуже повільно, а швидкість їх кристалізації досягає максимуму за 18 °С.

На стійкість виробів до “посивіння” значною мірою впливає дотримання умов оброблення шоколадної маси. Наприклад, коншування маси в присутності кисню повітря призводить до певного накопичення продуктів окислення, які обереігають шоколад від “посивіння” під час зберігання. Суттєвий вплив на стійкість шоколаду до “посивіння” має режим темперування, оскільки на першій стадії відбувається попередня кристалізація високоплавких гліцеридів, потім має місце масове утворення зародків кристалів, у тому числі і нестійких модифікацій. Повторне нагрівання в ході темперування призводить до переходу частини кристалів нестійких модифікацій у більш стійкі. Термостатування за температури 28-32 °С сприяє поліморфному перетворенню модифікацій какао-масла в стійку β -форму. Рівномірний розподіл цієї модифікації в якості основи з питомою вагою понад 50 % забезпечує отримання шоколаду, стійкого до “посивіння”.

Гальмують поліморфне перетворення какао-масла деякі добавки, в тому числі окислене какао-масло (0,5 %), молочний жир, мигдальне і горіхове масло в шоколадній масі, лецитин (0,2 %), олеїнова кислота (0,1-0,2 %), пектин (0,2 %), глюкоза (15 %), моностеарат гліцерину, складні ефіри сорбату, суміші моностеарату сорбітану і полісорбату 60 за співвідношення 60 : 40 та ін.

Поліморфізмом називають здатність речовин при незмінному хімічному складі кристалізуватися в декількох формах, просторова решітка і фізичні властивості яких різні. Поліморфні форми мають здатність переходити одна в іншу. Однак цей процес безповоротний, тобто йде лише в напрямі від низькоплавких і менш стабільних до високоплавких, стабільних форм. У результаті поліморфних перетворень виникає сірий наліт, і зовнішній вигляд виробів погіршується. Вивчено вплив жирнокислотного і тригліцеридного складу твердої фази на поліморфну стійкість 19 видів шортенінгів, які виробляються в США і Канаді. Виявлено: якщо шортенінг на основі олії містить близько 20 % пальмітинової кислоти, то його тверда фаза існує в основному у β -формі. β' -форма характерна для шортенінгів, які мають більше як 30 % пальмітинової кислоти.

Ведуться пошуки добавок, які сприяють підвищенню збереження споживчих властивос-

тей кондитерських виробів шляхом запобігання жировому “посивінню”. У шоколадних виробках моно- і дигліцериди покращують глясову поверхню, перешкоджають “посивінню”. Рекомендується додавання 0,5 % моногліцеридів у шоколадні маси. Встановлено, що дигліцериди сповільнюють фазовий перехід низькоплавких кристалічних форм тригліцеридів у високоплавкі. Показано, що дигліцериди є стабілізаторами β' -кристалічної фази олій та жирів і їх наявність підвищує стійкість шоколадної продукції до жирового “посивіння”.

Ефіри моногліцеридів із діацетилвинною, лимонною і молочною кислотами надають шоколаду кращий блиск і продовжують термін його зберігання, перешкоджають перекристалізації какао-масла і тим самим запобігають жировому “посивінню”.

Як інгібітор “посивіння” шоколаду запропоновано застосування гліцериду бегенової й олеїнової кислот. Отримано позитивні результати дії молочного жиру як засобу проти поліморфних перетворень жиру шоколаду. Встановлена відсутність поліморфізму жирової основи маргарину у результаті додавання 5 % молочного жиру. Виявлено здатність демінералізованої сухої сироватки запобігати жировому “посивінню”.

Виконано дослідження стійкості до поліморфних процесів найбільш лабільного їх компонента – кондитерського жиру. Для цього вивчено здатність деяких добавок – МГД (моногліцериду), СФК (соевого фосфатидного концентрату) та СБЗ (соевого борошна знежиреного) у кількостях по 0,5 % до маси жиру, – інгібувати жирове “посивіння”. Зберігання зразків жиру з добавками необхідно проводити протягом місяця за температури (18 ± 2) °С.

Для досліджень використовували дилатометричний метод [2]. Дилатометричний метод застосовують для визначення вмісту твердих гліцеридів за певних заданих температур, а також для дослідження поліморфних перетворень тригліцеридів, характеристики гліцеридного складу жиру (визначення присутності моно-, ди- і тринасичених гліцеридів).

Процес кристалізації какао-масла досить складний через присутність у ньому різних гліцеридів. За структурою він поліморфний, тобто може кристалізуватися в різні форми залежно від ступеня затвердіння рідкого жиру.

Результати досліджень свідчать, що різке охолодження розтопленого жиру до 0 °С сприяло утворенню великої кількості центрів кристалі-

зації, жир тверднув переважно в метастабільній формі. При подальшому повільному нагріванні зразки жиру розм'якшувалися і мутніли, відбувалися поліморфні перетворення. Метастабільні γ - і α -форми переходили в більш стабільні β' - і β -форми. Після стабілізації жиру визначали процентний вміст твердих тригліцеридів. Підвищення температури зменшувало концентрацію твердих тригліцеридів, і за 55 °С жир повністю розтоплювався. З подовженням термінів зберігання поліморфні перетворення посилювалися. Додавання МГД, СФК і СБЗ позначилося на якості жиру, оскільки він містив меншу кількість високоплавких форм тригліцеридів. Особливо ця різниця помітна з підвищенням температури. Якщо за температури 35 °С після 7 діб зберігання в контрольному зразку (без добавок) вміст твердих тригліцеридів становив 32,3 %, то в зразку жиру з СФК, МГД та СБЗ – відповідно 21,4, 24,4 і 26,3 %. За температури 55 °С на тому етапі зберігання контрольний зразок жиру містив 3,2 твердих тригліцеридів. Внесення відповідних добавок знизило вміст високоплавких фракцій до 0,8-1,9 %. Зміну масової частки твердих тригліцеридів кондитерського жиру з добавками після 7 діб зберігання наведено на рис. 1.

Така закономірність відзначена і на більш пізніх етапах дослідження кондитерського жиру. Після 15 діб зберігання за 40 °С контрольний зразок містив 23,3 % твердих тригліцеридів, жир із СБЗ – 16,3 %, з МГД – 14,9 %. Найменша кількість високоплавких фракцій (12,4 %) виявлена в жирі з додаванням СФК.

Аналогічна закономірність спостерігалася і при зберіганні зразків жиру протягом 30 діб (рис. 2).

Найбільш чітко дія добавок встановлена за температури 40 °С. Додавання МГД сповільнило фазовий перехід низькоплавких кристалічних форм тригліцеридів у високоплавкі в 1,7, СФК – в 1,9, а СБЗ – в 1,2 рази. За температури 50 °С в жирі з МГД порівняно з контролем вміст твердих тригліцеридів був у 2,6 рази меншим, у жирі з СФК і СБЗ – відповідно в 18 і 3 рази.

За результатами аналізу встановлено, що зазначені добавки сповільнюють поліморфні перетворення у жирі в середньому в 1,4-2,2 рази протягом місяця.

Найбільш ефективною добавкою серед досліджених є СФК, а найменш – СБЗ, стабілізувальна дія якого під час зберігання знижується.

Таким чином, МГД, СФК і СБЗ можуть застосовуватися як інгібітори жирового “посивіння”

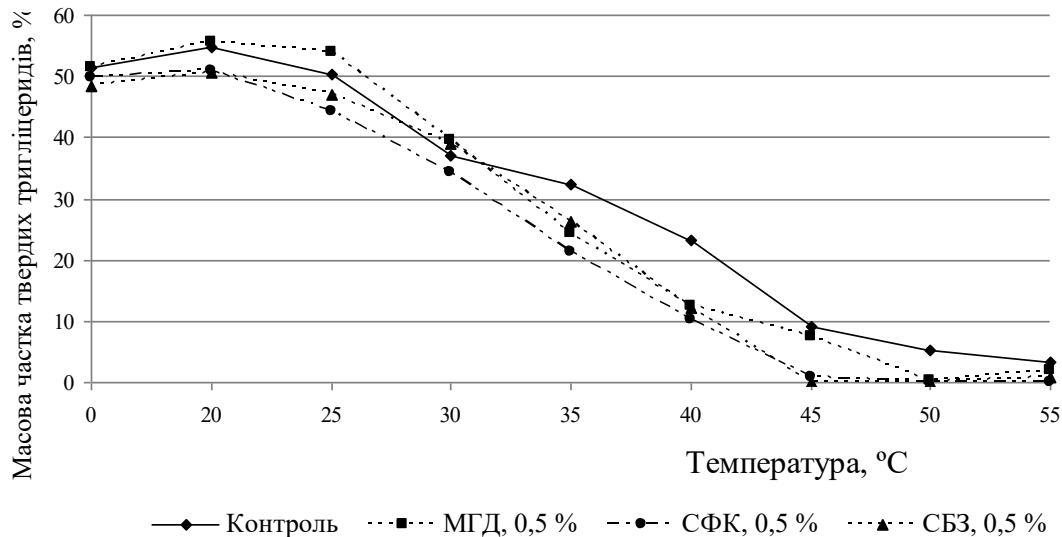


Рис. 1. Динаміка масової частки твердих тригліцеридів після 7 діб зберігання кондитерського жиру з добавками

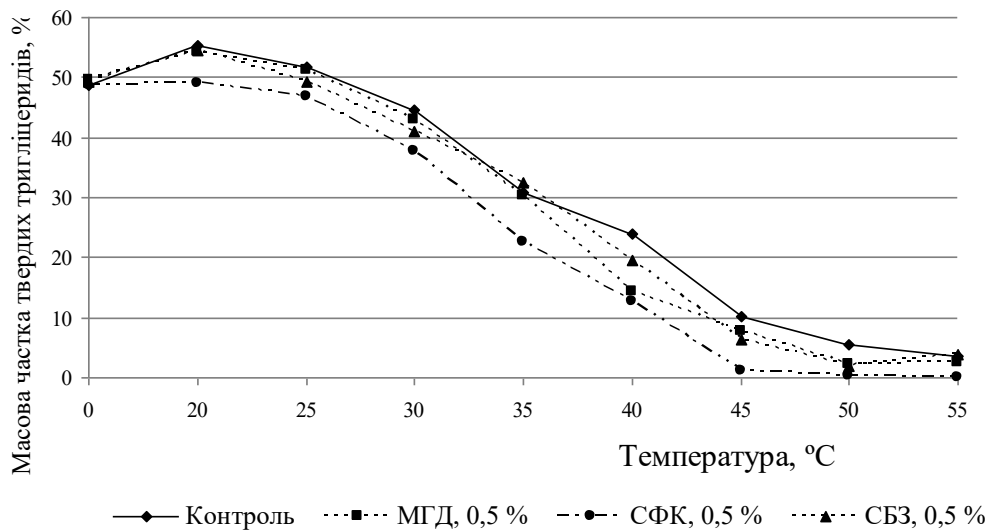


Рис. 2. Динаміка масової частки твердих тригліцеридів після 30 діб зберігання кондитерського жиру з добавками

виробів, виготовлених на основі кондитерського жиру.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. При збільшенні тривалості зберігання поліморфні процеси посилюються. Додавання СБЗ сприяє підвищенню стійкості проти поліморфних перетворень не тільки какао-масла, як встановлено раніше, а й кондитерського жиру. Однак, за результатами наших досліджень, МГД і СФК мають вищі стабілізуючі властивості. Отримані результати та актуальність окресленого наукового спрямування обґрунтовують подальші дослідження й розробки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Сирохман І. В. Кондитерські вироби з нетрадиційної сировини : монографія. К. : Техніка, 1987. 197 с.
2. AOCS Official Method Cd 16b-93. Solid fat content (SFC) by low-resolution nuclear magnetic resonance. 6 p.
3. Macridachis González, Jorge. "Polymorphism and crystallization behaviour of triacylglycerols". *Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona*. 2022. Pp. 231-239. URL: <http://hdl.handle.net/2445/188067/>.
4. Haruhiko Koizumi, Mayuko Takagi, Hironori Hondoh, Soichi Michikawa, Soichi Michikawa, Yuta Hirai, Satoru Ueno. "Control of Phase Separation for CBS-Based Compound Chocolates Focusing

on Growth Kinetics”. *ACS Publications*. 2022. Vol. 17. Pp. 6879-6885. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.cgd.2c00317>.

5. Li L., Liu G. “Engineering effect of oleogels with different structuring mechanisms on the crystallization behavior of cocoa butter”. *Food Chemistry*. 2023. Vol. 422. Pp. 457-462. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136292>.

6. Liu X., Wang Y., Lu X. “Influence of Icing Sugar and Fructose Syrup on the Characteristics and Crystallization Behavior of Sugar-Oil-Water Emulsion System”. 2023. Pp. 91-109. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4436995>.

7. Abedini A., Dakhili S., Bazzaz S. “Fortification of chocolates with high-value-added plant-based substances: Recent trends, current challenges, and future prospects”. *Food Science & Nutrition*. 2023. Vol. 61. DOI: 10.1002/fsn3.3387.

8. Pangan Ac. M. F. “Impact of roasting on the physicochemical characteristics of cacao beans and dark chocolate flavor profile”. *University of Illinois at Urbana-Champaign*. 2021. Pp. 444-453.

9. Andishmand, H., Azadmard-Damirchi, S., Hamishekar, H., Torbati, M., Kharazmi, M. S., Savage, G. P., Tan, C., & Jafari, S. M. “Nano-delivery systems for encapsulation of phenolic compounds from pomegranate peel”. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2023. vol. 33. Pp. 711-719.

10. Barišić, V., Kopjar, M., Jozinović, A., Flanjak, I., Ačkar, Đ., Miličević, B., Šubarić, D., Jokić, S., & Babić, J. “The chemistry behind chocolate production. Molecules”. *Food Science & Nutrition*. 2019. Vol. 24(17). Pp. 444-452.

11. Ekantari, N., Budhiyanti, S., Fitriya, W., Hamdan, A., & Riaty, C. “Stability of chocolate bars fortified with nanocapsules carotenoid of *Spirulina platensis*”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 370. Pp. 120-131. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/370/1/012079>.

12. Sun, P., Xia, B., Ni, Z. J., Wang, Y., Elam, E., Thakur, K., Ma, Y. L., & Wei, Z. J. “Characterization of functional chocolate formulated using oleogels derived from β -sitosterol with γ -oryzanol/lecithin/stearic acid”. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 22. Pp. 216-221.

REFERENCES:

1. Syrokhman, I. V. (1987), *Kondyters'ki vyroby z netradytsijnoi syrovyny : monohrafiia*, Tekhnika, K., 197 s.

2. AOCS Official Method Cd 16b-93. Solid fat content (SFC) by low-resolution nuclear magnetic resonance. 6 p.

3. Macridachis González, Jorge. (2022), “Polymorphism and crystallization behaviour of triacylg-

lycerols”, *Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona*, pp. 231-239, available at: <http://hdl.handle.net/2445/188067/>.

4. Haruhiko Koizumi, Mayuko Takagi, Hironori Hondoh, Soichi Michikawa, Soichi Michikawa, Yuta Hirai, Satoru Ueno. (2022), “Control of Phase Separation for CBS-Based Compound Chocolates Focusing on Growth Kinetics”, *ACS Publications*. vol. 17, pp. 6879-6885, available at: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.cgd.2c00317>.

5. Li L., Liu G. (2023), “Engineering effect of oleogels with different structuring mechanisms on the crystallization behavior of cocoa butter”, *Food Chemistry*, vol. 422, pp. 457-462, available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136292>.

6. Liu X., Wang Y., Lu X. (2023), “Influence of Icing Sugar and Fructose Syrup on the Characteristics and Crystallization Behavior of Sugar-Oil-Water Emulsion System”, pp. 91-109, available at: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4436995>.

7. Abedini A., Dakhili S., Bazzaz S. (2023), “Fortification of chocolates with high-value-added plant-based substances: Recent trends, current challenges, and future prospects”, *Food Science & Nutrition*, vol. 61. DOI: 10.1002/fsn3.3387.

8. Pangan Ac. M. F. (2021), “Impact of roasting on the physicochemical characteristics of cacao beans and dark chocolate flavor profile”, *University of Illinois at Urbana-Champaign*, pp. 444-453.

9. Andishmand, H., Azadmard-Damirchi, S., Hamishekar, H., Torbati, M., Kharazmi, M. S., Savage, G. P., Tan, C., & Jafari, S. M. (2023), “Nano-delivery systems for encapsulation of phenolic compounds from pomegranate peel”, *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 33, pp. 711-719.

10. Barišić, V., Kopjar, M., Jozinović, A., Flanjak, I., Ačkar, Đ., Miličević, B., Šubarić, D., Jokić, S., & Babić, J. (2019), “The chemistry behind chocolate production. Molecules”, *Food Science & Nutrition*, vol. 24(17), pp. 444-452.

11. Ekantari, N., Budhiyanti, S., Fitriya, W., Hamdan, A., & Riaty, C. “Stability of chocolate bars fortified with nanocapsules carotenoid of *Spirulina platensis*”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 370, pp. 120-131, available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/370/1/012079>.

12. Sun, P., Xia, B., Ni, Z. J., Wang, Y., Elam, E., Thakur, K., Ma, Y. L., & Wei, Z. J. (2021), “Characterization of functional chocolate formulated using oleogels derived from β -sitosterol with γ -oryzanol/lecithin/stearic acid”, *Food Chemistry*, vol. 22, pp. 216-221.

Стаття надійшла до редакції 12 червня 2023 року