



UDC 663.052

COMPREHENSIVE RESEARCH OF INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF THE COMPONENTS ON DIFFERENT TYPES OF CHOCOLATE GLAZES

Mariia L. Zemelko^{1*}, ¹ Svitlana I. Bukhkalov²¹Ukrainian State University of Chemical Technology, 8, Gagarina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine²National Technical University «KhPI», 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine

Received 6 February 2023; accepted 27 March 2023; available online 25 April 2023

Abstract

The influence of recipe components on the quality characteristics of chocolate glazes is investigated in this work. Chocolate glazes are used for technological purposes, expanding the assortment and reducing the cost of finished products in the confectionery industry. Several types of chocolate glazes for covering confectionery products and food additive-emulsifier (a mixture of mono- and di- triglycerides) were studied. A food additive-emulsifier from fatty raw materials by glycerololysis in the presence of heterogeneous or homogeneous catalysts was selected for further study. The appearance, organoleptic indicators, viscosity, stability, temperature of its use are controlled in chocolate glazes for covering confectionery products. The effectiveness of the added components on the rheological properties of some varieties of chocolate glazes for covering confectionery products is compared. For example, a food additive-emulsifier effectively reduces viscosity when added in an amount of 0.4–0.6 %; has a greater thinning capacity compared to soy lecithin – 0.8–0.85 % and does not affect taste, smell and sensation melting in the mouth of the tested glaze samples. The solidification temperature of 28.1–28.8 °C and the melting point of 31–33 °C have minor differences and correspond to current standards. The finished glaze for covering confectionery products has a slight fat bloom. Consequently, the subject of further priority scientific research and practical development is designing the composition of products taking into account the requirements for balance in terms of fatty acid, amino acid, mineral and vitamin composition.

Keywords: chocolate glaze; rheological characteristics; food additive-emulsifier; surfactants; viscosity.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ КОМПОНЕНТІВ НА РІЗНОВИДИ ШОКОЛАДНИХ ГЛАЗУРЕЙ

Марія. Л. Земелько,¹ Світлана І. Бухкало²¹ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», просп. Гагаріна, 8, Дніпро, 49000, Україна²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна

Анотація

У роботі досліджено вплив рецептурних компонентів на якісні характеристики шоколадних глазурей. В кондитерській промисловості окрім основного технологічного призначення глазури часто використовують для розширення асортименту та зниження собівартості готових виробів. Для дослідження обрано деякі різновиди шоколадних глазурей для вкривання кондитерських виробів та харчову добавку-емульгатор (суміш моно- і діацилгліцеролів) з жирової сировини різної природи, отриманої методом гліцеролізу з використанням гетерогенного або гомогенного каталізатору. Серед основних якісних показників шоколадних глазурей для вкривання кондитерських виробів, таких як зовнішній вигляд та органолептичні показники, контролюють і основні кількісні – в'язкість, стабільність, температуру використання. Порівняльний аналіз ефективності дії доданих компонентів на реологічні властивості деяких різновидів шоколадних глазурей для вкривання кондитерських виробів показав, що харчова добавка-емульгатор ефективно знижує в'язкість у випадку додавання в кількості 0.3–0.6 %, має більшу, порівняно з соєвим лецитином, розріджувальну здатність – 0.8–0.85 % та не впливає на смак, запах і відчуття плавлення в роті досліджуваних зразків глазури. Температура застигання – 28.1–28.8 °C та плавлення – 31–33 °C мають незначні відмінності та відповідають діючим стандартам, також присутнє незначне «посивіння» готового продукту. Отже, проектування складу продуктів з урахуванням вимог збалансованості за жирнокислотним, амінокислотним, мінеральним і вітамінним складом є предметом подальших пріоритетних наукових досліджень та практичних розробок.

Ключові слова: шоколадна глазур; поверхнево-активна речовина; реологічні характеристики, харчова добавка-емульгатор; в'язкість.

*Corresponding author: e-mail address: kushnir2609@gmail.com

© 2023 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v31i1.273572

Вступ

Для забезпечення великого асортименту якісних виробів та зменшення їх собівартості в кондитерській промисловості використовують різноманітні види глазури, такі як шоколадна, молочна шоколадна, біла шоколадна, кондитерська, жирова, фруктова, йогуртова тощо. Властивості глазури пов'язані зі структурою рецептурних компонентів та, окрім вказаного призначення, вона також виконує важливі технологічні задачі. Наприклад, сповільнення процесів окиснення; збільшення терміну зберігання кондитерського виробу; поліпшення емульгуючих, диспергуючих властивостей та ін.

Математична модель враховує деякі умови діяльності харчового підприємства та планування технологічних процесів: можливість виникнення та необхідність переробки некондиційної сировини за різновидами її хімічних властивостей; терміни зберігання сировини та готової продукції, особливості хімічної структури кожного окремого виду сировини з урахуванням особливостей конструкції обладнання; особливості використання технологічного обладнання тощо.

Загальним результатом представленого дослідження є вирішення науково-прикладної проблеми підвищення ефективності процесів харчових підприємств шляхом розробки і оптимізації математичних моделей технологій та прийняття рішень на основі модифікованих моделей та алгоритмів. Комплексний підхід до аналізу можливостей дозволяє передбачити результати дослідження за рахунок розробки математичних методів підвищення ефективності технологічних можливостей та їх застосування у конкретних умовах, підхід передбачає відображення додаткових ефектів у всіх сферах, пов'язаних із процесом виробництва, галузі для кондитерських виробів.

На підставі проведеного аналізу було виявлено, що підприємства кондитерської галузі мають досить високу сприйнятливість до різноманітних стадій технологічного процесу. Як відомо з дослідження авторів, усі основні структурні та хімічні властивості готового продукту з какао-бобів (табл. 1) прямо чи опосередковано пов'язані з перетвореннями фенольних сполук бобів какао різних стадіях їх переробки (рис. 1).

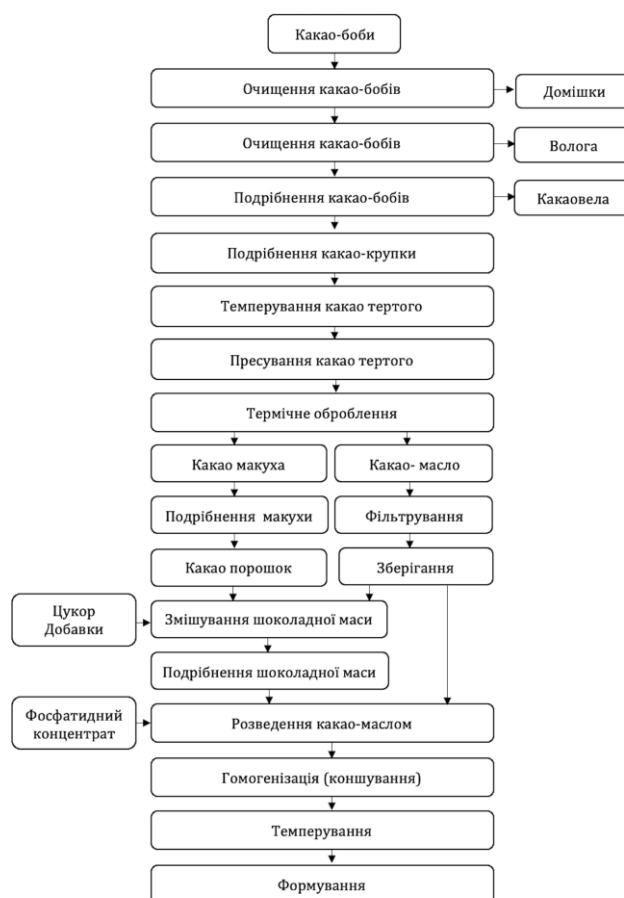


Fig. 1. An example of a basic technological scheme for the production of chocolate masses
Рис. 1. Приклад принципової технологічної схеми виробництва шоколадних мас

Представлені положення (рис. 1) можна використовувати з метою класифікації-ідентифікації властивостей різновидів шоколадних глазурей, але вони не вичерпуються наступною спрощеною схемою їх аналізу у складі трьох підгруп за вуглецевим скелетом:

1) -C₆-C₁- протокатехова та галові кислоти та їх похідні;

2) -C₆-C₃- кумарин та його глікозиди, коніфериловий спирт, параоксикорична, ферулова, синапова, кавова та хлорогенова кислоти та відповідні похідні;

3) -C₆-C₃-C₆- речовини, що об'єднуються загальним терміном флавоноїди (антоціани, флаволи, катехіни, флавоноли та ін.).

З матеріалів досліджень [1] випливає, що (-)-епікатехін і (+)-катехін на різних стадіях

переробки бобів какао змінюються неоднаково. Так, у процесі термічної обробки більш значні перетворення зазнає (+)-катехін, кількість якого зменшується на 20–25 %, у той час як кількість епікатехіну знижується на 21–19 %. На стадії подрібнення навпаки, більшою мірою змінюється вміст епікатехіну, кількість якого зменшується на 26–42 % порівняно з термічно обробленими бобами какао. Вміст (+)-катехіну зменшується лише на 6–16 % порівняно з обсмаженими бобами (табл. 1 та 2: W – вологість, у натуральній речовині – NM, на сухі речовини – DM; дубильні речовини на суху обсмажену речовину – DFS, термічна обробка – НТ, у перерахунку на СН₃СООН, % – РС; D – дисперсність по Ростову; температура вимірювання в'язкості 32 °С).

Table 1

Physicochemical indicators of heat-treated cocoa beans

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники термооброблених какао-бобів

Varieties parties 1 and 2	W, Fat content %		pH	Titrate acidity degree		PC		DFS, %	
	NM	DM		NM	DM	NM	FDM		
Party 1: before HT	4.7	52.8	55.4	5.8	8.6	9.0	9.0	0.541	7.0
after HT	3.2	53.4	55.2	5.7	8.2	8.5	0.492	0.510	6.4
Party 2: before HT	5.2	52.7	55.6	5.8	9.1	9.6	0.546	0.576	3.9
after HT	2.9	53.6	55.2	5.7	8.8	9.1	0.528	0.546	3.4

Викладене дозволяє зробити висновок, що зазначені стадії переробки какао-бобів супроводжуються окисненням фенольних речовин, а також конденсацією катехінів. У тертому какао (-)-епікатехіну міститься менше на 35–53 %, (+)-катехіну – на 25–38 % в порівнянні з товарними бобами.

Таким чином, якість тертого какао залежить як від властивостей основної сировини – бобів какао – та їх термічної обробки, так і від

режимів і способів подрібнення крупки какао та температури тертого какао. Треба підкреслити, що в залежності від застосованих технологічних режимів та вибору обладнання на усіх стадіях процесів виробництва необхідно враховувати можливий постадійний механізм хімічних реакцій. У процесі одержання тертого какао особливий контроль повинен бути організований з дотриманням оптимальних температурних режимів.

Table 2

Physicochemical indicators of chocolate masses

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники шоколадних мас

Varieties parties 1 and 2	W, Fat content %		D, %	Viscosity, Poise	pH	Titrate acidity degree		DFS, %	
	NM	DM				PC			
Party 1: before conching:	1.6	34.5	35.1	97.9	200	5.9	3.2	0.192	1.5
conching 24 hours	1.6	34.5	35.1	98.8	100	5.9	3.1	0.186	1.4
conching 48 hours	1.6	34.6	35.1	98.8	80	6.0	3.0	0.180	1.4
conching 72 hours	1.6	34.6	35.1	98.8	68	6.0	2.9	0.174	1.3
conching 144 hours	1.6	34.8	35.1	98.8	64	6.1	2.7	0.162	1.3
Party 2: before conching:	0.8	33.3	33.6	97.6	168	7.2	0.5	0.03	1.5
conching 24 hours	0.8	33.3	33.6	97.6	140	7.2	0.5	0.03	1.4
conching 48 hours	0.7	33.4	33.6	97.8	128	7.1	0.5	0.03	1.4
conching 72 hours	0.7	33.4	33.6	97.8	128	7.1	0.5	0.03	1.4
conching 144 hours	0.7	33.4	33.6	98.0	126	7.0	0.5	0.03	1.4

Екзотермічні реакції в ферментованій масі какао-бобів схематично мають вигляд відомих моделей хімічних перетворень:

гексоза → етанол; етанол → оцтова кислота; оцтова кислота → CO₂ → +H₂O.

Під час ферментації какао-бобів у пульпі відбуваються наступні перетворення: основні

зміни – клітини пульпи внаслідок діяльності пектинових ферментів розриваються, сахара під впливом дріжджів перетворюються на спирт, пульпа розріджується і стікає; до того ж відзначають, що спирт під дією оцтовокислих бактерій перетворюється на оцтову кислоту; у свою чергу етанол і оцтова кислота у присутності води забезпечують розчинення та дифузю поліфенольних сполук до місць дії ферментів усередині бобів, коли поліфеноли починають взаємодіяти з білками, утворюючи білково-фенольні комплекси та знижуючи кількість розчинних білків у бобах какао на різних стадіях гідролітичного розщеплення.

Під час сушіння після ферментації модель біохімічних процесів завершують видаленням вологи, вміст розчинних сполук зменшується, а вміст комплексних складних сполук нерозчинних фенолів збільшується в результаті полімеризації хінонів (бензохінонів), сполучення її з азотом і сіркою в умовах збільшення доступу великої кількості повітря і дії поліфенілоксидази.

Порівняльний аналіз впливу режимів переробки какао бобів на різновидах стадій технологічного процесу можна провести за прикладами діяльності деяких підприємств (табл. 1) [1].

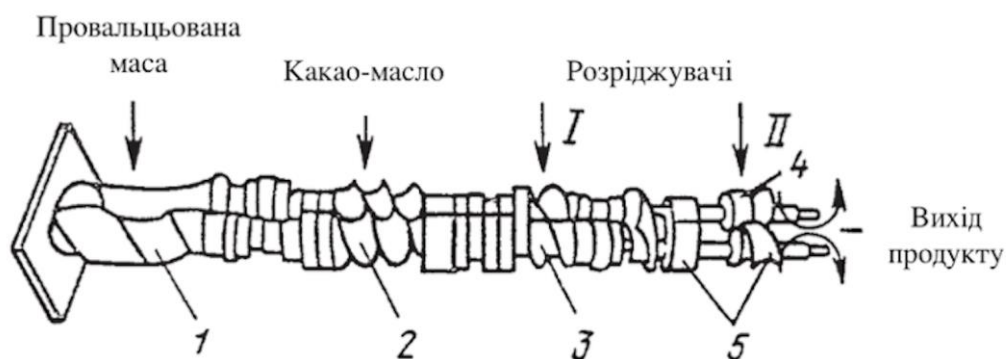


Fig. 2 - An example of the operation of a two-roll mixer of the ZUK type:

1 - zone of supply of rolled mass; 2 - cocoa butter supply area; 3, 4 - thinner introduction zones; 5 - fists that homogenize the finished mass

Рис. 2 - Приклад роботи двовалкового змішувача типу ZUK:

1 - зона подачі провальцьованої маси; 2 - зона подачі какао-масла; 3, 4 - зони введення розріджувача; 5 - кулаки, які гомогенізують готову масу

Провальцьований порошкоподібний продукт надходить для операції розведення в горизонтальний двовалковий змішувач з фасонними лопатями типу ZUK (рис. 2). У наступній зоні його змішують з какао-маслом. У зони 3 і 4 вводять розріджувач (розчин лецитину в какао-маслі), і шоколадна маса гомогенізується під впливом складного обертального руху спеціальної форми кулаків, що надягаються на кінці валів горизонтального змішувача ZUK. Органолептична оцінка показує, що якість шоколадної маси більше залежить від дисперсності її твердої фази, ніж від кратності вальцювання. У свою чергу дисперсність маси обумовлюється технічним станом п'ятивалкового верстату і величиною зазору між валками, тобто його продуктивністю.

Всі добавки, що підвищують температуру плавлення какао-масла збільшують стійкість шоколаду до посивіння. Наприклад, тверде арахісове масло збільшує стійкість, а мигдальна і горіхова олія, що знижують температуру плавлення какао матриці, сприяє посивінню шоколаду. Суміш жирів, що,

наприклад, містить 65 % дипальмітомоноолеїнового тригліцирида і дистеариномоноолеїнового тригліцириду з температурою плавлення 32–37 °С, яку одержують з пальмового масла, масла масляного дерева або синтетичних жирів з заданими властивостями також гальмує жирове посивіння шоколаду.

Поверхнево-активні речовини: моностеарат гліцерину, складні ефіри сорбіту, жирні кислоти, лецитин із соєвої макухи сприяють утворенню гарного глянцею на шоколадній продукції і затримують посивіння шоколаду.

Експериментальна частина

Метою даної роботи є порівняльний аналіз ефективності дії на реологічні властивості деяких різновидів моделей шоколадних глазурей для вкривання кондитерських виробів харчової добавки-емульгатора (суміш моно- і діацилгліцеролів) з жирової сировини різної природи, отриманих методом гліцеролізу з використанням гетерогенного каталізатору за методикою, описаною в роботі [2], та гомогенного каталізатору, а саме КОН, та

порівняння з дією соєвого лецитину; а також визначення математичних моделей експериментальних досліджень.

Серед основних якісних показників шоколадних глазурей для вкривання кондитерських виробів, таких як зовнішній вигляд та органолептичні показники, контролюють і основні кількісні – в'язкість, стабільність, температуру їх використання.

В'язкість глазури залежить, перш за все, від комплексного впливу хімічної структури компонентів, а також від вологості, дисперсності шоколадної маси, вмісту в ній жиру і фізико-механічної міцності структурних утворень з твердих частинок. Для ефективного зниження в'язкості за мінімально допустимою кількістю жиру необхідно вводити речовини, що мають гідрофільні та ліпофільні властивості для часткової заміни какао-масла. Такою речовиною є соєвий лецитин, який має меншу ціну в порівнянні з какао-маслом і знижує в'язкість на разі додавання до суміші 0.4–0.6 %.

У процесах глазурування необхідно встановити зв'язок між властивостями плинності маси, товщиною шару глазури, швидкістю її кристалізації і застигання, здатністю маси приймати конкретну форму та відповідати вимогам нормативно-технічної документації (НТД). Не варто забувати і про смакові та органолептичні властивості, які можна означити за показниками: швидкість плавлення маси у роті; наповненість і насиченість смаку і аромату; наявність або відсутність сторонніх, неприємних присмаків; привабливість виробу з урахуванням особливостей складових глазурі та ін.

Питання підвищення ефективності виробництва різновидів шоколадної глазури та якості виробів із неї, можуть розглядатись лише за наявності аналітичних залежностей відповідних цільових функцій від параметрів та факторів, що відображають фізико-хімічні складові та механізм явищ технологічних процесів створення, зберігання та споживання виробів з шоколадною глазур'ю.

Отримання харчової добавки-емульгатора (суміш моно- і діацилгліцеролів) з жирової

сировини різної природи проведено на лабораторній установці, яка складалася з двогорлої колби, термометра та мішалки. Колбу поміщали у гліцеролову баню, яка встановлена на пічці з закритою спіраллю. В двогорлу колбу завантажували розраховану кількість жирової сировини, гліцеролу та каталізатору. Колбу поміщали у гліцеролову баню, приєднували мішалку і термометр. Гліцероліз проводили за постійного перемішування, заданих показниках температури і тривалості процесу. По закінченню гліцеролізу реакційну суміш охолоджували до 50–60 °С. Гетерогенний каталізатор з реакційної суміші відділяли шляхом фільтрування або декантацією. Для розділення продуктів гліцеролізу на моноацилгліцероли та суміш діацилгліцеролів і триацилгліцеролів застосовували екстракцію ізопропіловим спиртом. У результаті утворювалося два шари, з яких верхній – розчин моноацилгліцеролів в ізопропіловому спирті, нижній – суміш діацилгліцеролів, триацилгліцеролів і незначна кількість ізопропілового спирту. Після відгонки ізопропілового спирту з екстрактів визначали вихід цільових продуктів.

В'язкість шоколадних мас у даному випадку, на наш погляд, залежить від вологості складових усіх компонентів маси, вмісту какао-масла або жирів за обраною рецептурою; дисперсності та природи твердих частинок какао тертого та цукрової пудри; температури дослідження маси; наявності поверхнево-активних речовин. Таким чином, в'язкість та міцність шоколадних мас залежать від впливу багатьох факторів та можуть регулюватися з урахуванням спрямованої дії, визначеної за цих факторів. Визначення в'язкості композицій проводили на віскозиметрі Брукфільда (точність вимірювання ± 2 %).

Результати та їх обговорення

Для дослідження було обрано рецептуру глазури для вкривання кондитерських виробів за рецептурою (табл. 3).

The recipe of chocolate glaze

Table 3

Таблиця 3

Рецептура глазури	
Component	Content, %
Cocoa butter	17.42±18.42
Cocoa liquor	42.48
Powdered sugar	39.1
Surfactant	0 – 1

Для отриманих харчових добавок-емульгаторів (суміш моно- і діацилгліцеролів) з жирової сировини різної природи, отриманих методом гліцеролізу з використанням гетерогенного та гомогенного каталізатору визначено основні органолептичні та фізико-хімічні показники (табл. 4: 2 – харчова добавка-емульгатор з пальмової олії, отримана методом гліцеролізу з гетерогенним каталізатором; 3 –

харчова добавка-емульгатор з пальмової олії, отримана методом гліцеролізу з гомогенним каталізатором; 4 – харчова добавка-емульгатор з жиру тваринного походження, отримана методом гліцеролізу з гетерогенним каталізатором; 5 – харчова добавка-емульгатор з жиру тваринного походження, отримана методом гліцеролізу з гомогенним каталізатором).

Table 4

Quality indicators of food additives-emulsifiers and lecithin

Таблиця 4

Показники якості харчових добавок-емульгаторів та лецитину					
Indicator	2	3	4	5	Soy lecithin
Color	White	White	Creamy	Creamy	Dark brown
Scent	Without any foreign smell				Characteristic
Texture	Homogeneous, ointment-like				Homogeneous, viscous liquid
Acid value, mg KOH/g,	0.7	0.8	1.6	1.8	2.8
Peroxide value, mmol $\frac{1}{2}$ O/kg	1.3	1.4	4.2	4.4	2.2
Iodine value, g I ₂ /100 g	48.7	47.1	44.6	43.1	-
Melting point, °C	30-31	30-31	29-30	29-30	-
Pour point, °C	27	27	25	25	-

Основні показники технологічної якості шоколадної глазури, що регламентовані у нормативній документації, можна умовно розділити на кількісні (в'язкість, стабільність, температура використання) та якісні (зовнішній вигляд та органолептичні показники). Саме кількісні показники були

визначені для отриманих нами шоколадних глазурей за різних концентрацій поверхнево-активних речовин (ПАР), які коливалися в межах 1–1.0 % (мас.), з подальшим встановленням між ними певної залежності (рис. 3).

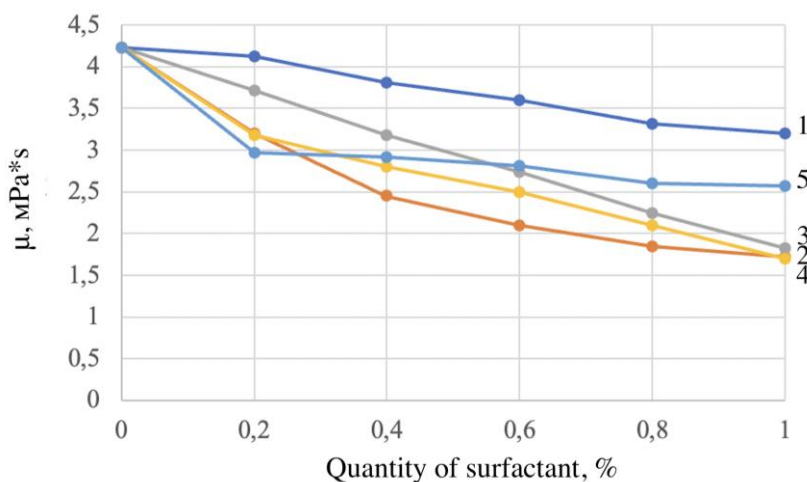


Fig. 3 - Dependence of the viscosity of chocolate glaze on the type and amount of added surfactants (1 - lecithin, 2, 3, 4, 5 - according to table 4)

Рис. 3 - Залежність в'язкості шоколадної глазури від типу та кількості доданих ПАР (1 – лецитин, 2, 3, 4, 5 – відповідно з таблицею 4)

Отримані дані свідчать про можливе використання ПАР з жирової сировини різної природи, отриманої методом гліцеролізу як з гетерогенним, так і гомогенним каталізатором в рецептурі глазури для покривання кондитерських виробів замість соєвого лецитину.

Ефективність дії ПАР у виробництві глазурей

прийнято характеризувати за їх розріджувальною здатністю та визначати за кількістю какао-масла, яке знижує в'язкість композиції до такого значення, яке досягається за додавання 0.4 % ПАР [3].

Порівняльні дані розріджувальної здатності використаних ПАР наведені в таблиці 5.

Thinning capacity of food additives-emulsifiers and lecithin

Таблиця 5

Розріджувальна здатність харчових добавок-емульгаторів та лецитину

Sample	Thinning capacity, %
Food additive-emulsifier from palm oil by glycerololysis in the presence of heterogeneous catalyst	0.8
Food additive-emulsifier from palm oil by glycerololysis in the presence of homogeneous catalyst	0.8
Food additive-emulsifier from animal fat by glycerololysis in the presence of heterogeneous catalyst	0.85
Food additive-emulsifier from animal fat by glycerololysis in the presence of homogeneous catalyst	0.85
Soy lecithin	0.60

Розріджувальна здатність отриманих ПАР складає більше 0.8 %, що свідчить про можливість використання меншої їх кількості в рецептурі глазури для вкривання кондитерських виробів порівняно з лецити-

ном, у якого розріджувальна здатність склала 0.6 %.

Для отриманих глазурей для покривання кондитерських виробів також було визначено основні показники якості (табл. 6: відчуття плавлення в роті – добре).

Table 6

Quality indicators of chocolate glazes

Таблиця 6

Показники якості глазурей

Indicator	2	3	4	5	Soy lecithin
Taste	Bittersweet without extraneous aftertaste				
Scent	Characteristic of chocolate glaze, without any foreign smell				
Texture:					
up to 21 °C	Solid	Solid	Ointment-like	Ointment-like	Viscous
30°C -35 °C	Viscous				
above 35°C	Fluid, liquid				
Melting point, °C	32.0-33.0	32.0-33.0	31.0-32.0	31.0-32.0	31.0-32.0
Pour point, °C	28.2	28.3	28.1	27.8	26.7

З результатів, представлених в таблиці 4, видно, що використані ПАР не вплинули на смак, запах та відчуття плавлення в роті досліджуваних зразків глазури. Температури застигання та плавлення мають незначні відмінності та відповідають діючим стандартам.

Зовнішній вигляд глазурованих кондитерських виробів дуже важливий і таке явище як «посивіння» є небажаним. Тому було необхідним дослідити стабільність до посивіння виготовлених глазурей (табл. 7). З

результатів видно, що додавання харчової добавки-емульгатора (суміш моно- і діацилгліцеролів) з жирової сировини різної природи, отриманої методом гліцеролізу з використанням гетерогенного і гомогенного каталізатору погіршило стійкість глазурей до посивіння, але незначне посивіння протягом терміну зберігання допускається нормативною документацією. Додатково встановлено, що смак, запах та відчуття плавлення глазурей в роті не змінились після їх зберігання.

Table 7

Study of resistance of glazes to blooming

Таблиця 7

Дослідження стійкості глазурей до посивіння

Glaze sample	Result
Glaze with food additive-emulsifier from palm oil by glycerololysis in the presence of heterogeneous catalyst	Insignificant bloom
Glaze with food additive-emulsifier from palm oil by glycerololysis in the presence of homogeneous catalyst	Insignificant bloom
Glaze with food additive-emulsifier from animal fat by glycerololysis in the presence of heterogeneous catalyst	Insignificant bloom
Glaze with food additive-emulsifier from animal fat by glycerololysis in the presence of homogeneous catalyst	Insignificant bloom
Glaze with soy lecithin	Absence bloom

Оптимізація складу і властивостей з метою створення продуктів, що найбільш повно відповідають технології виробництва та якості продукції, зумовлює напрямки розробки інноваційних систем. Проектування складу продуктів з урахуванням вимог збалансованості за жирнокислотним, амінокислотним, мінеральним і вітамінним складом є предметом пріоритетних наукових досліджень та практичних розробок.

Важливим етапом визначення раціонального складу рецептури шоколадної глазури є визначення прикладів математичних моделей експериментальних досліджень за рис. 3. Для побудови теоретичних залежностей

ми використовували математичний пакет MATLAB, в якому є функція «nlinfit» для нелінійної апроксимації. Щоб її запустити, треба передати їй абсциси та ординати експериментальних точок, вигляд функції математичної моделі та початкову точку для пошуку мінімуму суми квадратів. Для всіх кривих початкове значення $\mu = b_0 = 4.23$. Порівнювали дві математичні моделі: 1) лінійна з параметром нахилу b_1 : $y = b_0 - b_1x$ (рис. 4) та 2) експоненціальна зі спаданням до граничного значення b_1 та параметром швидкості спадання b_2 : $y = b_1 + (b_0 - b_1)\exp(-b_2x)$ (рис. 5).

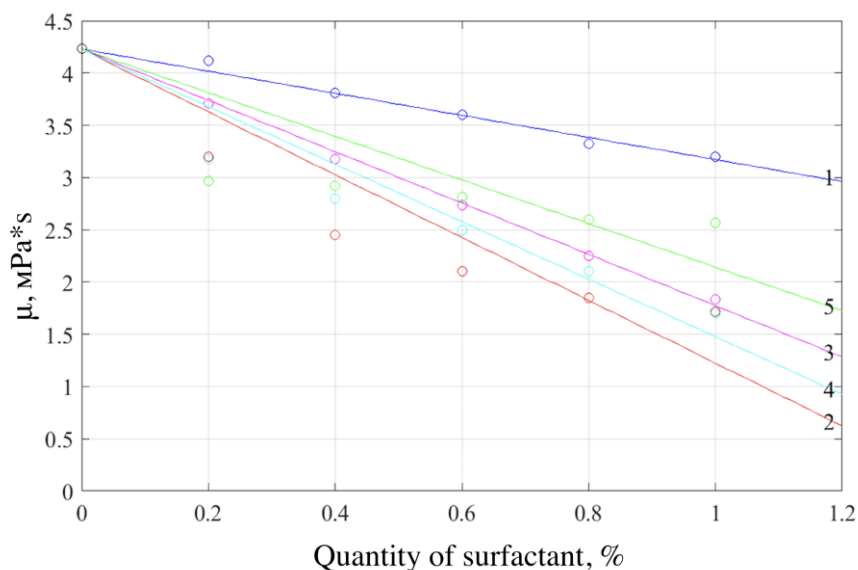


Fig. 4 - An example of a linear model
Рис. 4 - Приклад лінійної моделі

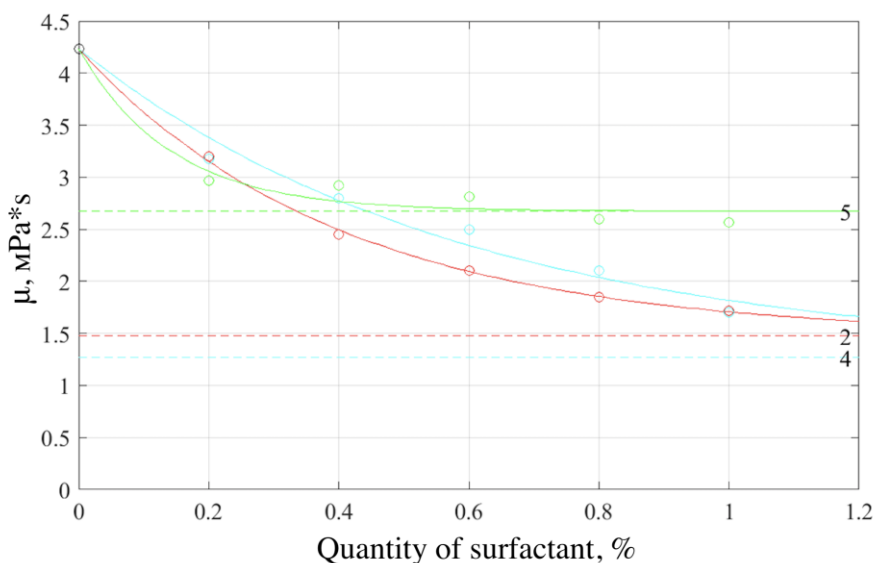


Fig. 5 - An example of an exponential model
Рис. 5 - Приклад експоненційної моделі

У першій моделі один варійований параметр, у другій – два. Параметри кожної моделі знаходили методом найменших квадратів. Для

кожного з параметрів знаходили також довірчий інтервал з довірчою ймовірністю 0.9. Обчислювали також суми квадратів відхилень

експериментальних точок від теоретичних кривих. Для кривих 1 та 3 експоненційна модель не дала вірних результатів. Це підтверджується також експериментальними даними, які добре вкладаються на пряму, але

погано – на експоненту. А для кривих 2, 4, 5 експоненційна модель є кращою за лінійну: сума квадратів відхилень експоненційної моделі значно менша за суму квадратів відхилень лінійної (табл. 8).

Table 8

Mathematical models for different types of glazes

Таблиця 8

Математичні моделі для різновидів глазурей

Linear model: $y = b_0 - b_1 \cdot x$	Exponential model: $y = b_1 + (b_0 - b_1) \cdot \exp(-b_2 \cdot x)$
Curve 1: $y = 4.23 - 1.05727 \cdot x$; confidence interval: $0.98241 \leq b_1 \leq 1.13214$; sum of squared deviations $R = 0.015184$	Curve 2: $y = 1.47783 + 2.75217 \cdot \exp(-2.48576 \cdot x)$; confidence interval: $1.36142 \leq b_1 \leq 1.59424$ $2.22831 \leq b_2 \leq 2.74321$
Curve 2: $y = 4.23 - 3.00455 \cdot x$; confidence interval: $2.43764 \leq b_1 \leq 3.57145$; $R = 0.870655$	sum of squared deviations $R = 0.004638$
Curve 3: $y = 4.23 - 2.45545 \cdot x$; confidence interval: $2.39771 \leq b_1 \leq 2.51320$; $R = 0.009035$	Curve 4: $y = 1.26952 + 2.96048 \cdot \exp(-1.68559 \cdot x)$; confidence interval: $0.35551 \leq b_1 \leq 2.18354$ $0.69161 \leq b_2 \leq 2.67956$ $R = 0.083015$
Curve 4: $y = 4.23 - 2.75182 \cdot x$; confidence interval: $2.35873 \leq b_1 \leq 3.14490$; $R = 0.418593$	Curve 5: $y = 2.67451 + 1.55549 \cdot \exp(-6.99975 \cdot x)$; confidence interval: $2.51496 \leq b_1 \leq 2.83406$ $3.14015 \leq b_2 \leq 10.85934$
Curve 5: $y = 4.23 - 2.08727 \cdot x$; confidence interval: $1.43635 \leq b_1 \leq 2.73820$; $R = 1.147844$	sum of squared deviations $R = 0.060774$

Результати апроксимації експериментальних реологічних кривих показують, що одна рідина в певному діапазоні швидкостей зсуву підпорядковується декільком реологічним моделям, які за обраним критерієм не поступаються одна одній. У такому разі питання вибору моделі вирішується з урахуванням області застосування моделі, зручності практичного застосування. Але тоді обрану реологічну модель не можна поширювати на інші умови і швидкості деформації.

Висновки

Досліджено вплив рецептурних компонентів на властивості шоколадних мас: зі збільшенням вологості в'язкість глазурей підвищується, але підвищення вмісту жиру, зростання температури, введення поверхнево-активних речовин, механічна обробка – знижують в'язкість. Чим вище дисперсність частинок какао тертого, тим повніше розкрито клітини ядра і виділено їх жир. У статті

розглянуто тенденції та перспективи розвитку ринку кондитерських виробів України за чинниками, які впливають на формування технології виробництва. Висвітлено аспекти застосування математичних методів та моделей для вирішення задач виробничої стратегії, а також оптимізаційної моделі раціонального використання ресурсів з метою максимізації загальної якості та мінімізації вартості продукції.

Подальші дослідження спрямовані на вивчення таких питань як розширення корисних властивостей можливої сировини, її класифікація-ідентифікація та визначення методів контролю якості; вибір науково-обґрунтованих технологій, обладнання та методів виробництва; розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки сировини; вибір підприємств для виробництва і обґрунтування вибору усіх видів ресурсів для реалізації цих проектних рішень.

References

- [1] Markitantov, I. B. (2002). [Efficiency and quality of chocolate production]. St. Petersburg, Russian Federation: Agentstvo (in Russian).
- [2] Filinsjka, T. Gh. (2013). [Technology processing of secondary fatty raw materials in the multipurpose products]. UMI No. 0414U000515.
- [3] Zubchenko, A. V. (1999). [Confectionery technology]. Voronezh, Russian Federation: Voronezh (in Russian).
- [4] Bukhhalo, S. I., Zemeljko, M. L., Ighlin, S. P. (2021). [Research of the influence of the components of chocolate glazes on their rheological characteristics]. *Visnyk NTU «KhPI»*, 2 (1362), 56–62. <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2021.02.09>
- [5] Bukhhalo, S. I., Zemeljko, M. L. (2021). [Investigation of influence of certain technological parameters on rheological characteristics of chocolate glazes]. *Visnyk NTU «KhPI»*, 1 (1361), 62 – 70 (in Ukrainian).
- [6] Saputro, A. D., Van de Walle, D., Caiquo, B. A., Hinneh, M., Kluczykoff, M., & Dewettinck, K. (2019). Rheological behaviour and microstructural properties of dark chocolate produced by combination of a ball mill and a liquefier device as small scale chocolate production system. *LWT*, 100, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.039>
- [7] Muhammad, D. R. A., Saputro, A. D., Rottiers, H., Van de Walle, D., & Dewettinck, K. (2018). Physicochemical properties and antioxidant activities of chocolates enriched with engineered cinnamon nanoparticles. *European Food Research and Technology*, 244(7), 1185–1202. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3035-2>

- [8] Saputro, A. D., Van de Walle, D., Hinneh, M., Van Durme, J., Dewettinck, K. (2018). Aroma profile and appearance of dark chocolate formulated with palm sugar–sucrose blends. *European Food Research and Technology*, 244(7), 1281–1292. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3043-2>
- [9] Hartel, R. W., von Elbe, J. H., Hofberger, R. (2018). *Confectionery Science and Technology* (Vol. 536). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61742-8>
- [10] Ghorodysjka, O. V., Ghrevceva, N. V., Samokhvalova, O. V., Bushtruk, I. V. (2018). [Technology of confectionary glaze with the use of grape powders as an alternative to cocoa powder]. *Proghresyjni tekhnika ta tekhnologhiji kharchovykh vyrobnyctv restorannogho ghospodarstva i torghivli*, 2(28), 223–237 (inUkrainian).
- [11] Pylypenko, O. Je. (2017). [Development of the food industry of Ukraine]. *Naukovi praci Nacionaljnogho universytetu kharchovykh tekhnologhij*, 23(3), 15–25 (inUkrainian).
- [12] Bukhhalo, S. I., Tovazhnjanskyj, L. L., Denysova, A. Je., Demidov, I. M., Kapustenko, P. O., Arsenjeva, O. P., Bilous O. V., Oljkhovsjka, O. I. (2016). [General technology of the food industry in examples and problems (Innovative examples)]. Kyjiv, Ukraine: Centr navchalnoji literatury (inUkrainian).
- [13] Decker, E. (2018). *U.S. Patent No. 16,008,227*.
- [14] Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 66–73. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>
- [15] Bukhhalo, S.I. (2014). *Zaghaljna tekhnologhija kharchovoji promyslovosti u prykladakh i zadachakh (innovacijni zakhody)*. Kyjiv, Ukraine: Centr navchalnoji literatury (inUkrainian).
- [16] Vásquez, C., Henríquez, G., López, J. V., Penott-Chang, E. K., Sandoval, A. J., & Müller, A. J. (2019). The effect of composition on the rheological behavior of commercial chocolates. *LWT*, 111, 744–750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.101>
- [17] Zhu, Y., Bhandari, B., & Prakash, S. (2020). Relating the tribo-rheological properties of chocolate flavoured milk to temporal aspects of texture. *International Dairy Journal*, 110, 104794. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104794>
- [18] Tolve, R., Tchienbou-Magaia, F. L., Verderese, D., Simonato, B., Puggia, D., Galgano, F., ... & Favati, F. (2021). Physico-chemical and sensory acceptability of no added sugar chocolate spreads fortified with multiple micronutrients. *Food Chemistry*, 364, 130386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130386>
- [19] Glicerina, V., Balestra, F., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2016). Microstructural and rheological characteristics of dark, milk and white chocolate: A comparative study. *Journal of Food Engineering*, 169, 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011>
- [20] Barbosa, C., Diogo, F., & Alves, M. R. (2016). Fitting mathematical models to describe the rheological behaviour of chocolate pastes. In *AIP Conference Proceedings*, 1738(1), 370016. <https://doi.org/10.1063/1.4952161>
- [21] McGill, J., & Hartel, R. W. (2018). Investigation into the microstructure, texture and rheological properties of chocolate ganache. *Journal of food science*, 83(3), 689–699. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14053>
- [22] Kouřilová, V., Dufková, R., Hřivna, L., & Kumbár, V. (2022). Use of rheological plastic models to describe the flow behaviour of unconventional chocolate masses. *Czech Journal of Food Sciences*, 40(4), 305–312. <https://doi.org/10.17221/57/2022-cjfs>
- [23] Kumbár, V., Kouřilová, V., Dufková, R., Votava, J., & Hřivna, L. (2021). Rheological and pipe flow properties of chocolate masses at different temperatures. *Foods*, 10(11), 2519. <https://doi.org/10.3390/foods10112519>
- [24] Barbosa, C., Diogo, F., & Alves, M. R. (2016, June). Fitting mathematical models to describe the rheological behaviour of chocolate pastes. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1738, No. 1, p. 370016). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.4952161>
- [25] Konar, N., Özhan, B., Artık, N., Dalabasmaz, S., & Poyrazoglu, E. S. (2013). Rheological and physical properties of Inulin-containing milk chocolate prepared at different process conditions. *CyTA - Journal of Food*, 12(1), 55–64. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.793214>
- [26] Wang, Y. (2009). Prebiotics: Present and future in food science and technology. *Food Research International*, 42(1), 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.09.001>
- [27] Rasouli-Pirouzian, H., Peighamardoust, S. H., Azadmard-Damirchi, S. (2017). Rheological properties of sugarfree milk chocolate: Comparative study and optimisation. *Czech Journal of Food Sciences*, 35(5), 440–448. <https://doi.org/10.17221/231/2016-cjfs>