
РЕОЛОГІЧНІ ТА СТРУКТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Осьмак Т. Г., Бандура У. Г., Басс О. О.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-697-3-20>

ВСТУП

Молочні продукти являють собою складні багатофазні дисперсні системи, властивості яких обумовлені їхнім хімічним складом. Найбільш повну характеристику якості продукту можна отримати на основі аналізу його фізичних властивостей, реологічних, структурно-механічних характеристик, що визначають технологічну якість молочних продуктів та особливості їхньої поведінки під час технологічних процесів. Консистенція є сукупністю реологічних властивостей продукту, які формуються розмірами, формою, просторовим розташуванням і характером взаємодії структурних елементів. За особливостями структури молочні продукти поділяють на структуровані рідкі системи (молоко, вершки) та в'язкопластичні (сметана, кисломолочний сир, сиркові вироби). Кожна із цих груп характеризується специфічними реологічними властивостями, що визначають особливості їхнього виробництва, переробки, зберігання та споживання¹.

Ферментовані молочні напої належать до неньютонівських рідин із псевдопластичним характером течії. Для таких систем характерне зменшення ефективної в'язкості зі зростанням швидкості зсуву, що обумовлено руйнуванням внутрішньої структури продукту під дією механічного навантаження. За низьких швидкостей деформації ці продукти проявляють виражені ознаки аномальної в'язкості, тоді як за інтенсивнішого зсувного впливу їхні реологічні властивості наближаються до характеристик ньютонівських рідин. Структурно-механічні властивості та консистенція кисломолочних продуктів формуються під впливом різних факторів. Якість молочної сировини, вміст жиру та сухих речовин, концентрація білків, режими технологічної обробки є вагомими факторами впливу. Порушення оптимального співвідношення цих чинників може спричинити погіршення структурних

¹ Morison, K. R., Phelan, J. P., Bloore, C. G. Viscosity and Non-Newtonian Behaviour of Concentrated Milk and Cream. *International Journal of Food Properties*. 2013. Vol. 16 (4). P. 882–894.

характеристик, зниження в'язкості та появу синерезису в готовому продукті².

Таким чином, дослідження реологічних властивостей молочних продуктів має важливе значення для розуміння процесів структуроутворення, оптимізації технологічних режимів виробництва та забезпечення стабільно високої якості готової молочної продукції.

Метою роботи є дослідження реологічних характеристик молочних продуктів з різними типами дисперсних систем. Це дасть можливість удосконалити типовий технологічний процес і контролювати якісні показники молочних продуктів.

Органолептичну оцінку кисломолочної пасти проводили методом описування відкритих дегустацій, використовуючи 10-бальну шкалу.

Активну кислотність вимірювали шляхом введення електродів потенціометричного аналізатора в концентрати за температури 20 °С.

В'язкість суміші для кисломолочних паст із рослинними наповнювачами визначали на віскозиметрі Гепплера. Метод засновано на визначенні динамічної в'язкості з використанням падіння кульки у в'язкому середовищі.

Продукт не повинен містити газу, для цього його перед визначенням в'язкості нагрівають до температури $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$, перемішують і охолоджують до температури $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Пробу продукту обережно наливають по стінці у внутрішню скляну призму віскозиметра на 95% місткості. Із комплексу вибирають кульку з таким розрахунком, щоб тривалість її падіння в продукті на відрізку 0,1 м не була менше ніж 25 і більше за 120 с. Час проходження кулі між верхньою і нижньою позначками фіксують на секундомірі і двічі заміряють до отримання різниці між трьома результатами не більше ніж 1 с.

Динамічну в'язкість продукту h (Па·с) обчислюють за такою формулою:

$$h = t(d - d_1)k \cdot 10^{-3},$$

де t – тривалість падіння кулі, с; d – густина матеріалу, з якого виготовлена куля, за температури 20 °С, г/см³; d_1 – густина молока за температури 20 °С, г/см³; k – константа кулі, мм²/с².

Густина матеріалу, що з нього виготовлена куля, і константа вказані в паспорті приладу.

² Didem Sözeri Atik, Hale İnci Öztürk, Nihat Akın. Perspectives on the yogurt rheology. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 263 (2). Art. 130428.

Вологоутримувальну здатність (ВУЗ) гречано-сироваткового компонента визначали гравіметричним методом, який ґрунтується на визначенні кількості вологи, що виділяється з продукту за легкого пресування. Для цього наважку (0,3 г) вміщували на м'яку водонепроникну пластину діаметром 40 мм, накривали повільно поглинаючим беззольним фільтром діаметром 40 мм, потім накривали скляною пластинкою діаметром 100 мм і вміщували на неї гирю масою 500 г. Через 7 хвилин пластину знімали, а пластину з наважкою зважували. ВУЗ визначали за формулою:

$$\text{ВУЗ} = (100 \cdot (a - b)) / a,$$

де ВУЗ – вологоутримувальна здатність, %; а – кількість вологи у наважці, г; б – кількість вологи, що виділилася з наважки сиру, г.

$$a = 0,3 B_{\text{тв}} / 100,$$

де 0,3 – наважка сиру, г; $B_{\text{тв}}$ – масова частка вологи, %.

Ступінь синерезису згустків визначали центрифужним методом. Дослідний зразок після перемішування вносили в центрифужні мірні пробірки в кількості 10 см³ та центрифугували протягом 30 хв за частоти обертів 3000 хв⁻¹. Через кожні 5 хв визначали об'єм сироватки, що виділявся (см³).

Реологічні властивості кисломолочних паст визначали на ротаційному віскозиметрі Rheotest II з вимірювальною системою циліндр – циліндр S/N шляхом зняття кривих кінетики деформації (течії)³.

Ефективну в'язкість сумішей морозива визначали на ротаційному віскозиметрі Rheotest II з вимірювальною системою циліндр – циліндр (S/S1) шляхом зняття кривих кінетики деформації (течії).

Вимірювання проводили за температури 20 °С у режимах «а» чи «б», які встановлювали експериментально з урахуванням структурно-механічних властивостей досліджуваних зразків. Вимірювальний циліндр (ротор) S1 вибирали з таким розрахунком, щоб градієнтний шар розповсюджувався на всю товщину шару продукту, розміщеного в кільцевому зазорі вимірювального пристрою віскозиметра. Для кожного досліді брали нову порцію продукту.

Вимірювання напруги зсуву проводили за дванадцятьма значень швидкості зсуву γ (мПа*с) у діапазоні від 3 до 1312,2 с⁻¹ за послідовного

³ Kochubei-Lytvynenko, O., Yatsenko, O., Yushchenko, N., Kuzmyk, U. A stabilizing system for butter pastes based on the dry concentrates of milk protein. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5. No. 11 (95). P. 30–36.

ступінчастого збільшення швидкостей зсуву, витримки з найбільшою швидкістю й подальшого послідовного ступінчастого зменшення швидкостей.

Одержані результати вимірювань обчислювали за допомогою стандартних програм статистичного оброблення Microsoft Excel. Графічне представлення експериментальних даних здійснювали за допомогою програми Microsoft Excel. Точність отриманих результатів забезпечувалася три-п'ятикратною повторюваністю дослідів.

1. Формування реологічних властивостей кисломолочних паст із рослинними наповнювачами

З використанням наповнювачів у складі рецептур кисломолочних паст може відбуватися спонтанне відділення вологи як у свіжовироблених продуктах, так і під час їхнього зберігання. Запобігти цьому процесу дає змогу використання зв'язувальних вологу наповнювачів, які виконують також функцію стабілізаторів структури. Найчастіше в молочній промисловості використовують пектини, карбоксиметилцелюлозу, карагінани, модифіковані крохмалі (як самостійно, так і у складі стабілізаційних систем)⁴.

Серед широкого спектра харчових добавок, що використовуються в сучасних технологіях харчових продуктів, особливе значення мають модифіковані крохмалі. Завдяки своїм функціонально-технологічним властивостям вони широко застосовуються як структуроутворювачі, загущувачі та стабілізатори в багатокомпонентних харчових системах. Модифіковані крохмалі характеризуються високою стабільністю під час зберігання та технологічної обробки. На відміну від нативних крохмалів, вони мають знижену схильність до ретроградації та синерезису, що сприяє збереженню стабільної структури готового продукту протягом тривалого часу. Наявність поперечних зв'язків у структурі окремих видів модифікованих крохмалів забезпечує їхню стійкість до дії підвищених температур, механічних навантажень та інших технологічних факторів, що позитивно впливає на термін придатності харчових продуктів⁵.

У технології кисломолочних продуктів крохмалі широко використовують як стабілізатори структури. Їх застосування сприяє запобіганню відокремленню сироватки, підвищенню в'язкості та поліпшенню консистенції готового продукту. Внесення оптимальної кількості крохмалю не чинить негативного впливу на смакові властивості продукції

⁴ Zhang S, Ren C, Wang C, Han R, Xie S. Effects of hydrocolloids and oleogel on techno-functional properties of dairy foods. *Food Chem X*. 2024. Vol. 21. Art. 101215.

⁵ Соломон, А. М., Новгородська, Н. В., Бондар, М. М. Кисломолочні десерти з подовженим терміном зберігання : монографія. Вінниця : РВВ ВНАУ, 2019.

та не перешкоджає процесам молочнокислого бродіння. Одночасно використання крохмалів дає змогу зменшити потребу в підвищенні вмісту сухих знежирених речовин молока, знижує ризик агрегації білків під час внесення фруктових наповнювачів та сприяє стабілізації структури молочного згустку після термічної обробки⁶.

Ефективна в'язкість молочно-овочевих сумішей є однією з найважливіших характеристик, яка обумовлює закономірності формування структури кисломолочних паст упродовж усього технологічного процесу. Для формування належних реологічних характеристик кисломолочних паст застосовують компоненти, які спроможні зв'язувати воду та структурувати багатоконпонентну систему. Із цією метою досліджено вплив стабілізаторів структури на реологічні властивості пасти кисломолочної з рослинними наповнювачами. Як стабілізатори структури використовували картопляний крохмаль (контроль) та модифіковані картопляні крохмалі LYCKEBY Volume C E1420, Microlys 52 E1442, CheesMaker BL 140. Співвідношення компонентів, що входять до складу кисломолочної пасти, наведено в таблиці 1. Як молочну основу використовували сир кисломолочний нежирний, отриманий роздільним способом, а також нежирний йогурт. Для надання продукту функціональних та органолептичних властивостей до складу кисломолочної пасти вводили рослинні наповнювачі – буряк і чорнослив.

Таблиця 1

Компонентний склад кисломолочної пасти з рослинними наповнювачами

Масова частка, %				
йогурт нежирний	сир кисломолочний нежирний	наповнювач (буряк та чорнослив)	структуро-утворювач	сіль
59,2–54,8	30,0–32,0	10,0–12,0	0,5–0,7	0,3–0,5

На рис. 1 наведено динаміку зміни ефективної в'язкості контрольного і досліджуваних зразків. З аналізу даних видно, що комплексна взаємодія пектиновмісної овочевої сировини і модифікованих крохмалей (LYCKEBY Volume C E1420 та Microlys 52 E1442) у складі кисломолочної пасти дає змогу суттєво покращити в'язкісно-швидкісні характеристики сумішей, що підтверджується високим ступенем відновлення зруйнованої структури.

⁶ Jianwei Zang, Pinjian Xiao, Yuqin Chen, Zebo Liu, Daobang Tang, Yuanzhi Liu, Jiguang Chen, Yonggang Tu, Zhongping Yin. Hydrocolloid application in yogurt: Progress, challenges and future trends. *Food Hydrocolloids*. 2024. Vol. 153. Art. 110069.

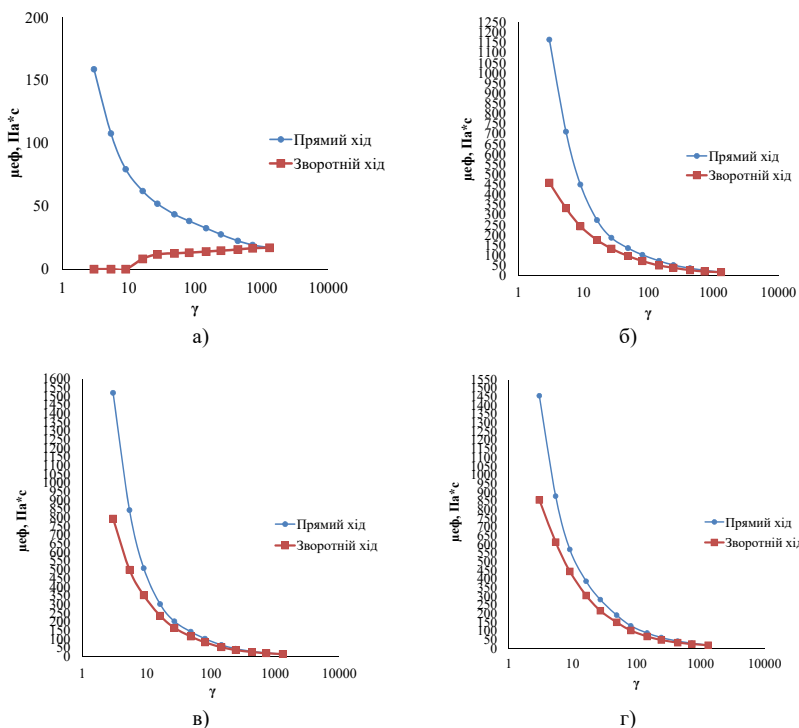


Рис. 1. Динаміка зміни ефективної в'язкості контрольного і досліджуваних зразків: а – контроль; б – зразок із застосуванням стабілізатора CheesMaker BL 140; в – зразок із застосуванням стабілізатора Microlys 52 E1442; г – зразок із застосуванням стабілізатора LYCKEBY Volume C E1420

Стійкість продукту до синерезису та рівень його в'язкості належать до дуже важливих показників якості, які впливають на стабільність структури кисломолочних паст і тривалість їх зберігання. Необхідно враховувати, що рослинні наповнювачі мають низьку кислотність, що може призвести до ущільнення сітки білкового гелю та порушення структури кисломолочних паст і виникнення синерезису. Проведено дослідження фізико-хімічних властивостей кисломолочної пасти з різними видами модифікованого картопляного крохмалю (табл. 2).

Аналіз показника динамічної в'язкості свідчить, що додавання до складу кисломолочних паст модифікованих крохмалів забезпечує

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники кисломолочних паст, n = 3, P ≥ 0,95

Найменування показника	Контроль	Зразки із застосуванням стабілізатора		
		CheesMaker BL 140	Microlys 52 E1442	LYCKEBY Volume C E1420
В'язкість, Па·с	2,34±0,2	2,44 ± 0,2	2,43 ± 0,2	2,45 ± 0,2
Синерезис, см ³	0,1	—	—	—

отримання продукту стабільної якості. Отримані згустки мають щільну, однорідну, в'язку консистенцію. Додавання модифікованих крохмалів запобігає процесу синерезису через утворення колоїдних агрегатів між білками молока й молекулами гідроколоїдів.

За результатами органолептичних та фізико-хімічних досліджень доведено доцільність застосування модифікованих картопляних крохмалів LYCKEBY Volume C E1420 та Microlys 52 E1442 у складі кисломолочних паст, що забезпечує структурування сумішей у межах рекомендованих значень ефективної в'язкості та підвищує їхню тиксотропну здатність.

2. Формування реологічних властивостей кисломолочних паст із використанням круп гречаної несмаженої

Поряд із використанням стабілізаторів, що являють собою високоочищені концентрати біополімерів, значний інтерес становить застосування натуральних компонентів із природними структурувальними та вологозв'язувальними властивостями для стабілізації харчових систем. Особливо перспективними є цільнозернові продукти та плодоовочева сировина, що містить структурувальні полісахариди та білки, здатні забезпечувати необхідні реологічні характеристики готових продуктів⁷.

Основна цінність більшості зернових продуктів полягає в тому, що вони містять значну кількість вуглеводів (злаки – понад 65%, бобові – понад 50%), переважно крохмалю, який міститься в ендоспермі зерна у вигляді крохмальних зерен різної величини і форми⁸.

Дослідження були спрямовані на оцінку стабілізуючої дії несмаженої гречаної круп (*Fagopyrum esculentum Moench*), яка може бути використана як вологозв'язувальний та структуроутворювальний інгредієнт у виробництві кисломолочних паст. Харчові волокна та слиз гречки мають високу вологоутримувальну здатність. Традиційна технологія

⁷ Vojtíšková P., Švec P., Kubáň V., Krejzová E., Bittová M., Kráčmar S., Svobodová B. Chemical composition of buckwheat plant parts and selected buckwheat products. *Potravinářstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2014. Vol. 8 (1). P. 247–253.

⁸ Zhang L., Li Z. Functional Characteristics of Traditional buckwheat product. *Journal of Chinese Cereals and Oils Association*. 2009. Vol. 3. P. 53–57.

обробки гречаної крупи передбачає проведення гідротермічної обробки, а саме зволоження та пропарювання зерна під тиском 0,25–0,30 МПа за температури близько 100 °С протягом 3–5 хвилин. Після цього крупу висушують за температури 133–158 °С і тиску 0,2–0,5 МПа до досягнення вологості 12–14%. Така обробка забезпечує руйнування склеювальних речовин оболонки, інактивацію ферментів (ліпази та ліпоксигенази), які спричиняють окиснення та зіркнення жирів. Унаслідок цього суттєво уповільнюються процеси дихання зерна, підвищується еластичність плодових оболонок і міцність ядра. Разом із тим інтенсивна теплова обробка зумовлює клейстеризацію крохмалю, утворення декстринів, денатурацію білкових речовин і руйнування хлорофілу, що негативно впливає на структуроутворювальні та стабілізуювальні властивості крупи⁹. З огляду на це для стабілізації кисломолочних систем доцільно використовувати несмажені зерна гречки. Додатковою перевагою такої сировини є слабо виражені смакові й ароматичні характеристики, що забезпечують можливість її ефективного застосування в технології молочних продуктів без істотного впливу на їхні органолептичні властивості¹⁰.

За результатами попередніх органолептичних та фізико-хімічних досліджень визначено сумісність несмаженої гречаної крупи з кисломолочною основою, виготовленою на базі м'якого дієтичного кисломолочного сиру. Дослідні зразки характеризувалися білим кольором із кремовим відтінком та однорідною консистенцією з наявністю відчутних частинок гречаної крупи. У процесі експериментальних досліджень встановлено недоцільність використання цілих зерен гречки, оскільки після теплової обробки формувалася неоднорідна консистенція з включеннями фрагментів нерозм'якшеної оболонки зерна. Крім того, для досягнення необхідного ступеня розварювання був потрібний тривалий час обробки – 30–40 хвилин. З огляду на це для подальших досліджень гречану крупу використовували в подрібненому стані. Визначено, що оптимальним співвідношенням гречаної крупи та молочної сироватки є 1 : 4. За збільшення частки сироватки консистенція суміші ставала надмірно рідкою через наявність надлишкової вологи. Натомість зі зменшенням кількості сироватки суміш набувала надмірної густоти та втрачала плинні властивості.

Встановлено, що активна кислотність гречано-сироваткового компонента залежала від співвідношення його складових. За співвідношень

⁹ Ikeda S., Kreft I., Asami Y., Mochida N., Ikeda K. Nutrition educational aspects on the utilization of some buckwheat foods *Fagopyrum*. *Food Chem.* 2008. Vol. 25. P. 57–64.

¹⁰ Gu, J., Hong, Y., Gu, Z. Study on Physico – chemical Properties of Buckwheat Starch. *Journal of Food and fermentation industries.* 2009. Vol. 30. P. 104–108.

крупы та сироватки 1 : 2 і 1 : 3 показник рН становив 4,7, за співвідношення 1 : 4 – 4,5, а за 1 : 6 – 4,3. Отримані значення відповідають діапазону активної кислотності, характерному для кисломолочних паст. Дослідження вологоутримувальної здатності показали, що зі збільшенням масової частки гречаної крупи від 4,8 до 7,2% цей показник зростає на 15,0%, тоді як з підвищенням вмісту крупи від 4,0 до 4,8% – на 6,0%. Одночасно спостерігалось зниження ступеня синерезису: за внесення 4,0% гречаної крупи він зменшувався на 1%, а за її вмісту 5,6–7,2% – на 2%.

Для реалізації поставленої мети було визначено оптимальні технологічні параметри підготовки крупи гречаної як структурувального компонента.

Для визначення оптимальних параметрів температурного оброблення гречаної крупи досліджували залежність вологоутримувальної здатності гречано-сироваткового компонента від температури процесу. Модельні зразки готували з несмаженої гречаної крупи та молочної сироватки у співвідношенні 1 : 4. Після внесення крупи в попередньо нагріту до 38–42 °С молочну сироватку суміш піддавали термічному обробленню в температурному інтервалі 60–95 °С з кроком 5 °С протягом 15 хв. Після охолодження до 18–22 °С визначали показник вологоутримувальної здатності отриманого структурованого компонента. Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Залежність вологоутримувальної здатності гречано-сироваткового компонента від температури оброблення

Назва показника	Температура, °С							
	60	65	70	75	80	85	90	95
Вологоутримувальна здатність, %	59	60	66	69	71	73	74	74

Аналіз отриманих результатів свідчить, що підвищення температури оброблення суміші сприяє збільшенню її вологоутримувальної здатності. Встановлено, що зі зростанням температури процесу покращується здатність системи зв'язувати й утримувати вологу. За температури 85 °С значення показника вологоутримувальної здатності досягало 73%, тоді як подальше підвищення температури супроводжувалося незначним його зростанням – приблизно на 1%. Отримані результати свідчать про те, що температура оброблення гречаної крупи повинна становити не менше ніж 85 °С. З урахуванням технологічної доцільності для подальших досліджень було вибрано температуру приготування гречаного структурованого компонента на рівні 85–90 °С.

Для визначення оптимальної тривалості процесу приготування гречано-сироваткового компонента досліджували вплив часу термічного оброблення на показники вологоутримувальної здатності (табл. 4) та граничного напруження зсуву за температури 85–90 °С (рис. 2).

Під час проведення експерименту молочну сироватку попередньо нагрівали до температури 38–42 °С, після чого за безперервного перемішування вносили несмажену гречану крупу у співвідношенні 1 : 4. Отриману суміш нагрівали до температури 85–90 °С і витримували протягом 5, 10, 15 та 20 хв залежно від варіанта досліді. Після завершення теплового оброблення гречано-сироватковий компонент охолоджували до температури 18–22 °С та визначали його структурно-механічні характеристики.

Таблиця 4

Залежність вологоутримувальної здатності гречано-сироваткового компонента від тривалості оброблення

Назва показника	Тривалість процесу, хв			
	5	10	15	20
Вологоутримувальна здатність, %	74	75	76	76

Найвищий показник вологоутримувальної здатності вже спостерігали в зразку з тривалістю обробки 15 хв – 76,0%. У зразку з тривалістю обробки крупи 20 хв показник вологоутримувальної здатності збільшився всього на 0,1%.

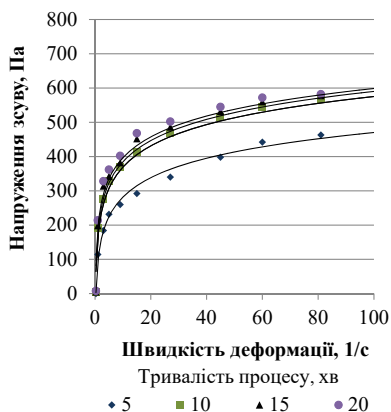


Рис. 2. Вплив тривалості оброблення гречано-сироваткового компонента на показник напруження зсуву

Максимальне значення граничного напруження зсуву було зафіксовано для зразка, який піддавали термічному обробленню протягом 15 хв. Водночас різниця між показниками зразків із тривалістю оброблення 10 та 15 хв була незначною, що свідчить про досягнення практично однакового рівня структуроутворення вже після 10 хв теплового впливу.

На підставі отриманих експериментальних даних встановлено оптимальні параметри підготовки несмаженої гречаної крупи як структуроутворювального компонента: температура оброблення – 85–90 °С, тривалість процесу – 10–15 хв. Результати досліджень підтвердили доцільність використання несмаженої гречаної крупи як функціонального інгредієнта у складі кисломолочних паст. Доведено оптимальне внесення крупи гречаної в кількості 5,0–6,0%, що забезпечує формування необхідних структурно-механічних властивостей готового продукту.

3. Формування реологічних властивостей сумішей морозива

Сучасні тенденції удосконалення технології та рецептур морозива спрямовані на покращення його органолептичних властивостей, зменшення виробничих витрат шляхом використання альтернативних видів сировини, а також розроблення нових продуктів спеціального призначення для споживачів з особливими харчовими потребами. Зростаючий попит на корисні та низькокалорійні десерти серед дітей і дорослих сприяв підвищенню популярності таких страв на ринку. Для задоволення потреб споживачів і стимулювання розвитку сегмента здорових десертів значна кількість підприємств харчової промисловості активно розширюють їх виробництво. Водночас підвищений інтерес до продуктів без доданого цукру став важливим чинником розвитку ринку корисних десертів, у тому числі морозива¹¹.

Результати досліджень свідчать, що повна заміна цукру та/або часткова заміна сухого знежиреного молочного залишку в рецептурі морозива крохмальною патокою, широко представленою на вітчизняному ринку, дає змогу не лише покращити поживну цінність і якість замороженого десерту завдяки зниженню його калорійності, а й частково вирішити проблему дефіциту молочної сировини¹².

Вивчено структурувальну здатність патоки з різним декстрозним еквівалентом у складі сумішей морозива вершкового й ароматичного із

¹¹ Akalın A.S., Karagözlü C., Ünal G. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*. 2007. Vol. 227 (3). P. 889–895.

¹² Bass O., Polischuk G., Goncharuk E. Influence of sweeteners on rheological and qualitative indicators of ice cream. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol. 7 (1). P. 41–53.

заміною цукру 50% та 100%. Ці системи вибрано як типові для двох груп морозива з принципово різним хімічним складом – на молочній основі та на основі цукрових сиропів. Масову частку підсолоджувачів у складі сумішей морозива різних видів (% за сухими речовинами) наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Вміст підсолоджувального компонента (%) у зразках сумішей морозива різних видів (за вмістом сухих речовин)

Вид підсолоджувача	Суміші вершкові							Суміші ароматичні						
	Номер зразка							Номер зразка						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Цукор	14,0	7,0	–	7,0	–	7,0	–	28,0	14,0	–	14,0	–	7,0	–
ІГ-42	–	7,0	14,0	–	–	–	–	–	14,0	28,0	–	–	–	–
ГФС	–	–	–	7,0	14,0	–	–	–	–	–	14,0	28,0	–	–
ПК	–	–	–	–	–	7,0	14,0	–	–	–	–	–	14,0	28,0

Умовні позначення: ІГ-42 – глюкозна патока; ПК – крохмальна патока; ГФС – глюкозно-фруктозний сироп.

Ефективну в'язкість сумішей для виробництва морозива різного хімічного складу визначали за градієнта швидкості зсуву γ у діапазоні від 3 до 1312,2 с⁻¹ під час прямого і зворотного ходу. Реологічні характеристики досліджуваних зразків наведено в таблиці 6.

Відповідно до результатів дослідження, для сумішей вершкового й ароматичного морозива контрольних зразків № 1 і № 8, а також для зразків із патоками ІГ-42 та ГФС (№ 2–7 і № 9–14) встановлено наявність тиксотропних властивостей. Для зазначених систем у процесі реологічних випробувань характерним є поступове руйнування вихідної структури, що супроводжується зниженням ефективної в'язкості (η_e) порівняно з її початковим значенням (η_1).

Водночас харчові системи, до складу яких входить карамельна патока (ПК) (зразки № 6, № 7, № 13 та № 14), характеризуються здатністю майже повністю відновлювати свою структуру після механічного впливу та проявляють слабо виражені реопексні властивості. Це підтверджується збільшенням значення ефективної в'язкості в режимі зворотного зменшення швидкості зсуву (η_e) відносно початкового показника (η_1). Крім того, виявлено суттєві відмінності у тривалості часу (τ), необхідного для досягнення системами стану рівноваги за максимальної швидкості зсуву.

Особливості руйнування структури досліджуваних харчових систем під час визначення ефективної в'язкості представлені на рис. 3 та рис. 4 на

Таблиця 6

**Реологічні характеристики досліджуваних зразків сумішей
із цукром та крохмальними патоками ($P \geq 0,95$; $n = 3$)**

№ зразка	η_1 ($\gamma = 3$), мПа*с	η_2 ($\gamma = 1312,2$), мПа*с	η_3 ($\gamma = 3$), мПа*с	τ ($\gamma = 1312,2$), с
Вершкові суміші				
1	$896,9 \pm 16,4$	$51,3 \pm 1,5$	$782,1 \pm 15,5$	336 ± 15
2	$907,6 \pm 17,8$	$51,7 \pm 1,6$	$808,4 \pm 16,0$	304 ± 12
3	$919,1 \pm 18,9$	$51,5 \pm 1,6$	$819,5 \pm 16,1$	318 ± 13
4	$793,5 \pm 16,0$	$48,1 \pm 1,2$	$674,4 \pm 14,0$	267 ± 10
5	$759,9 \pm 15,9$	$47,5 \pm 1,1$	$628,9 \pm 13,2$	200 ± 8
6	$967,6 \pm 19,0$	$60,6 \pm 1,7$	$1050,1 \pm 23,0$	425 ± 16
7	$1095,3 \pm 22,5$	$64,5 \pm 1,9$	$1234,3 \pm 22,1$	440 ± 16
Ароматичні суміші				
8	$252,3 \pm 8,5$	$6,2 \pm 1,9$	$193,5 \pm 6,8$	152 ± 7
9	$269,8 \pm 8,9$	$6,6 \pm 2,1$	$204,9 \pm 6,9$	141 ± 6
10	$288,6 \pm 9,2$	$6,9 \pm 2,1$	$217,5 \pm 7,1$	139 ± 5
11	$206,4 \pm 7,4$	$5,7 \pm 1,9$	$182,3 \pm 6,2$	99 ± 5
12	$191,5 \pm 4,1$	$4,8 \pm 1,7$	$160,4 \pm 6,1$	83 ± 3
13	$299,1 \pm 9,2$	$7,9 \pm 2,0$	$342,0 \pm 9,1$	181 ± 8
14	$323,6 \pm 10,2$	$9,4 \pm 1,3$	$384,5 \pm 9,2$	197 ± 9

Умовні позначення: η_1 – ефективна в'язкість практично незруйнованої структури ($\gamma = 3$, прямий хід вимірювання), η_2 – ефективна в'язкість зруйнованої структури ($\gamma = 1312,2$), η_3 – ефективна в'язкість відновленої структури ($\gamma = 3$, зворотний хід вимірювання) τ – час, необхідний для встановлення стану рівноваги за максимальної швидкості зсуву.

прикладі сумішей вершкового й ароматичного морозива з повною заміною цукру крохмальною патокою.

Результати досліджень показали, що використання карамельної патоки сприяє підвищенню ефективної в'язкості сумішей та покращує їх здатність до відновлення структури після механічного руйнування. Така властивість є особливо важливою на стадії формування порцій м'якого морозива перед процесом загартування. Імовірно, зазначений ефект пов'язаний із наявністю у складі карамельної патоки поліцукрів.

Разом із тим встановлено, що суміші з карамельною патокою характеризуються вищими значеннями ефективної в'язкості порівняно з контрольними зразками. Це може негативно позначатися на процесі збивання та сприяти формуванню надмірно щільної структури готового морозива. З огляду на суттєвий вплив низькооцукреної патоки на

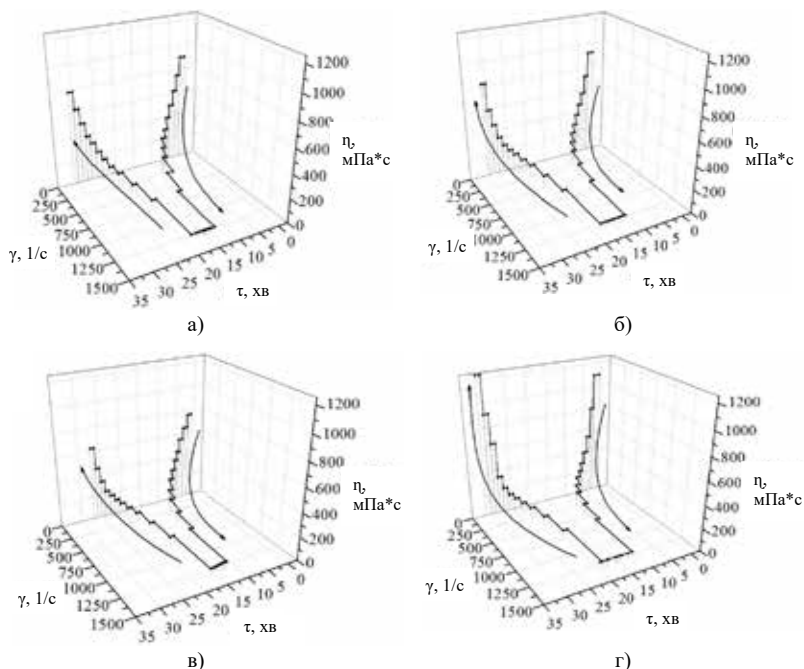


Рис. 3. Динаміка зміни ефективної в'язкості зразків сумішей вершкових із цукром (а) та повною заміною цукру на ГФС (б), ГФС (в) та ПК (г) за різної швидкості зсуву

реологічні характеристики сумішей повна заміна цукру карамельною патокою є недоцільною.

Часткова або повна заміна цукру глюкозно-фруктозним сиропом (ГФС) призводить до зменшення в'язкості сумішей та зниження їх здатності до відновлення структури порівняно з контрольним зразком. Такий вплив можна пояснити значним вмістом моносахаридів у складі ГФС. На відміну від зразків із карамельною патокою, харчові системи з переважанням моносахаридів не забезпечують достатнього рівня структуроутворення. Крім того, використання лише глюкозно-фруктозного сиропу може спричиняти надмірну солодкість морозива та знижувати його стійкість до танення. Отже, як надлишок, так і дефіцит полісахаридів у складі патоки негативно впливають на процеси формування та стабілізації структури продукту. Отримані результати свідчать про доцільність поєднання низько- та високоцукрених паток, оскільки це дає змогу ефективно

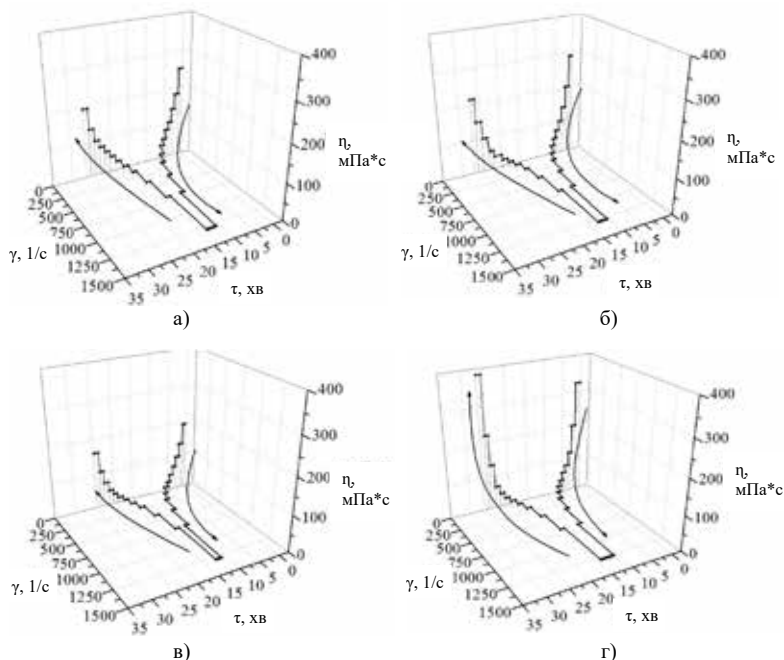


Рис. 4. Динаміка зміни ефективної в'язкості зразків сумішей морозива ароматичного із цукром (а) і повною заміною цукру на ІГ-42 (б), ГФС (в) та ПК (г) за різної швидкості зсуву

використовувати їх функціонально-технологічні властивості для оптимізації рецептури морозива й досягнення максимального технологічного ефекту. Встановлена здатність сумішей із патоками до відновлення структури після механічного руйнування має важливе практичне значення. Зокрема, ця властивість може підвищувати ефективність процесів формування та дозування порцій морозива під час його виробництва на потокових екструзійних лініях.

Застосування поліолів як альтернативних підсолоджувачів у виробництві різних видів морозива сприяє розширенню асортименту продукції зі зниженою калорійністю та низьким глікемічним індексом. Завдяки вираженим кріопротекторним властивостям ці сполуки позитивно впливають на консистенцію морозива, а їхні специфічні смакові характеристики покращують сприйняття солодкості й аромату готового продукту.

Рациональне поєднання різних заміників цукру з урахуванням їхнього хімічного складу та технологічних особливостей дає змогу цілеспрямовано регулювати фізико-хімічні властивості сумішей для виробництва морозива й оптимізувати якість кінцевого продукту. У зв'язку з цим актуальним є дослідження можливостей і умов використання таких заміників цукру як перспективних рецептурних інгредієнтів із технологічно-функціональними властивостями у виробництві морозива.

З метою дослідження впливу поліолів на в'язкісні характеристики сумішей морозива різних видів у його складі цукор повністю замінювали на поліоли – еритритол, ізомальт та сорбіт. За контроль для зразків морозива вершкового вибрано типову класичну рецептуру (м. ч. ж. – 10%, м. ч. СЗМЗ – 10%, м. ч. цукру – 14%). Для дослідження морозива на основі цукрових сиропів за контрольний зразок вибрано суміш ароматичну (масова частка цукру 28%). Масову частку підсолоджувачів у складі морозива наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

Вміст підсолоджувального компонента (%) у зразках сумішей морозива різних видів (за вмістом сухих речовин)

Вид підсолоджувача	Суміші вершкові							Суміші ароматичні						
	Номер зразка							Номер зразка						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Цукор	14,0	7,0	–	7,0	–	7,0	–	28,0	14,0	–	14,0	–	7,0	–
Еритритол	–	7,0	14,0	–	–	–	–	–	14,0	28,0	–	–	–	–
Ізомальт	–	–	–	7,0	14,0	–	–	–	–	–	14,0	28,0	–	–
Сорбітол	–	–	–	–	–	7,0	14,0	–	–	–	–	–	14,0	28,0

Реологічні характеристики досліджуваних зразків наведено в таблиці 8.

Таблиця 8

Реологічні характеристики досліджуваних зразків сумішей із цукром та поліолами ($P \geq 0,95$, $n = 3$)

№ зразка	$\eta_i (\gamma = 3)$, мПа*с	$\eta_e (\gamma = 1312,2)$, Па*с	$\eta_s (\gamma = 3)$, мПа*с	$\tau (\gamma = 1312,2)$, с
1	2	3	4	5
Суміші вершкові				
1	$896,9 \pm 16,4$	$51,3 \pm 1,5$	$782,1 \pm 15,5$	336 ± 15
2	$857,4 \pm 16,1$	$51,2 \pm 1,5$	$575,3 \pm 12,1$	342 ± 16
3	$815,4 \pm 15,2$	$34,9 \pm 1,4$	$381,5 \pm 10,0$	351 ± 15
4	$854,3 \pm 16,0$	$41,5 \pm 1,4$	$552,7 \pm 11,8$	324 ± 13
5	$798,5 \pm 14,5$	$32,3 \pm 1,3$	$321,2 \pm 11,0$	312 ± 11

Продовження таблиці 8

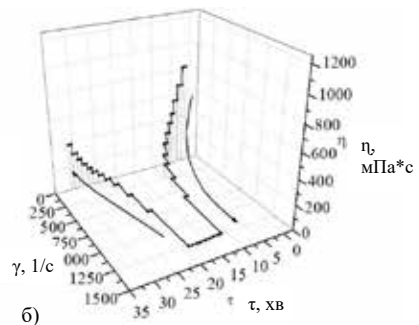
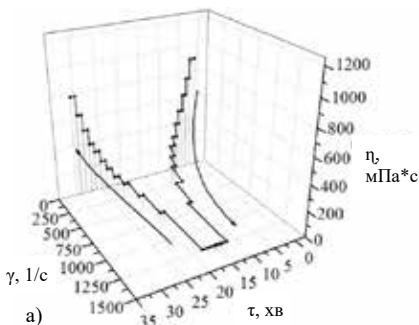
1	2	3	4	5
6	864,417,6	$38,8 \pm 1,5$	$752,3 \pm 16,0$	392 ± 14
7	$616,8 \pm 18,4$	$39,8 \pm 1,2$	$344,5 \pm 14,5$	404 ± 16
Суміші ароматичні				
8	$252,3 \pm 8,5$	$6,2 \pm 1,9$	$193,5 \pm 6,8$	152 ± 7
9	$201,8 \pm 8,2$	$6,0 \pm 1,1$	$164,2 \pm 5,5$	163 ± 2
10	$181,4 \pm 8,7$	$6,0 \pm 0,9$	$148,4 \pm 5,5$	170 ± 6
11	$221,2 \pm 8,0$	$6,0 \pm 1,7$	$169,3 \pm 5,1$	163 ± 4
12	$177,3 \pm 6,1$	$5,9 \pm 1,5$	$145,2 \pm 4,8$	185 ± 6
13	$202,4 \pm 6,5$	$5,5 \pm 1,4$	$167,5 \pm 4,9$	167 ± 5
14	$162,5 \pm 5,0$	$5,0 \pm 1,0$	$142,4 \pm 4,7$	172 ± 7

Умовні позначення: η_1 – ефективна в'язкість практично незруйнованої структури ($\gamma = 3$, прямий хід вимірювання), η_2 – ефективна в'язкість зруйнованої структури ($\gamma = 1312,2$), η_3 – ефективна в'язкість відновленої структури ($\gamma = 3$, зворотний хід вимірювання), τ – час, необхідний для встановлення стану рівноваги за максимальної швидкості зсуву.

Характер руйнування структури досліджуваних харчових систем у процесі вимірювання ефективної в'язкості на прикладі сумішей вершкових і ароматичних із повною заміною цукру на поліюли наведено на рис. 5 та 6.

Тиксотропні властивості виявлено для всіх досліджуваних зразків сумішей морозива. Водночас повна заміна цукру на поліюли максимально знижує не тільки ефективну в'язкість сумішей, але і їх здатність до відновлення їх структури.

Результати досліджень показали, що для контрольної вершкової суміші морозива ступінь відновлення структури становить близько 87%, тоді як



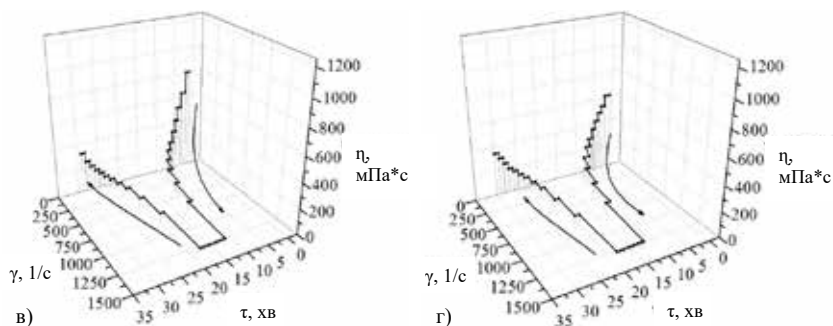


Рис. 5. Динаміка зміни ефективної в'язкості сумішей морозива вершкового із цукром (а) та еритритолом (б), ізомальтом (в) і сорбітолом (г) за різної швидкості зсуву

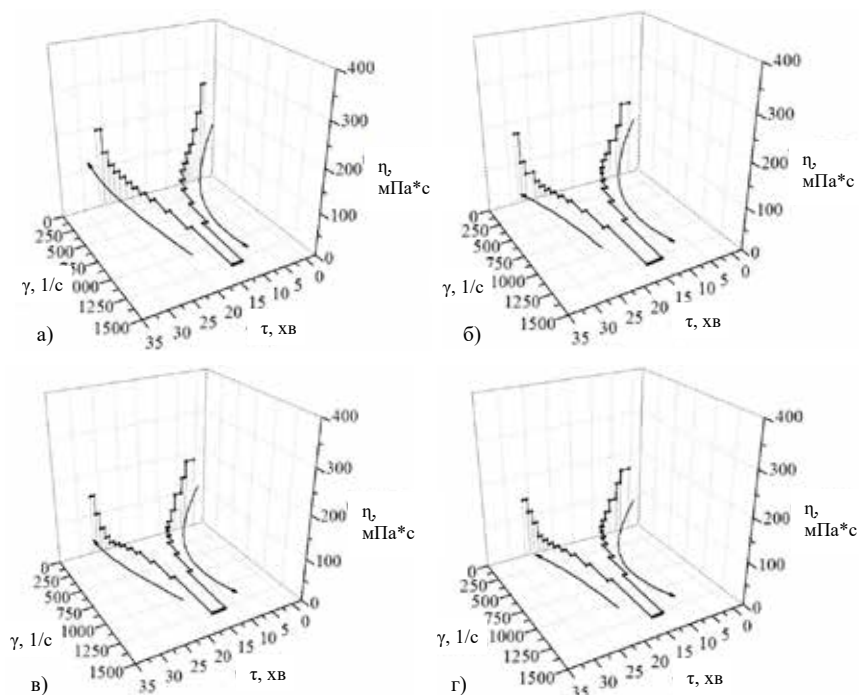


Рис. 6. Динаміка зміни ефективної в'язкості сумішей морозива ароматичного із цукром (а) та з еритритолом (б), ізомальтом (в) і сорбітолом (г) за різної швидкості зсуву

у зразках із повною заміною цукру поліолами цей показник знижується до 40–55%. За таких умов під час формування порцій, особливо на поточкових екструзійних лініях, морозиво може швидко втрачати задану форму внаслідок надмірно м'якої консистенції та підвищеної схильності до деформації.

Для ароматичного морозива найнижчі значення ефективної в'язкості також характерні для зразків, у рецептурі яких цукор повністю замінено поліолами. При цьому ступінь відновлення структури під час зниження швидкості зсуву був вищим, ніж у вершкових сумішах, і становив приблизно 81–88%, що, ймовірно, пов'язано з їх нижчими в'язкісними характеристиками.

Таким чином, використання поліолів призводить до зменшення в'язкості сумішей морозива незалежно від їх хімічного складу, що може негативно впливати на структурно-механічну стійкість дисперсної системи типу «повітря в рідині». Тому в разі повної заміни цукру поліолами для забезпечення стабільності пінної структури морозива доцільним є додаткове введення ефективних структуроутворювальних компонентів.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень встановлено, що формування структурно-механічних властивостей молочних продуктів є багатофакторним процесом, який визначається хімічним складом сировини, природою рецептурних компонентів та режимами технологічної обробки. Реологічна поведінка досліджуваних систем підтверджує їх належність до складних неньютонівських структур, у яких стабільність консистенції забезпечується рівновагою між руйнуванням і відновленням внутрішньої структури.

Доведено, що використання функціональних інгредієнтів дає змогу цілеспрямовано регулювати властивості дисперсних молочних систем. Застосування модифікованих крохмалів LYCKEBY Volume C E1420, Microlys 52 E1442 і рослинної сировини забезпечує підвищення в'язкості, формування однорідної структури, покращення тиксотропних характеристик і зниження явища синерезису, що є критично важливим для стабільності кисломолочних продуктів.

Встановлено, що гречана крупа несмажена як природний структуроутворювач за оптимального співвідношення з молочною сироваткою (1 : 4), за умови термічної обробки 85–90 °C тривалістю 10–15 хв, забезпечує формування стабільної реологічної системи

з підвищеною вологоутримувальною здатністю та регульованими структурно-механічними властивостями. Це підтверджує доцільність її використання у функціональних кисломолочних пастах.

У технології морозива доведено, що заміна цукру різними підсолоджувачами суттєво впливає на баланс між в'язкістю, структуроутворенням і стабільністю пінної системи. Карамельна патока інтенсифікує структуроутворення, але може ускладнювати технологічну обробку; глюкозо-фруктозний сироп знижує в'язкість і стабільність; поліоли змінюють реологічні характеристики та потребують додаткового введення структуроутворювачів. Найбільш збалансовані властивості досягаються завдяки комбінованому використанню різних типів підсолоджувачів.

Отримані результати формують наукове підґрунтя для вдосконалення технологій молочних продуктів із заданими структурно-функціональними властивостями та можуть бути використані для покращення якості, стабільності, споживчих властивостей.

АНОТАЦІЯ

У роботі наведено результати досліджень реологічних і структурно-механічних властивостей молочних продуктів з різними типами дисперсних систем. Розглянуто ефективність використання модифікованих картопляних крохмалів та несмаженої гречаної крупи як структуроутворювальних інгредієнтів у кисломолочних пастах, встановлено їх позитивний вплив на в'язкість, тиксотропні властивості, вологоутримувальну здатність та запобігання синерезису. Обґрунтовано раціональні технологічні параметри їх застосування, що забезпечують формування стабільної однорідної структури продукту.

Окремо проаналізовано реологічну поведінку сумішей для морозива залежно від типу заміників цукру. Показано, що карамельна патока підвищує в'язкість і структурну стабільність, глюкозо-фруктозний сироп знижує ці показники, а поліоли змінюють баланс структуроутворення та потребують додаткових стабілізаторів. Встановлено доцільність комбінованого використання різних підсолоджувачів для оптимізації реологічних властивостей і підвищення якості морозива.

Отримані результати свідчать про можливість цілеспрямованого регулювання структурно-механічних характеристик молочних систем шляхом підбору функціональних інгредієнтів, що має практичне значення для вдосконалення технологій кисломолочних продуктів і морозива.

Література

1. Morison K. R., Phelan J. P., Bloore C. G. Viscosity and Non-Newtonian Behaviour of Concentrated Milk and Cream. *International Journal of Food Properties*. 2013. Vol. 16 (4). P. 882–894. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.573113>.
2. Didem Sözeri Atik, Hale İnci Öztürk, Nihat Akin. Perspectives on the yogurt rheology. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 263 (2). Art. 130428. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130428>.
3. Kochubei-Lytvynenko O., Yatsenko O., Yushchenko N., Kuzmyk U. A stabilizing system for butter pastes based on the dry concentrates of milk protein. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5. No. 11 (95). P. 30–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143105>.
4. Zhang S, Ren C, Wang C, Han R, Xie S. Effects of hydrocolloids and oleogel on techno-functional properties of dairy foods. *Food Chem X*. 2024. Vol. 21. Art. 101215. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101215.
5. Соломон А. М., Новгородська Н. В., Бондар М. М. Кисломолочні десерти з подовженим терміном зберігання : монографія. Вінниця : PBB BHAУ, 2019.
6. Jianwei Zang, Pinjian Xiao, Yuqin Chen, Zebo Liu, Daobang Tang, Yuanzhi Liu, Jiguang Chen, Yonggang Tu, Zhongping Yin. Hydrocolloid application in yogurt: Progress, challenges and future trends. *Food Hydrocolloids*. 2024. Vol. 153. Art. 110069. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110069>.
7. Vojtišková P., Švec P., Kubáň V., Krejzová E., Bittová M., Kráčmar S., Svobodová B. Chemical composition of buckwheat plant parts and selected buckwheat products. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2014. Vol. 8 (1). P. 247–253. <https://doi.org/10.5219/385>.
8. Zhang L., Li Z. Functional Characteristics of Traditional buckwheat product. *Journal of Chinese Cereals and Oils Association*. 2009. Vol. 3. P. 53–57.
9. Ikeda S., Kreft I., Asami Y., Mochida N., Ikeda K. Nutrition educational aspects on the utilization of some buckwheat foods Fagopyrum. *Food Chem*. 2008. Vol. 25. P. 57–64.
10. Gu J., Hong Y., Gu Z. Study on Physico – chemical Properties of Buckwheat Starch. *Journal of Food and fermentation industries*. 2009. Vol. 30. P. 104–108.
11. Akalin A.S., Karagözlü C., Ünal G. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*. 2007. Vol. 227 (3). P. 889–895. DOI: 10.1007/s00217-007-0800-z.

12. Bass O., Polischuk G., Goncharuk E. Influence of sweeteners on rheological and qualitative indicators of ice cream. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol. 7 (1). P. 41–53.

Information about the authors:

Osmak Tetiana Hryhorivna,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Milk
and Dairy Product Technology
National University of Food Technologies
68 Volodymyrska Street, Kyiv, Ukraine

Bandura Uliana Hennadiivna,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Milk
and Dairy Product Technology
National University of Food Technologies
68 Volodymyrska Street, Kyiv, Ukraine

Bass Oksana Oleksandrivna,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Milk
and Dairy Product Technology
National University of Food Technologies
68 Volodymyrska Street, Kyiv, Ukraine