

УДК 637.146.32

OPTIMIZATION OF THE MODES OF HOMOGENIZATION OF CREAM INTENDED FOR THE PRODUCTION OF DIET SOUR CREAM

O. Mandiuk, G. Polishchuk, O. Kochubei-Lytvynenko, A. Marinin
National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
sour cream, whey concentrates, homogenization, effective viscosity, syneresis	The article presents the results of the optimization of the homogenization regimes of cream mixtures enriched with whey proteins and intended for the production of sour cream with a fat content of 10%. It was established that it is possible to achieve optimal values of the effective viscosity of sour cream not lower than 80 Pa·s with a straight course of the rotary measurement and a shear speed gradient of 0.1 s⁻¹ in the presence of 1% whey protein concentrate and 30% hydrolyzed whey concentrate in fairly wide ranges values of pressure (5—25 MPa) and temperature (40—80 °C) due to the high structuring ability of whey proteins. For the control sample, the optimal homogenization modes are significantly narrowed down to pressure values of 10—15 MPa and temperature of 60—80 °C. In the case of adding 0.5% β-glucan to protein-containing cream, an abnormal decrease in the viscosity of sour cream was found, in contrast to the synergistic structuring effect in the case of adding 0.5% guar gum to protein-containing cream. Modes of homogenization of cream with β-glucan are narrowed to 10—15 MPa at a temperature of 60—70 °C, but for cream with guar gum, they are more energy-saving and can be implemented at a pressure of 5—25 MPa and a temperature of 40—80 °C. All samples of sour cream obtained under the optimal modes of homogenization of creamy mixtures are characterized by organoleptic indicators and syneretic ability of a high level of quality, which confirms the practical significance of optimized modes of homogenization of creamy mixtures.
Article history:	
Received 11.08.2024	
Received in revised form 06.09.2024	
Accepted 10.09.2024	
Corresponding author: milknuft@i.ua	

DOI: 10.24263/2225-2916-2024-35-4

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ВЕРШКІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДІСТИЧНОЇ СМЕТАНИ

О. В. Мандюк, здобувач PhD, <https://orcid.org/0000-0002-3291-139X>

Г. Є. Поліщук, д-р техн. наук, <https://orcid.org/0000-0003-3013-3245>

О. В. Кочубей-Литвиненко, д-р техн. наук,

<https://orcid.org/0000-0003-0712-448X>

А. І. Маринін, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-6692-7472>

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати оптимізації режимів гомогенізації вершкових сумішей, збагачених сироватковими білками та призначених для виробництва сметани жирністю 10%. Встановлено, що досягти оптимальних значень ефективної в'язкості сметани не нижче 80 Па·с при прямому ході ротаційного вимірювання і градієнті швидкості зсуву $0,1 \text{ с}^{-1}$ в присутності 1% концентрату сироваткових білків і 30% концентрату гідролізованої сироватки можна у доволі широких діапазонах значень тиску (5—25 МПа) і температури (40—80 °С) за рахунок високої структуруючої здатності сироваткових білків. Для контрольного зразка оптимальні режими гомогенізації суттєво звужуються до значень тиску 10—15 МПа і температури 60—80 °С. У разі внесення до білковісних вершків 0,5% β -глюкану виявлено аномальне зниження в'язкості сметани, на відміну від синергетичного структуруючого ефекту у разі внесення до білковісних вершків 0,5% гуарової камеді. Режими гомогенізації вершків з β -глюканом звужуються до 10—15 МПа за температури 60—70 °С, але для вершків з гуаровою камеддю є більш енергоощадливими і можуть бути реалізовані за тиску 5—25 МПа і температур 40—80 °С. Усі зразки сметани, одержані за оптимальних режимів гомогенізації вершкових сумішей, за органолептичними показниками і синергетичною здатністю характеризуються високим рівнем якості, що підтверджує практичну значимість оптимізованих режимів гомогенізації вершкових сумішей.

Ключові слова: сметана, сироваткові концентрати, гомогенізація, ефективна в'язкість, синерезис.

Вступ. Сметана низької жирності зазвичай відрізняється від повножирних різновидів доволі рідкою консистенцією, вираженою кислотністю, недостатньо повними смаком і запахом, низькою здатністю до зберігання [1]. Для покращання якості сметани необхідно контролювати якість сировини та активність закваски, а також дотримуватися рекомендованих технологічних режимів основних технологічних операцій — гомогенізації, пастеризації, ферментації вершків, визрівання і зберігання сметани [2]. Зважаючи на необхідність покращення споживчих властивостей низькожирної сметани, актуальним є вивчення особливостей впливу однієї з найважливіших технологічних операцій, зокрема гомогенізації вершків, на показники якості готового продукту, у тому числі збагаченого білком.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Наявність молочного жиру надає молочним продуктам приємних смакових відчуттів і забезпечує формування кремоподібної густої консистенції [3]. У той же час, низький вміст жиру в сметані (10...15%) призводить до виникнення численних вад органолептичних показників, що пояснюється підвищеним вмістом вологи з переважанням у структурі продукту молочно-білкового кислотного гелю [4]. Для покращення сенсорних властивостей, зниження синерезису і подовження строків зберігання сметани з низьким вмістом жиру до її

складу вносять білки і стабілізатори структури [5]. Для зв'язування води і відповідного структурування низькожирної сметани українські науковці використовують у її складі природні загусники [6]. Споживчі властивості молочних продуктів також покращують застосуванням у технологічних схемах різних способів гомогенізації молочних сумішей [7]. Останнім часом популярною є обробка вершків високим тиском, що інактивує бактеріофаги і сторонні мікроорганізми та, відповідним чином, подовжує строки зберігання сметани, а також підвищує у її складі життєздатність пробіотичних бактерій [8]. У разі застосування загальноприйнятих режимів гомогенізації було встановлено значне покращення консистенції сметани за одночасного зниження синерезису при збільшенні жирності вершків від 20 до 40% та підвищення тиску гомогенізації до 20 МПа на першому ступені [9]. У той же час, є інша інформація щодо рекомендованих режимів гомогенізації вершків для виробництва сметани низької жирності: тиск 8 МПа і температура 65 °С. Нижча температура і вищий тиск збільшують розміри жирових кульок і спричиняють їхню агломерацію в гомогенізованих вершках, що погіршує якість сметани [10]. Обов'язковий гомогенізації піддають не тільки вершкові суміші при виробництві сметани, але й жировмісні суміші для виробництва морозива. Зазвичай, тиск гомогенізації вершкових сумішей приймають у межах 8—12 МПа за температури 60—70 °С. Однак встановлено, що подвійна гомогенізація за тиску 14,1+3,5 МПа при 60 °С значно підвищує опір таненню морозива [11], що можна гіпотетично пояснити підвищенням концентрування подрібнених жирових кульок на поверхні поділу фаз «повітря—плазма» з утворенням механічно стійкої жирової сітки.

Дискусійним залишається питання щодо доцільності застосування повної або часткової гомогенізації у виробництві сметани. Доведено, що часткова гомогенізація ефективна лише в разі застосування високого тиску, що покращує колоїдну стабільність молока і в'язкість, але не впливає на його активну кислотність [12].

Отже, гомогенізація є одним з вагомих чинників формування сенсорних властивостей сметани з низьким вмістом жиру. Однозначні рекомендації щодо режимів гомогенізації вершків у технології низькожирної сметани відсутні, особливо в разі застосування у складі цього продукту структуруючих і збагачуючих інгредієнтів. Авторами науково обґрунтовано вибір білковмісних інгредієнтів у складі низькожирної сметани [13], зокрема концентрату сироваткових білків КСБ-УФ і концентрату гідролізованої сироватки КГС. Також триває робота з розроблення оригінальних рецептур сметанних виробів на основі збагаченої білками низькожирної сметани. Тому, зважаючи на нетиповий хімічний склад вершків, які необхідно гомогенізувати перед пастеризацією і ферментацією, виникла потреба оптимізувати технологічні режими процесу механічного оброблення жировмісних сумішей.

Метою дослідження є оптимізація режимів гомогенізації вершків для виробництва сметани низької жирності, збагаченої білками.

Матеріали і методи. Зразки сметани жирністю 10% одержували з нормалізованих вершків, які гомогенізували за змінних тиску (5—25 МПа) і температури (40—80 °С) за допомогою лабораторного гомогенізатора-диспергатора моделі 15M-8TA «Lab Homogenizer & Sub-Micron Disperser» (GAULIN CORPORATION, Massachusetts, USA). Гомогенізовані вершки пастеризували (85—90 °С, 5 хв), охолоджували (28—32 °С) і ферментували закваскою ТМ «Vivo» (Україна), що містить *Lactococcus lactis*, *Lactococcus cremoris*, *Lactococcus diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*, до досягнення активної кислотності не вище рН 4,6. Зразки сметани охолоджували (4±2 °С) і зберігали в холодильній камері впродовж однієї доби.

Білкові концентрати та інші інгредієнти перед внесенням у вершкові суміші попередньо розчиняли або гідратували у вершках за співвідношення 1:10 при температурі 40 °С і при перемішуванні вносили у решту вершків.

Як молочно-білкові інгредієнти застосовували:

- концентрат сироваткових білків, одержаний методом ультрафільтрації (КСБ-УФ);
- концентрат гідролізованої сироватки (КГС) з масовою часткою сухих речовин 40%, одержаний згідно з розробленою науковцями НУХТ технологією [14].

Масові частки КСБ-УФ і КГС у зразках сметани становили 1,0% і 30,0% відповідно до розроблених рекомендацій [13].

Як загущувачі використовували натуральні полісахариди: β -глюкан з вівса (Shanxi, China) і гуарову камедь (Neelkanth Polymers, Індія) у кількостях по 0,5%, які є загальноприйнятими у складі харчових продуктів [15].

Зважаючи на великий обсяг роботи в цій частині експерименту, а також на те, що зразки з КСБ-УФ і КГС виявляють дуже схожі фізико-хімічні властивості, було прийняте рішення дослідити спільну структуруючу здатність полісахаридів (β -глюкану і гуарової камеді) на прикладі зразків з КСБ-УФ, який промислово виготовляється в Україні і є широкодоступним для застосування.

Позначення зразків сметани жирністю 10%:

контрольний зразок (сметана без інгредієнтів);

зразок 1 (сметана з КСБ);

зразок 2 (сметана з КГС);

зразок 3 (сметана з КСБ+ β -глюкан);

зразок 4 (сметана з КСБ+гуарова камедь).

Моделювання оптимального співвідношення між режимами гомогенізації, зокрема температурою (x) в діапазоні від 40 °С до 80 °С і тиском (y) в діапазоні від 5 МПа до 25 МПа, було виконано за допомогою методології поверхні відгуку. Обрана методологія є сукупністю математичних і статистичних прийомів, спрямованих на моделювання процесів і знаходження комбінацій експериментальних рядів предикторів. Моделювання проводилося в середовищі Mathcad 15 за допомогою двовимірної поліноміальної регресії другого порядку. Для цього було створено відповідні матриці із значеннями ефективної в'язкості за різного співвідношення між змінними параметрами температури й тиску. Критерієм оптимальності при гомогенізації вершків обрано ефективну в'язкість, значення якої має бути не нижче 80 мПа·с, що було доведено в попередній серії експерименту.

У загальному вигляді функція відгуку описується таким поліномом:

$$\hat{y}(x, b) = b_0 + \sum_{l=1}^n b_l x_l + \sum_{k=1}^n b_k x_k^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

де $x \in R^n$ — вектор змінних; b — вектор параметрів.

Для оцінки невідомих параметрів b_0 , b_1 , b_2 , b_3 застосовано метод найменших квадратів (МНК). Згідно з методом невідомі параметри функції обираються таким чином, щоб сума квадратів відхилень експериментальних (емпіричних) значень Y_i від їх розрахункових (теоретичних) Y_{ip} значень була мінімальною, тобто:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{ip})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \varphi(X_i, b_0, b_1, \dots, b_k))^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

В'язкість зразків сметани вимірювали на ротаційному реометрі Kinexus Pro+ (Malvern Instruments Ltd, United Kingdom). Верхня геометрія — C25 DIN L0142 SS

(циліндр), нижня геометрія — PC25 DIN C0350 AL. Перед вимірюванням реологічних характеристик зразки сметани підігрівали до температури 10 °С, перемішували їх впродовж 30 с. Після цього зразки поміщали в циліндр, опускали верхню геометрію та витримували впродовж 5 хв. Ефективну в'язкість практично незруйнованої структури визначали при прямому ході за швидкості зсуву 0,1 с⁻¹.

Органолептичні показники, зокрема запах, смак, колір, консистенцію та зовнішній вигляд, оцінювали за 5-бальною шкалою. Бали виставляли відповідно до таких критеріїв за кожним показником: 1 — погано, 2 — прийнятно, 3 — добре, 4 — дуже добре, 5 — відмінно. Одержані бали перераховували з урахуванням коефіцієнтів вагомості: консистенція — 0,2, запах — 0,2, смак — 0,3, колір — 0,2, зовнішній вигляд — 0,1. За середніми балами кожного показника розраховували загальну сенсорну якість як середньозважене значення балів. Зразки сметани диференціювали за рівнем якості відповідно до розрахованого загального зваженого бала: відмінний (20,0—25,0 балів); добрий (16,0—19,9 бала); задовільний (11,0—15,9 бала); практично неприйнятний (6,0—10,9 бала); неприйнятний (менше 6 балів).

Ступінь синерезису як об'єм відділеної зі зразка сметани сироватки, виражений у відстоках, визначали центрифугуванням заповнених перемішаними зразками граду-йованих пробірок об'ємом 10 см³ при частоті обертання барабана центрифуги Sigma 2-6E (Німеччина) 1000 об/хв впродовж 20 хв при температурі 20±1 °С [16].

Точність отриманих результатів забезпечувалася трикратною повторюваністю експерименту за довірчої ймовірності $P \geq 0,95$.

Результати досліджень. Для оптимізації режимів гомогенізації вершків різного хімічного складу за змінних тиску і температури були одержані такі рівняння регресії:

$$Y_1 = -26,411 + 4,889x - 0,1790x^2 + 2,396y - 0,018y^2 - 0,003xy; \quad (3)$$

$$Y_2 = -82,243 + 3,076x - 0,135x^2 + 5,222y - 0,039y^2 + 0,02xy; \quad (4)$$

$$Y_3 = -62,02 + 3,931x - 0,158x^2 + 4,534y - 0,036y^2 + 0,003xy; \quad (5)$$

$$Y_4 = -90,818 + 4,466x - 0,167x^2 + 4,583y - 0,035y^2 - 0,012xy; \quad (6)$$

$$Y_5 = -91,865 + 2,885x - 0,137x^2 + 5,768y - 0,043y^2 + 0,022xy; \quad (7)$$

де: Y_1 — ефективна в'язкість контрольного зразку вершків, Па·с;

Y_2 — ефективна в'язкість зразка 1, Па·с;

Y_3 — ефективна в'язкість зразка 2, Па·с;

Y_4 — ефективна в'язкість зразка 3, Па·с;

Y_5 — ефективна в'язкість зразка 4, Па·с;

x — температура, °С;

y — тиск, МПа.

Для перевірки адекватності отриманих моделей (3)—(7) було проведено обчислення середньоквадратичного відхилення як квадратного кореня з дисперсії за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}, \quad (8)$$

де $\hat{y}_i$ — значення, розраховані за допомогою регресійного рівняння; y_i — значення експериментальних даних. Відповідно до формули (5) їх значення складає: $\sigma_{Y_1}=3,74$ см³, $\sigma_{Y_2}=7,39$ см³, $\sigma_{Y_3}=5,46$ см³, $\sigma_{Y_4}=5,87$ см³ та $\sigma_{Y_5}=8,55$ см³.

На рис. 1 наведені графічні залежності в'язкості вершків, гомогенізованих за варійованих параметрів механічного оброблення — температури і тиску.

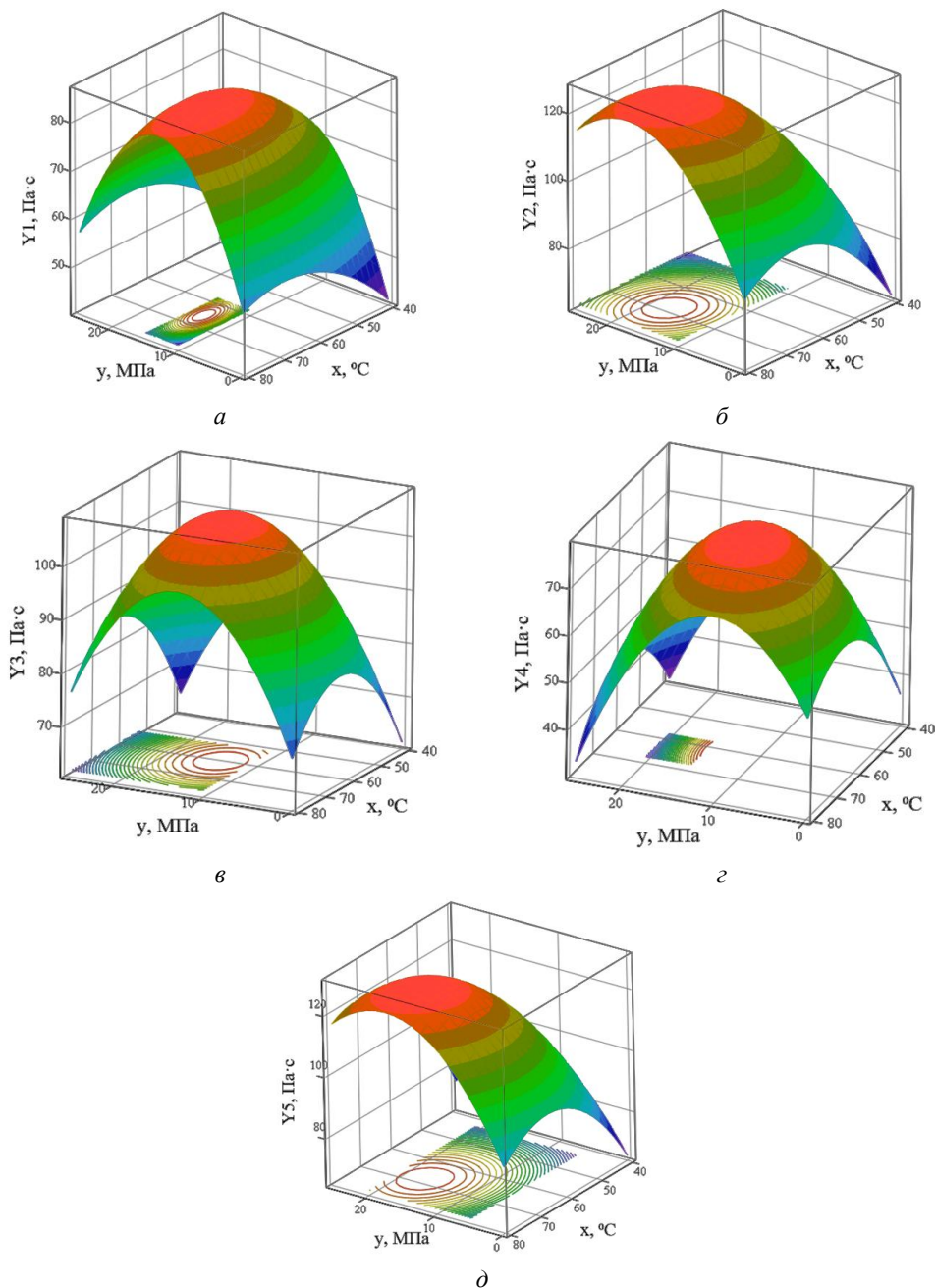


Рис.1. Графічні залежності в'язкості зразків сметани від температури (x) і тиску (y) гомогенізації: *a* — контроль; *б* — зразок 1; *в* — зразок 2; *г* — зразок 3; *д* — зразок 4

Відповідно до результатів моделювання (рис. 1) встановлені оптимальні діапазони режимів гомогенізації вершків жирністю 10% різного хімічного складу, які за-

безпечують формування ефективної в'язкості у зразках сметани не нижче 80 Па·с, зокрема:

- контрольний зразок: тиск 10—15 МПа за температури 60—80 °С;
- зразок 1: тиск 10—15 МПа за температури 40—80 °С; тиск 5—25 МПа за температури 50—80 °С;
- зразок 2: тиск 5—20 МПа за температури 50—80 °С; тиск 5—25 МПа за температури 60—80 °С;
- зразок 3: тиск 15—20 МПа за температури 60—70 °С;
- зразок 4: тиск 10—20 МПа за температури 40—80 °С; тиск 5—25 МПа за температури 50—80 °С.

За результатами аналізу результатів оптимізації технологічних режимів гомогенізації вершкових сумішей різного хімічного складу зрозумілим є вагомий вплив на ефективність цього процесу внесених у вершки функціонально-технологічних інгредієнтів. Зокрема, досягти заданих значень ефективної в'язкості сметани можна у надзвичайно широких діапазонах значень тиску і температури в присутності технологічно активних молочно-білкових інгредієнтів — КСБ-УФ і КГС. Доволі неочікуваним є те, що для зразків 1 і 2 з цими молочно-білковими концентратами для одержання технологічного ефекту можна застосовувати дуже низьку енергоощадну температуру гомогенізації в межах від 40 до 50 °С. Це доводить надзвичайно вагому роль молочно-білкових концентратів у формуванні структури сметани, яка у певній мірі навіть перевершує вплив гомогенізації на цю характеристику продукту. Цей висновок підтверджується і тим, що, на відміну від сметани з молочно-білковими концентратами, для контрольного зразка оптимальні режими гомогенізації суттєво змінюються.

Що стосується зразків 3 і 4, які містять полісахариди, слід відзначити, що присутність полісахариду β -глюкану у зразку 3 аномально знижує в'язкість сметани. Поясненням такого ефекту може бути пригнічення процесу ферментації вершків за занадто сильного зв'язування вільної води β -глюканом у молочних продуктах [17], а також ймовірне руйнування його макромолекул під час гомогенізації вершкових сумішей за низької енергетики молекулярних зв'язків. Подібний ефект також спостерігали і щодо хітоолігосахариду Zagorska J. тощо [18].

Гуарова камедь покращує в'язкісні характеристики сметани за синергістичного сполучення цього полісахариду з білками молока, що дає змогу одержати структурований продукт за найширших діапазонів застосовуваних тиску і температури гомогенізації. Таку ж закономірність було виявлено і за спільної взаємодії між молочними білками і камеддю бобів ріжкового дерева [19]. Також синергізм було виявлено між соєвим білком і гуаровою камеддю, що спричинювало піноутворення і стабілізувало утворену дисперсну систему [20], а синергістична взаємодія між білком гороху та гуаровою камеддю підвищувала вологоутримувальну здатність харчових систем [21]. Тому виявлений ефект можна пояснити саме міжмолекулярною взаємодією між гуаровою камеддю і сироватковими білками, що потребує подальших досліджень.

З метою практичного підтвердження результатів оптимізації процесу механічного оброблення вершкових сумішей з молочно-білковими концентратами проведено порівняльний аналіз зразків сметани, виготовлених за оптимальних режимів гомогенізації. Результати органолептичної оцінки зразків, виготовлених з гомогенізованих вершкових сумішей, та їхню синергетичну здатність після визрівання за температури 4 ± 2 °С наведено у табл. 1 і на рис. 2.

Відповідно до табл. 1, рівень якості зразків сметани з КСБ-УФ та з КСГ, а також зразка з КСБ-УФ у комбінації з гуаровою камеддю за комплексом показників (смак, запах, консистенція, зовнішній вигляд, загальне сприйняття), є відмінним, що на практиці доводить технологічну дієвість оптимізованих режимів гомогенізації для вершків з білоквмісними та вуглеводними інгредієнтами. Контрольний зразок і зразок 3 були оцінені нижче через меншу кремоподібність, менш виражені смак і запах, тому ці зразки віднесені до доброго рівня якості.

Таблиця 1. Органолептична оцінка зразків сметани, виготовленої з гомогенізованих за оптимальних режимів вершків

Зразки сметани	Загальний зважений бал	Рівень якості
Контроль	17,5	добрий
Зразок 1	21,2	відмінний
Зразок 2	22,4	відмінний
Зразок 3	19,6	добрий
Зразок 4	25,0	відмінний

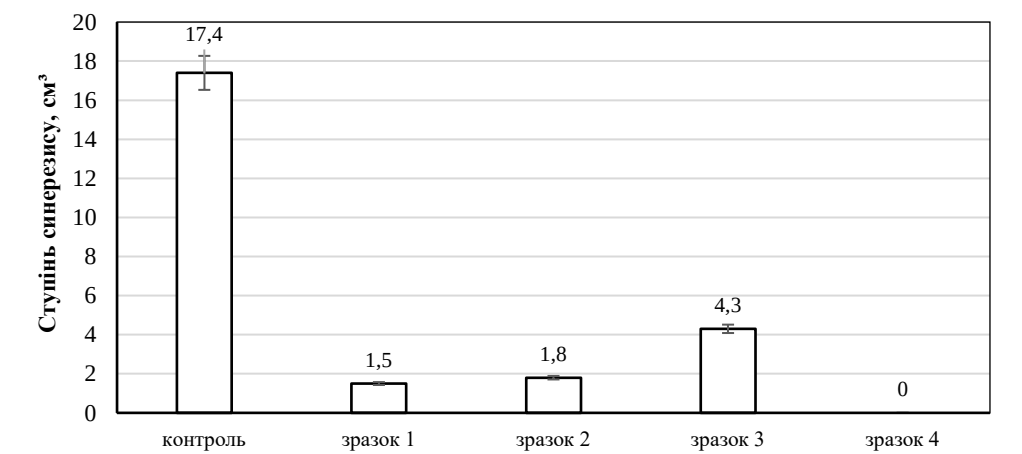


Рис. 2. Ступінь синерезису зразків сметани, виготовленої з гомогенізованих за оптимальних режимів вершків

Рис. 2 доводить можливість суттєвого зниження синерезису (не вище 5 см³) для зразків 1, 2 і 3 за оптимальних режимів гомогенізації, порівняно з контрольним зразком. Одержані результати підтверджують технологічну доцільність додаткового введення до складу сметани жирністю 10% білоквмісних інгредієнтів, які не лише зміцнюють білковий згусток і підвищують його ефективну в'язкість, але й додатково зв'язують вологу. Для зразка 4 синерезис взагалі відсутній, що свідчить про утворення композиційного білково-вуглеводного згустка, який добре утримує вологу. Виявлений ефект підтверджується відомою інформацією, що гуарова камедь зміцнює сумарні міжмолекулярні зв'язки у молочно-білкових згустках та формує стабільну в часі структуру [22].

Отже, доведено практичну значимість результатів дослідження, що дає змогу за оптимізованих режимів гомогенізації одержувати дієтичну сметану, збагачену білком, високої якості. Сметана з додатково введеною гуаровою камеддю буде застосо-

вана у подальших дослідженнях як кисловершкова основа для одержання сметанного продукту.

Висновки. 1. Режими гомогенізації суттєво залежать від хімічного складу вершків жирністю 10%, збагачених білоквмісними концентратами. Досягти значень ефективної в'язкості сметани не нижче 80 МПа·с при прямому ході ротаційного вимірювання і градієнті швидкості зсуву $0,1 \text{ c}^{-1}$ в присутності концентрату сироваткових білків і концентрату гідролізованої сироватки можна у широких діапазонах значень тиску (5—25 МПа) і температури (40—80 °C) за рахунок структуруючої здатності білоквмісних інгредієнтів, на відміну від контрольного зразка, оптимальні режими гомогенізації якого суттєво звужуються до значень тиску 10—15 МПа і температури 60—80 °C.

2. За додаткового внесення до білоквмісних вершків β -глюкану в кількості 0,5% виявлено аномальне зниження в'язкості сметани. У разі застосування 0,5% гуарової камеді спостерігається синергістичний структуруючий ефект. Тому режими гомогенізації вершків з β -глюканом значно звужуються до 10—15 МПа за температури 60—70 °C, а для вершків з гуаровою камеддю можуть бути реалізовані за доволі низької температури в діапазоні 40—80 °C.

3. За комплексом органолептичних показників і синеретичною здатністю зразки сметани, одержані за оптимальних режимів гомогенізації вершкових сумішей з білковими концентратами, оцінено за високим рівнем якості, що підтверджує дієвість проведеної оптимізації режимів гомогенізації і дає змогу рекомендувати їх до практичного застосування в технології дієтичної білкової сметани.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shepard, L., Miracle, P., Leksrisompong, M. A. Drake (2013). Relating sensory and chemical properties of sour cream to consumer acceptance. *Journal Dairy Science*, 96(9), 5435—54. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6317>.
2. Рижкова, Т., Лисенко, Г., & Гейда, І. (2024). Analysis of ways to stabilize the quality of sour cream. Section 1. *SWorldJournal*, 1(24—01), 30—34. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-24-00-021>.
3. Rybak, O. (2016). Milk fat in structure formation of dairy products: a review. *Ukrainian Food Journal*, 5(3), 499—514.
4. Judith, A. Narvhus, Nina, Østby, Roger, K. Abrahamsen (2019). Science and technology of cultured cream products: A review. *International Dairy Journal*, 93, 57—71. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.01.011>.
5. Hassan, M., Mehriz, A., Salem, A., Abozied, H. (2017). Formulation and Characterization Aspects of Light Sour Cream. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 8, 257—262. <https://doi.org/10.21608/jfds.2017.38690>.
6. Danylenko, S. G., Bodnarchuk, O. V., Ryzhkova, T. M., Diukareva, G. I., Malafaiev, M. T., Verbytsky, S. B. (2020). The effects of thickeners upon the viscous properties of sour cream with a low fat content. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 19(3), 359—368. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0836>.
7. Shao, Y., Yuan, Y., Xi, Y., Zhao, T., Ai, N. (2023). Effects of Homogenization on Organoleptic Quality and Stability of Pasteurized Milk Samples. *Agriculture*. 13(1): 205. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010205>.
8. Massoud, R., Belgheisi, S., Massoud, A. (2026). Effect of High Pressure Homogenization on Improving the Quality of Milk and Sensory Properties of Yogurt: A Review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7(1), 66—70. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2016.V7.544>.
9. Okuyama, S., Uozumi, M., Tomita, M. (1994). Effect of Homogenisation Pressure on Physical Properties of Sour Cream. *Nippon shokuhin kogyo gakkaishi*, 41(6), 407—412. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.41.407>.

10. El-Nimr, A. A., Szakaly, S., Schaffer, B. (1975). Effect of homogenization on some properties of sour cream. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 3(2), 104—112.
11. Ruger, P. R., Baer, R. J., Kasperson, K. M. (2002). Effect of double homogenization and whey protein concentrate on the texture of ice cream. *Journal Dairy Science*, 85(7), 1684—92. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74241-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74241-0).
12. Ambroziak, K., Kielczewska, K., Mickiewicz, D., Dąbrowska, A. (2019). Advantages and Disadvantages of Partial High Pressure Homogenisation of Milk in Relation to Full-Stream Homogenisation. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(3), 279—287. <https://doi.org/10.31883/pjfn/109987>.
13. Mykhalevych, A., Kostenko, O., Polishchuk, G., Bandura, U. (2022). Application of milk protein concentrates in preparation of reduced fat sour cream. *Ukrainian Food Journal*, 11(3), 429—447. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2022-11-3-8>.
14. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277—288. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-2-6>.
15. Seo, C. W. (2022). Effect of galactomannan addition on rheological, physicochemical, and microbial properties of cultured sour cream. *Food Science & Biotechnology*, 31(5), 571. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01066-3>.
16. Polishchuk, G., Breus, N., Kochubey-Litvinenko, O., Osmak, T., Semko, T., & Borova, M. (2020). Study of the influence of micellar casein and spelt flour on yogurt quality indicator. *EUREKA: Life Sciences*, (4), 44—52. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2020.001378>.
17. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., Buniowska-Olejniki, M. (2022). β -Glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products. A Review. *Molecules*, 27(19): 6313. <https://doi.org/10.3390/molecules27196313>.
18. Zagorska, J., Pelnik, A., Kerch, G. (2013). Effect of the Addition of Chitosans with Different Molecular Structure on Fermentation Process and Viscosity Changes During Sour Cream Storage. *Biochemistry and Biophysics (BAB)*, 1(2), 13—21. <https://www.researchgate.net/publication/237339210>.
19. Silva, K., Mauro, M., Gonçalves, M., Rocha, C. (2016). Synergistic interactions of locust bean gum with whey proteins: Effect on physicochemical and microstructural properties of whey protein-based films. *Food Hydrocolloids*, 54, 179—188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.028>.
20. Han, Y., Zhu, L., Hui, Z., Liu, T., Wu, G. (2024). Synergistic effect of gellan gum and guar gum on improving the foaming properties of soy protein isolate-based complexes: Interaction mechanism and interfacial behavior. *Carbohydrate Polymers*, 339, 122202. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122202>.
21. Shen, Y., Li, Y. (2021). Acylation modification and/or guar gum conjugation enhanced functional properties of pea protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106686>.
22. Mudgil, D., Barak, S., Khatkar, B. S. (2024). Guar gum: processing, properties and food applications-A Review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(3): 409—18. doi: 10.1007/s13197-011-0522-x.