

RESEARCH OF THE EFFECT OF HOMOGENIZATION OF MILK MIXTURES ON THE FORMATION OF PHYSICO-CHEMICAL INDICATORS OF YOGURT WITH STARCH PRODUCTS

O. Ivashchenko, N. Breus

National University of Food Technologies

Key words:

Yogurt
Maltodextrin
Glucose syrup
Homogenization
Degree of syneresis
Fermentation

Article history:

Received 12.09.2024
Received in revised form
27.09.2024
Accepted 14.10.2024

Corresponding author:

O. Ivashchenko
E-mail:
olivasha25@gmail.com

Citation: Іващенко О. М., Бреус Н. М. (2024). Дослідження впливу гомогенізації молочних сумішей на формування фізико-хімічних показників йогурту з крохмалепродуктами. *Наукові праці НУХТ*, 30(5), 142—151.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-12

ABSTRACT

Homogenization of dairy mixtures in low-fat yogurt production is not a mandatory technological operation; however, it is often applied to improve the consumer properties of fermented beverages. When maltodextrin (dextrose equivalent 10) and glucose syrup (dextrose equivalent 40) are used in yogurt as structuring agents, sweetening ingredients, and sources of non-fat dry substances, it is appropriate to study the effectiveness of homogenization in the technology of this beverage.

In the MathCad 15 software, 3D graphic models were obtained and optimal pressure and temperature ranges for the homogenization process of dairy mixtures with dry glucose syrup and dry maltodextrin at 9% quantities (which completely replace sugar and dry milk in yogurt) were established. The degree of yogurt syneresis, which should not exceed 10 cm³, was used as a criterion for the effectiveness of the homogenization process.

Low technological efficiency of homogenization of dairy mixtures with dry starch products was found, particularly with increased pressure (more than 10—15 MPa) and temperature (more than 40—50 °C). This can be explained by partial mechanical destruction of high-molecular residues of enzymatic hydrolysis of starch. This assumption is indirectly confirmed by the activation of lactic acid bacteria in homogenized mixtures with dry starch products under excessive regimes compared to non-homogenized mixtures. Therefore, considering the high energy consumption of homogenization and its low efficiency, this technological operation is impractical for the production of yogurt containing starch products with low and medium dextrose equivalent. At the same time, it is advisable to continue studying the impact of homogenization on mixtures with glucose-fructose syrup to develop a system of recommendations regarding the use of starch products with different carbohydrate compositions in fermented dairy beverages.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОЧНИХ СУМІШЕЙ НА ФОРМУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЙОГУРТУ З КРОХМАЛЕПРОДУКТАМИ

О. М. Івашенко, Н. М. Бреус

Національний університет харчових технологій

Гомогенізація молочних сумішей у виробництві йогурту низької жирності не є обов'язковою технологічною операцією, однак часто застосовується для покращення споживчих властивостей ферментованих напоїв. У разі використання в складі йогурту мальтодекстрину (декстрозний еквівалент 10) і глюкозного сиропу (декстрозний еквівалент 40) як структуруючих, підсолоджуючих інгредієнтів і джерела сухих знежирених речовин доцільним є вивчення ефективності гомогенізації в технології цього напою.

У середовищі математичного пакета MathCad 15 одержано графічні 3D моделі і встановлено оптимальні діапазони значень тиску і температури процесу гомогенізації молочних сумішей із сухим глюкозним сиропом і сухим мальтодекстрином у кількостях 9%, що є повною заміною цукру і сухого молока в складі йогурту. Як критерій ефективності процесу гомогенізації приймали ступінь синерезису йогурту, який не повинен перевищувати 10 см³.

Установлено низьку технологічну ефективність гомогенізації молочних сумішей з сухими крохмалепродуктами, зокрема за підвищення тиску (більше 10–15 МПа) і температури (більше 40–50 °С), що можна пояснити частковою механічною деструкцією високомолекулярних залишків ферментативного гідролізу крохмалю. Вказане припущення опосередковано підтверджується активізацією молочнокислих бактерій у гомогенізованих за перевищених режимів сумішах із сухими крохмалепродуктами, порівняно з негомогенізованою сумішшю. Зважаючи на високу енергоємність гомогенізації та її низьку ефективність, вказана технологічна операція є недоцільною для виробництва йогурту, що містить крохмалепродукти з низьким і середнім декстрозним еквівалентом. Одночас доцільним є продовження дослідження впливу гомогенізації на суміші з глюкозно-фруктозним сиропом для розроблення системи рекомендацій щодо особливостей застосування крохмалепродуктів з різним вуглеводним складом у ферментованих молочних напоях.

Ключові слова: йогурт, мальтодекстрин, глюкозний сироп, гомогенізація, ступінь синерезису, ферментація.

Постановка проблеми. У сучасному світі зростає попит на функціональні продукти харчування, які мають не тільки добрі смакові якості, але й приносять користь для здоров'я. Виробники харчових продуктів десертного призначення все частіше застосовують у їх складі універсальні за функціонально-технологічними властивостями крохмалепродукти (Ünlü, & Soysal, 2017), які одержують шляхом ферментативного і кислотного гідролізу крохмалю (Eke-Ejiofor, 2015; Nikolić et al., 2023). Щороку ці інгредієнти стають все більш популярними і серед виробників молочних продуктів десертного призначення (Polischuk, Sharahmatova, Breus, Bass, & Shevchenko, 2019; Zargaraan, Kamaliroosta, Yaghoubi, & Mirmoghadaie,

2016). У той же час практично не досліджено вплив окремих технологічних операцій при виробництві молочних продуктів з патоками/сиропами і мальтодекстринами, які, зокрема у складі йогурту відіграють роль загущувачів, вологозв'язувальних і підсолоджуючих інгредієнтів (Іващенко, & Поліщук, 2022).

Йогурти з додаванням продуктів гідролізу крохмалю можуть відповідати вимогам споживачів, що шукають продукти з низьким вмістом цукру, стабільною текстурою та збалансованим складом. Окрім цього, застосування таких крохмалепродуктів може бути економічно вигіднішим порівняно з іншими підсолоджувачами чи стабілізаторами, що дає змогу знизити собівартість готового продукту. Ці фактори роблять дослідження в цьому напрямку перспективним і важливим для розвитку харчової промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічний процес виробництва йогурту передбачає такі технологічні операції: нормалізацію, гомогенізацію, пастеризацію та ферментацію молочних сумішей, охолодження та зберігання йогурту. Умови і режими проведення перелічених операцій є загальноприйнятими, залежно від виду йогурту, складу заквашувальних препаратів і наявного обладнання.

Зазвичай, у технології йогуртів молочні нормалізовані суміші гомогенізують за тиску 10—20 МПа на першому ступені і 4—5 МПа на другому ступені в температурному діапазоні від 55 до 65 °С. Результатом гомогенізації є збільшення поверхні контакту фаз «жир/плазма», що супроводжується адсорбцією молочних білків на новоутвореній поверхні з відповідним підвищенням в'язкості та вологоутримуючої здатності йогурту. Водночас ферментовані білкові гелі є динамічними системами, схильними до структурних перебудов, які формуються за допомогою поперечних зв'язків між міцелами казеїну, створених нанокластерами фосфату кальцію, а також ковалентних дисульфідних перехресних зв'язків між казеїнами та денатурованими сироватковими білками (Lee1, & Lucey, 2010). Зазвичай, при виробництві нежирних йогуртів гомогенізацію не застосовують, хоча у зарубіжних практиках гомогенізації піддають також і нежирні та низькожирні суміші для покращання консистенції та вологоутримуючої здатності кисломолочних напоїв, виготовлених саме резервуарним способом. (Ciron, Gee, Kelly, & Auty, 2010). Окрім загальноприйнятих режимів гомогенізації доведено, що надвисокий тиск гомогенізації молока на рівні 50—200 МПа суттєво покращує консистенцію та загальну сприйнятність йогурту, а також активує молочнокислі бактерії, що скорочує тривалість ферментації (Betül Gül, & Akgün, 2023). Serra et al. (2009) доведено доцільність застосування надвисокого тиску гомогенізації при 200—300 МПа, що призводить до збільшення міцності згустку йогурту та його вологоутримуючої здатності за рахунок додаткової денатурації сироваткових протеїнів і часткового руйнування міцел казеїну. Зазначений напрям досліджень є надзвичайно перспективним, однак вітчизняні молокопереробні підприємства не оснащені гомогенізаторами, які здатні створювати надвисокий тиск. Тому було поставлено завдання дослідити вплив стандартних режимів гомогенізації (тиск в діапазоні від 5 до 25 МПа, температура — від 40 до 80 °С) нових за хімічним складом низькожирних молочних сумішей (м. ч. ж. 1%) з крохмалепродуктами різного ступеня ферментативної деструкції макромолекул крохмалю за допомогою двоступеневого гомогенізатора клапанного типу. Тиск може позитивно або негативно впливати на структуру та вологозв'язувальну здатність не тільки білко-

вого гелю йогурту, але й наявних у ньому крохмалепродуктів, що становить певний науковий інтерес.

Мета дослідження: виявлення впливу гомогенізації за змінних тиску і температури на перебіг процесу ферментації молочних сумішей, а також на синеретичну здатність йогурту.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- одержати математичні моделі залежності ступеня синерезису йогурту з крохмалепродуктами від змінних параметрів процесу гомогенізації молочних сумішей;
- виявити можливий вплив гомогенізації молочних сумішей з крохмалепродуктами на характер молочнокислого бродіння під час їх ферментації.

Матеріали і методи. Відповідно до одержаних результатів (Іващенко, & Поліщук, 2023) для проведення дослідження було обрано продукти ферментативного гідролізу кукурудзяного крохмалу — сухий мальтодекстрин марки MD-10 і сухий глюкозний сироп (СГС) (ПрАО «Інтеркорн Корн Просессінг Індустрі», Україна).

Зразки йогурту жирністю 1% готували ферментацією нормалізованих молочних сумішей за допомогою активізованої закваски на чистих культурах молочнокислих мікроорганізмів *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii*ssp. *Bulgaricus* (ТМ «Іпровіт» Інститут продовольчих ресурсів НААН, Україна).

Рецептурні інгредієнти вносили у нормалізоване молоко, одержані суміші пастеризували при температурі 87 ± 2 °C впродовж 2—3 хв, охолоджували до температури 41 ± 1 °C, ферментували до значень активної кислотності 4,8 од. рН. Досліджували динаміку ферментації контрольного і досліджуваних зразків. Після чого йогурт охолоджували до температури 4 ± 2 °C, витримували не менше доби і визначали характеристики продукту.

Контрольний зразок містив 4% сухого знежиреного молока і 5% цукру. Вибір 5% цукру в контрольному зразку йогурту обумовлений тим, що тенденція до помірного вмісту цукру в харчових продуктах стає все більш актуальною не лише в Україні, але й у всьому світі (Moore et al., 2018). Відповідно до ДСТУ 4343:2004 «Йогурт. Загальні технічні умови», мінімально можливий вміст цукру має становити не менше 5%, що й було враховано у цьому дослідженні. Кількість доданого до йогурту сухого знежиреного молока може коливатися у межах від 1 до 6% від кількості вихідного молока, але, зазвичай, цей діапазон звужують до 3—4% для запобігання появи специфічного присмаку сухого молока. Тому як базовий вміст СЗМ у контрольних зразках йогурту було обрано 4%. У зразках йогурту 1 і 2 цукор і знежирене молоко повністю замінювали на еквівалентний вміст сухих крохмалепродуктів.

Прийнято такі позначення зразків йогурту:

- контрольний зразок (йогурт, що містить 4% СЗМ і 5% цукру);
- зразок 1 (йогурт, що містить 9% сухого глюкозного сиропу);
- зразок 2 (йогурт, що містить 9% сухого мальтодекстрину марки MD-10).

Активну кислотність визначали потенціометричним методом за допомогою лабораторного вимірювача pH/MV/ISE/Temp ADWA AD1200 ATC.

Синерезис зразків йогуртів визначали центрифугуванням зразків йогурту. Для цього 25 см³ йогурту після перемішування в каліброваній пробірці центрифугували з використанням лабораторної центрифуги Sigma 2-6E (Німеччина) протягом 20 хв при 1000 об/хв і температурі 20 °C та вимірювали об'єм відділеної сироватки, який виражали в см³ на 100 г продукту (Polischuk et al., 2020).

Для оптимізації функцій відгуку з метою розробки рекомендацій щодо визначення режимів гомогенізації молочних сумішей використано методологію поверхні відгуку за допомогою графічних 3D моделей у середовищі математичного пакета MathCad 15. Для цього було створено відповідні матриці з розрахованими значеннями ступеня синерезису за різного співвідношення між змінними параметрами температури і тиску. Існуючі моделі оптимізації рецептур зводили до завдання регресійного аналізу експериментальних даних методом багатовимірної апроксимації.

Для одержання математичних моделей були обрані такі незалежні змінні технологічні параметри процесу гомогенізації:

- тиск на першому ступені складав 5, 10, 15, 20, 25 МПа. Тиск на другому ступені не задавали, оскільки його доцільно застосовувати лише для молочних сумішей жирністю вище 2,5% з метою запобігання агломерації новоутворених після першого ступеня жирових кульок;
- температура — 40, 50, 60, 70, 80 °С.

За функцію відгуку, за якою було оптимізовано режими гомогенізації, обрано ступінь синерезису, який не повинен перевищувати 10 см³.

Усі результати за 3—5-кратної повторності і заданої довірчої ймовірності $P \geq 0,95$ були статистично оброблені за допомогою програми Statistika 10. Побудову діаграм здійснено у Microsoft Excel 2016.

Викладення основних результатів дослідження. Для визначення оптимальних режимів гомогенізації молочних сумішей з крохмалепродуктами незалежними чинниками, якими варіювали, обрано температуру (x) в діапазоні від 40 °С до 80 °С та тиск (y) в діапазоні від 0 МПа до 25 МПа.

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 визначення ступеня синерезису в контрольному зразку йогурту (цукор+СЗМ) рівняння регресії має вигляд:

$$Y_1 = 4,548 - 0,12x + 0,01x^2 - 0,063y + 0,0006y^2 + 0,004xy, \quad (2)$$

де Y_1 — ступінь синерезису, см³ у йогурті (контрольний зразок); x — температура, °С; y — тиск, МПа.

Для визначення ступеня синерезису в йогурті із сухим глюкозним сиропом (зразок 1) рівняння регресії має вигляд:

$$Y_2 = 2,763 - 0,045x + 0,01x^2 - 0,028y + 0,0004y^2 + 0,008xy, \quad (3)$$

де Y_2 — ступінь синерезису, см³ у йогурті з глюкозним сиропом (зразок 1); x — температура, °С; y — тиск, МПа.

Для визначення ступеня синерезису в йогурті з мальтодекстрином MD-10 (зразок 2) рівняння регресії має вигляд:

$$Y_3 = 0,018 + 0,345x + 0,0001x^2 + 0,049y - 0,0002y^2 + 0,009xy, \quad (4)$$

де Y_3 — ступінь синерезису, см³ у йогурті MD-10; x — температура, °С; y — тиск, МПа.

Для перевірки адекватності отриманих моделей (2), (3) та (4) було проведено обчислення середньоквадратичного відхилення як квадратного кореня з дисперсії за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}, \quad (5)$$

де $\hat{y}_i$ — значення, розраховані за допомогою регресійного рівняння; y_i — значення експериментальних даних. Відповідно до формули (5) їх значення складає: $\sigma_{Y_1} = 0,21 \text{ см}^3$, $\sigma_{Y_1} = 0,2 \text{ см}^3$ та $\sigma_{Y_1} = 0,3 \text{ см}^3$.

На рис. 1—3 наведені графічні залежності ступеня синерезису від варійованих параметрів — температури й тиску гомогенізації сумішей з крохмалепродуктами. Зони значень варійованих параметрів, за яких спостерігалось перевищення рекомендованих значень ступеня синерезису в досліджуваних зразках йогурту і яких варто уникати, позначені на нижніх площинах рисунків.

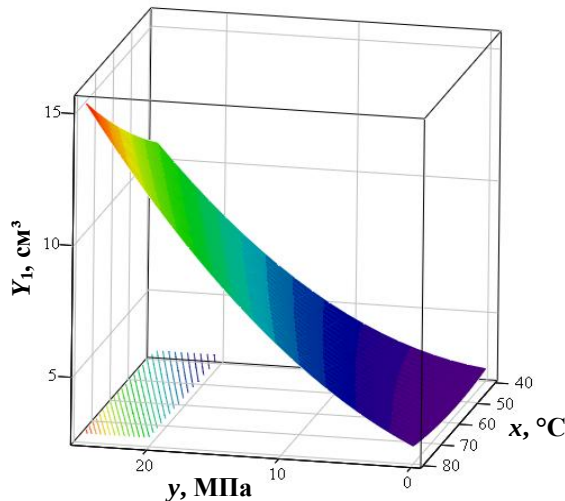


Рис. 1. Графічна залежність ступеня синерезису (Y_1) в контрольному йогурту зразку від температури (x) і тиску (y) гомогенізації

Відповідно до результатів моделювання (рис. 1—3) встановлено оптимальні діапазони режимів гомогенізації для контрольного і досліджуваних зразків:

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

Отже, можна зробити висновок, що гомогенізація молочних сумішей за перевищення встановлених діапазонів значень тиску і температури дещо знижує функціонально-технологічну активність глюкозного сиропу у складі йогурту. Що стосується мальтодекстрину, то можна відмітити, що гомогенізація доволі суттєво погіршує вплив цього крохмалепродукту на можливість синерезису в йогурті, навіть за низьких тиску і температури.

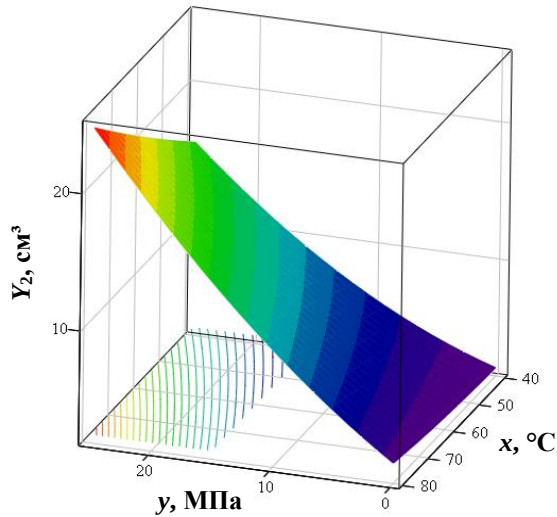


Рис. 2. Графічна залежність ступеня синерезису (Y_2) в йогурті із сухим глюкозним сиропом (зразок 1) від температури (x) і тиску (y) гомогенізації

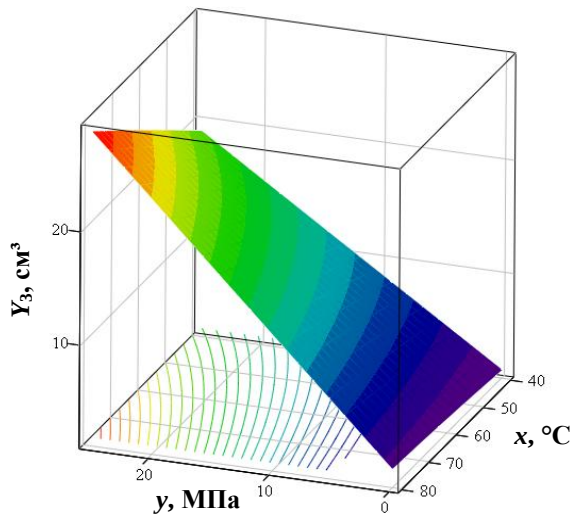


Рис. 3. Графічна залежність ступеня синерезису (Y_3) в йогурті з мальтодекстрином (зразок 2) від температури (x) і тиску (y) гомогенізації

Ймовірно, встановлений ефект відбувається внаслідок механічного руйнування макромолекул декстринів у складі обох крохмалепродуктів за тиску вище 10 МПа (для мальтодекстрину) і вище 15 МПа (для глюкозного сиропу). Залишки доволі нестійких після часткового ферментолізу макромолекул крохмалю, механічно подрібнені за перевищення вказаних діапазонів, частково втрачають здатність брати участь в утримуванні вологи у складі композиційних білково-вуглеводних згустків йогурту. На зменшення розмірів часточок мальто-

декстрину з декстрозним еквівалентом 10 внаслідок високого тиску гомогенізації також вказували у (Osampo-Salinas et al., 2017). Інші науковці звертали увагу на певну деструктивну дію високого тиску (60—140 МПа) на нативний крохмаль, що призводило до желатинізації та агрегування гранул крохмалю (Wang et al., 2008). У нашому випадку тиск був значно меншим, але температура оброблення і попередня часткова ферментація крохмалю, ймовірно, відіграли значну роль у перебудові його макромолекул.

Для опосередкованого виявлення впливу гомогенізації на функціонально-технологічні властивості мальтодекстрину і глюкозного сиропу додатково було досліджено динаміку зміни активної кислотності контрольного і досліджуваних зразків ферментованих гомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами (рис. 5), порівняно зі зразками, які не піддавали гомогенізації (рис. 4). Для всіх зразків режими гомогенізації були прийняті за межами рекомендованих діапазонів (25 МПа, 80 °С) для виявлення ймовірного впливу найбільш жорстких умов механічного оброблення на фізико-хімічні характеристики крохмалепродуктів.

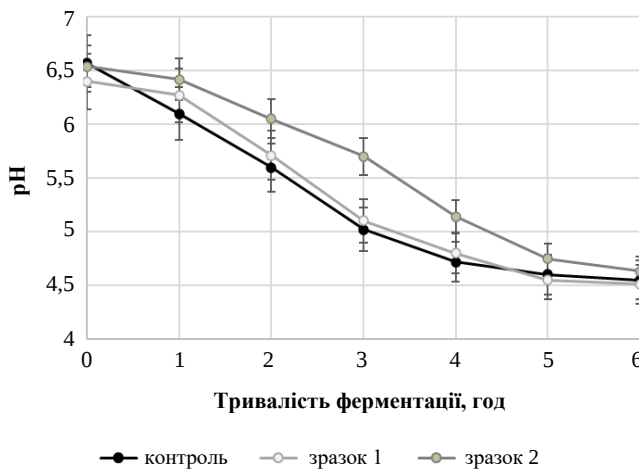


Рис. 4. Динаміка зміни активної кислотності негомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами впродовж ферментації

Відповідно до рис. 4—5, гомогенізація майже не вплинула на характер молочнокислого бродіння контрольного зразка. Що стосується досліджуваних зразків, то очевидно є певна активізація життєдіяльності молочнокислих бактерій, яка призводить до пришвидшення процесу ферментації. Це можна пояснити збільшенням кількості легкодоступних вуглеводів як джерел азоту (Abedi, & Hashemi, 2020) у ферментованих системах за рахунок часткового розкладання декстринів під дією високих температури і тиску.

Отже, зважаючи на високу енергоємність технологічної операції «гомогенізація», зниження технологічної ефективності крохмалепродуктів з низьким декстрозним еквівалентом внаслідок часткової механічної деструкції, а також виявлені доволі вузькі діапазони тиску й температури, які забезпечують високу здатність йогурту утримувати вологу, доцільним є виключення з технологічної схеми цієї технологічної операції.

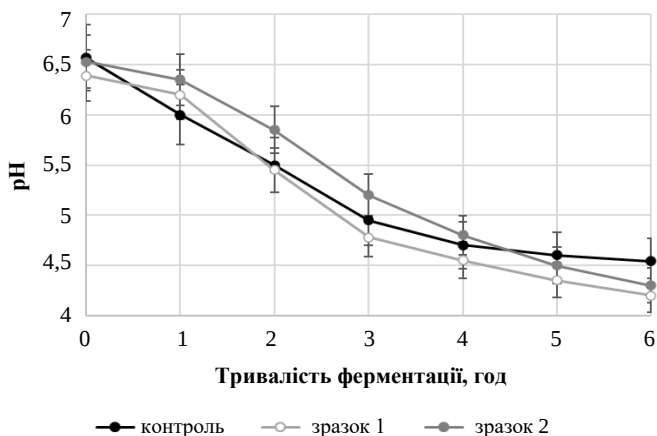


Рис. 5. Динаміка зміни активної кислотності гомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами впродовж ферментації

Що стосується застосування гомогенізації для молочних сумішей жирністю вище 2,5% в присутності низькомолекулярних солодких вуглеводів, зокрема глюкозно-фруктозного сиропу, то це питання потребує подальшого дослідження для комплексного узагальнення і розробки рекомендацій щодо особливостей застосування крохмалепродуктів з різним декстрозним еквівалентом у складі молочних продуктів десертного призначення.

Висновки

Відповідно до результатів моделювання процесу гомогенізації встановлено оптимальні діапазони значень тиску і температури для зразків молочних сумішей з 9% сухого глюкозного сиропу (декстрозний еквівалент 40) і з 9% сухого мальтодекстрину (декстрозний еквівалент 10), за яких ступінь синерезису йогурту не перевищує 10 см³. Зважаючи на низьку технологічну ефективність гомогенізації, особливо за підвищення тиску (більше 10—15 МПа) і температури (більше 40–50°C), а також її високу енергоємність, прийняте рішення про виключення з технологічної схеми виробництва йогурту з крохмалепродуктами цієї операції.

За результатами аналізу динаміки зміни активної кислотності гомогенізованих молочних сумішей з крохмалепродуктами під час ферментації опосередковано доведено, що за перевищення встановлених меж тиску і температури спостерігається активізація молочнокислих бактерій внаслідок підвищення вмісту низькомолекулярних вуглеводів за ймовірної часткової механічної деструкції високомолекулярних залишків ферментативного гідролізу крохмалю.

Перспективою подальших досліджень є вивчення ефективності застосування гомогенізації в технології йогурту з глюкозно-фруктозним сиропом (декстрозний еквівалент 98) для розроблення системи рекомендацій щодо особливостей застосування крохмалепродуктів з різним вуглеводним складом у ферментованих молочних напоях.

Література

- Abedi, E., & Hashemi, S. M. B. (2020). Lactic acid production–producing microorganisms and substrates sources-state of art. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04974>.
- Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., & Auty, M. A. E. (2010). Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, 20(5), 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.018>.
- Eke-Ejiofor, J. (2015). Functional properties of starches, physico-chemical and rheological properties of glucose syrup made from cassava and different potato varieties. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(6), 4400–4406. DOI: 10.24327/IJRSR.
- Latife Betül Gül, & Abdullah Akgün (2023). Effect of High-Pressure Homogenization and Fat Content on Yogurt Fermentation Process. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 7(4), 455–468. <https://doi.org/10.29329/ijiaar.2023.630.7>.
- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2010). Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 23(9), 1127–1136. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.05>.
- Moore, J. B., Horti, A., & Fielding, B. A. (2018). Evaluation of the nutrient content of yogurts: a comprehensive survey of yogurt products in the major UK supermarkets. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021387>.
- Nikolić, I., Petrović, J., Pajin, B., Lončarević, I., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Miličević, B., Šereš, Z., Dokić, L., Šoronja-Simović, D., & Jozinović, A. (2023). The Influence of Starch Sweeteners on Functional Properties of Cellulose Fat Mimetics: Rheological and Textural Aspects. *Polymers*, 15(14), 2982. <https://doi.org/10.3390/polym15142982>.
- Ocampo-Salinas, I. O. & Jiménez-Aparicio, Antonio & Perea-Flores, M. J. & Tapia Ochoategui, Adriana Patricia & Salgado-Cruz, M. P. & Jimenez Martinez, Cristian & Tellez-Medina, D. I. & Dávila Ortiz, Gloria. (2017). High-presure homogenization and maltodextrins mixtures to microencapsulate vanilla (*Vanilla planifolia*) extract through freeze-drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16, 131–146. <http://dx.doi.org/10.24275/rmiq/Alim759>.
- Polischuk, G., Breus, N., Kochubey-Litvinenko, O., Osmak, T., Semko, T., & Borova, M. (2020). Study of the influence of micellar casein and spelt flour on yoghurt quality indicators. *EUREKA: Life Sciences*, (4), 44–52. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2020.001378>.
- Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., & Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Science and Technology*, 13(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1383>.
- Serra, M., Trujillo, A. J., Guamis, B., & Ferragut, V. (2009). Proteolysis of yogurts made from ultra-high-pressure homogenized milk during cold storage. *Journal of dairy science*, 92(1), 71–78. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1416>.
- Wang, B., Li, D., Wang, L. J., Chiu, Y. L., Chen, X. D., & Mao, Z. H. (2008). Effect of high-pressure homogenization on the structure and thermal properties of maize starch. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.027>.
- Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A. S., & Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: a review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>.
- Ünlü, E., & Soysal, Ç. (2017). Starch based sugar; production, usage and health effect. *Eurasian Journal of Food Science And Technology*, 1(1), 38–42. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejfst/issue/37391/432476>.
- Іващенко, О. М., & Поліщук, Г. Є. (2022). Вивчення функціонально-технологічних властивостей крохмальної патоки у складі йогурту. *Харчова промисловість*, 31–32, 43–53. DOI: 10.24263/2225-2916-2022-31-32-7. <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/40939>.
- Іващенко, О. М., & Поліщук, Г. Є. (2023). Дослідження показників якості йогуртів з мальтодекстрином і сухим глюкозним сиропом. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 162–175. doi: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-15.