

Гомогенізація комбінованих вершків у технології білкових паст для дитячого харчування



Н. Ткаченко, докт. техн. наук,

Ю.Українцева, аспірант

Одеська національна академія харчових технологій;

П. Некрасов, докт. техн. наук

Харківський політехнічний інститут

Анотація. Розроблено математичну модель, що дає змогу прогнозувати ступінь гомогенізації жиру у молочно-рослинних вершках при різних значеннях предикторів – тиску та температури процесу. Встановлено оптимальні параметри процесу гомогенізації (тиск 10,4-12,0 МПа і температура 72-75 °С), що забезпечують високу кінетичну стійкість комбінованих вершків у інноваційній технології виробництва білкових паст для дитячого харчування термостатним способом.

Ключові слова: гомогенізація, тиск, температура, ефективність гомогенізації, комбіновані вершки, оптимізація, поверхня відклику.

Optimization of combined dairy cream homogenization parameters for innovative technology of protein pastes for infant food Nataliya A. TKACHENKO (Odessa national academy of food technologies), Pavlo O. NEKRASOV (National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»), Yuliia S. UKRAINTSEVA (Odessa national academy of food technologies)

Abstract. The mathematical model allowing to predict the degree of milk fat homogenization in dairy-vegetable cream with different values of predictors – the pressure and the temperature of the process – was developed. Optimal homogenization process parameters (pressure 10.4 - 12.0 MPa and temperature 72- 75 °C) were established, ensuring high kinetic stability of combined dairy cream in the innovative thermostatic technology of protein pastes for infant food.

Key words: homogenization, pressure, temperature, homogenization efficiency, combined dairy cream, optimization, response surface.

Проблема збереження здоров'я дітей, а, отже, і генофонду нації [1, 4, 6].

Правильне харчування дітей – необхідна складова їх гармонійного розвитку. Найкращою їжею для немовлят є материнське молоко за умови, що мати здорова і отримує повноцінне харчування [3, 7]. За оцінками Асоціації виробників ди-

тячого харчування, в Україні лише 22 % дітей знаходиться винятково на грудному вигодовуванні (в Російській Федерації – 32 %, в країнах Азії – 54 %).

У таких умовах проблема забезпечення дітей високоякісними, біологічно повноцінними продуктами харчування може бути розв'язана лише через систему їх промислового ви-

робництва. Тому Міністерство агрополітики України ініціювало розробку державної цільової програми розвитку дитячого харчування в Україні на 2012-2016 рр., згідно з якою передбачається збільшення внутрішніх обсягів виробництва і розширення асортименту дитячих продуктів [4].

Сучасний український ринок продуктів для дитячого харчування сегментарно представлений незначною кількістю виробників [1]: сухі суміші й каші – Хорольський молочноконсервний комбінат дитячого харчуван-

Таблиця 1

Матриця планування та функція відклику

Номер досліджу	Тиск, P		Температура, t		Ступінь гомогенізації, %
	Кодований рівень	МПа	Кодований рівень	°C	
1	-1	8,5	-1	58,0	74,0
2	-1	8,5	+1	72,0	79,0
3	+1	15,5	-1	58,0	71,0
4	+1	15,5	+1	72,0	74,5
5	$-\sqrt{2}$	7,0	0	65,0	72,0
6	$+\sqrt{2}$	17,0	0	65,0	67,0
7	0	12,0	$-\sqrt{2}$	55,0	74,0
8	0	12,0	$+\sqrt{2}$	75,0	80,0
9	0	12,0	0	65,0	78,5
10	0	12,0	0	65,0	78,0
11	0	12,0	0	65,0	78,5
12	0	12,0	0	65,0	77,5

ня («Нутрітек»), Південний консервний завод (КЗ) («Асоціація дитячого харчування»); плодоовочеві соки та пюре – Одеський КЗ дитячого харчування («Вітмарк-Україна») й Південний КЗ («Асоціація дитячого харчування»); рідкі й пастоподібні молочні продукти – спеціалізований завод дитячого харчування (СЗДХ) «Агуша» («Вімм-Білл-Данн Україна»), СЗДХ «Яготинське для дітей» («Молочний альянс»), акціонерна компанія «Комбінат «Придніпровський».

Серед категорій, які формують нинішній ринок дитячих продуктів, виділяють [1]: 49 % від загальних продажів - на молочній основі (молоко питне, напої та сир кисломолочні, вироби сиркові); 19 % - суміші (на молочній і безмолочній основах); 11 % - дитячі соки (в т.ч. нектари, морси); 9 % - пюре (фруктове, овоче, м'ясне, рибне і на молочній основі); 7 % - каші для дитячого харчування (на молочній та безмолочній основах); 2% - вода для дітей; чай спеціального призначення (1 % ринку) та інші категорії дитячих



Мета представленої роботи – оптимізація параметрів процесу гомогенізації (тиску та температури) комбінованих вершків у інноваційній технології БПДХ, призначених для харчування малюків віком від восьми місяців.

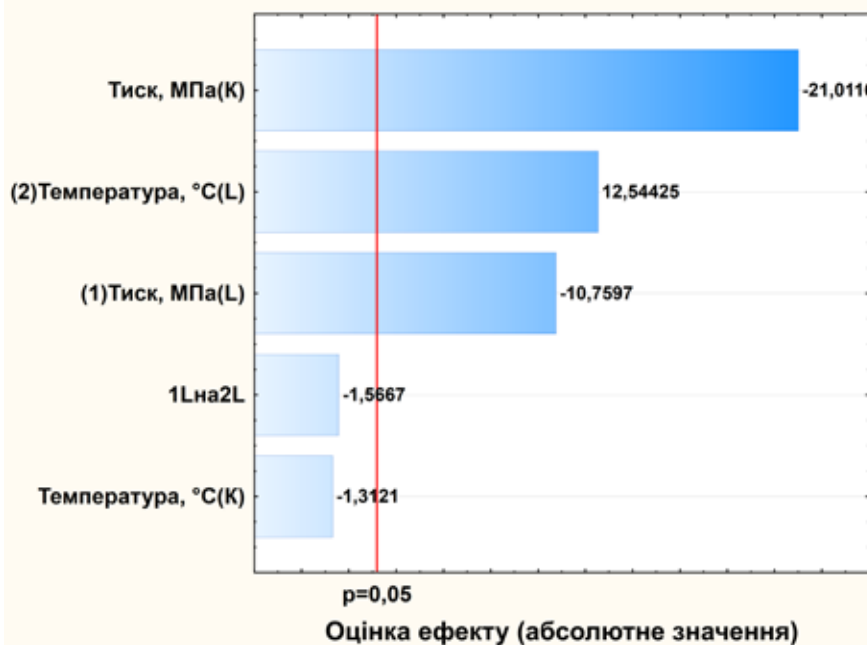


Рис. 1. Діаграма Парет

продуктів, переважно імпортного виробництва (макарони, соуси, печиво, сухарі), які складають 2 % ринку.

Дітям до 3-х років можна вживати лише дитяче спеціалізоване молочне харчування, адаптоване до потреб їх організму. Ці продукти відрізняються від «дорослих» і «псевдо-дитячих» підвищеними вимогами до якості сировини, технології оброблення, надійності упаковки тощо [3, 4].

Провідну роль у побудові імунітету дитини відіграють кисломолочні продукти. Завдяки вмісту в них лакто- та біфідобактерій вони підтримують баланс мікрофлори в кишечнику, захищаючи організм від інфекцій і вірусів.

Серед напоїв кисломолочних для дитячого харчування на ринку України представлені кефір, кефірні напої, йогурти тощо. Пастоподібні молочні продукти для дитячого харчування представлені сиром кисломолочним та виробами сирковими [1, 5, 6, 8]. Не зважаючи на істотний ріст виробництва кисломолочних продуктів для дитячого харчування в Україні, пастоподібні молочні продукти, які були б адаптованими (або частково адаптованими) до молока жіночого, жодне вітчизняне підприємство не виробляє.

Мета представленої роботи – оптимізація параметрів процесу гомогенізації (тиску та тем-

ператури) комбінованих вершків у інноваційній технології БПДХ, призначених для харчування малюків віком від восьми місяців.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

розробити математичну модель, яка допоможе прогнозувати ступінь гомогенізації жиру в комбінованих вершках при різних значеннях параметрів процесу;

оптимізувати параметри процесу гомогенізації (тиску та температури) комбінованих вершків та надати рекомендації щодо застосування оптимальних параметрів процесу в інноваційній технології БПДХ.

Комбіновані вершки для виробництва БПДХ містять 40 % жиру, у т.ч. молочного – 28 % жиру, внесеного з гарбузовою та високоолеїною соняшниковою оліями – 6 та 6 % відповідно, а також фруктозу як біфідогенний фактор (масова частка фруктози – 0,1 %) [7, 9]. Емульсія молочних вершків полідисперсна; найменший діаметр жирових кульок у вершках 1-2 мкм, найбільший – понад 10 мкм, середній – 3-4 мкм [2]. Введення рослинного жиру гарбузовою та високоолеїною соняшниковою оліями до складу молочних вершків спричиняє дестабілізацію жирової фази, зменшення її дисперсності та призводить до розширювання з мінімальною поверхнею розподілу.

Для утворення стійких емульсій, у т.ч. з немолочними жирами, у молочній промисловості найчастіше вико-

Дисперсійний аналіз моделі

Таблиця 2

Фактор	Сума квадратів, SS	Ступінь свободи, df	Середнє значення квадрата, MS	F-критерій	Рівень значущості, p
(1) Тиск (L)	26,5309	1	26,5309	115,7713	0,001717
Тиск (K)	103,0679	1	103,0679	449,7507	0,000229
(2) Температура (L)	36,0612	1	36,0612	157,3581	0,001092
Утрата узгодженості	4,3191	5	0,8638	3,7694	0,151952
Чиста похибка	0,6875	3	0,2292		
Загальна сума квадратів	170,6667	11			
Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,971$ Скоригований коефіцієнт детермінації $R^2_{adj} = 0,960$					

ристовують гомогенізацію [3]. У процесі гомогенізації молочно-жирових сумішей змінюється дисперсність їх жирової фази, що зумовлено зменшенням розмірів жирових кульок молочної сировини до 1,0-1,5 мкм та утворенням жирових кульок із немолочних жирів з розмірами 1,0-2,0 мкм з використанням білків та фосфоліпідів молочної сировини для утворення білково-ліпоїдних адсорбційних оболонок внаслідок механічного оброблення у гомогенізаторі [2, 3]. Режим гомогенізації є одним із основних факторів кінетичної стійкості молочно-жирових емульсій, в т.ч. комбінованих вершків, а вибір оптимальних параметрів процесу (температури й тиску) має важливе значення для забезпечення стабільності відповідних технологічних показників сировини у процесі зберігання та технологічного оброблення [3, 7].

Критерієм оптимізації було обрано ступінь гомогенізації, який визначали методом центрифугування; незалежними факторами, що варіювались, – тиск та температуру гомогенізації.

Для оптимізації обрано методологію поверхні відклику [10]. Вказаний метод є сукупністю математичних та статистичних прийомів, спрямованих на моделювання процесів та знаходження комбінацій експериментальних рядів предикторів з метою оптимізації функції відклику $\hat{y}(x, b)$, що в загальному вигляді описується наступним поліномом:

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

де $x \in R^n$ – вектор змінних, b – вектор параметрів.

Стосовно процесу, що досліджується, було обрано функцію відклику, яка має вигляд поліному другого ступеня:

$$CG = b_0 + b_1 \cdot P + b_{11} \cdot P^2 + b_2 \cdot t + b_{22} \cdot t^2 + b_{12} \cdot P \cdot t, \quad (2)$$

де CG – ступінь гомогенізації, %; b_0 – константа; P – тиск гомогенізації, МПа; t – температура гомогенізації, °C; $b_1, b_{11}, b_2, b_{22}, b_{12}$ – коефіцієнти для кожного елемента полінома.

У дослідженні використано центральний композиційний ротатбельний план, який найбільше підходить для обраного методу



оптимізації [10]. Вибір рівнів та інтервалів варіювання факторів було здійснено за результатами попередніх експериментів та аналізом літературних джерел [3, 7]; тиск гомогенізації варіювали від 7 до 17 МПа, температуру – від 55 до 75°C. При проведенні досліджень використовували двоступеневу гомогенізацію комбінованих вершків; при цьому тиск гомогенізації на 1-му ступені удвічі перевищував такий на другому. Матрицю планування та експериментальні значення функції відклику представлено в табл. 1.

Моделювання та обробку експериментальних даних виконували за допомогою пакета Statistica 12 (StatSoft, Inc.).

Для перевірки значущості коефіцієнтів регресії (2) було побудовано діаграму Парето, яку представлено на рис. 1 (L – лінійний ефект, K – квадратичний ефект).

На вказаній діаграмі Парето (рис. 1) наведено стандартизовані коефіцієнти, які відсортовано за абсолютними значеннями. Аналіз даних показує, що квадратичний ефект температури та ефект взаємодії параметрів є незначущими, оскільки колонки оцінок зазначених ефектів не перетинають вертикальну лінію, що є 95 %-вою довірчою ймовірністю. З урахуванням цього вказані члени регресії було еліміновано з моделі (2). Отримане при цьому рівняння з розрахованими коефіцієнтами має вигляд:

$$CG = 19,061 + 7,061P - 0,316P^2 + 0,302t, \quad (3)$$

Адекватність розробленої моделі (3) перевіряли методом дисперсійного аналізу, результати якого представлено в табл. 2.

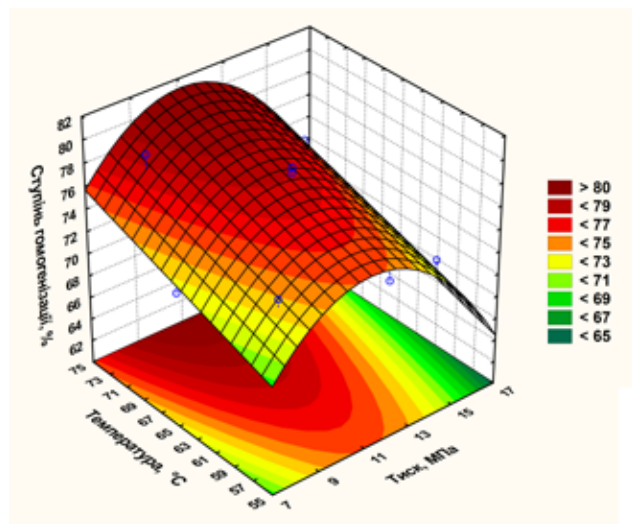
Дані, наведені в табл. 2, зокрема

відсутність втрати узгодженості (рівень значущості $p > 0,05$) та значення коефіцієнтів детермінації (R^2 і R^2_{adj}), близькі до одиниці, дають підстави зробити висновок, що одержана модель адекватно описує відклик.

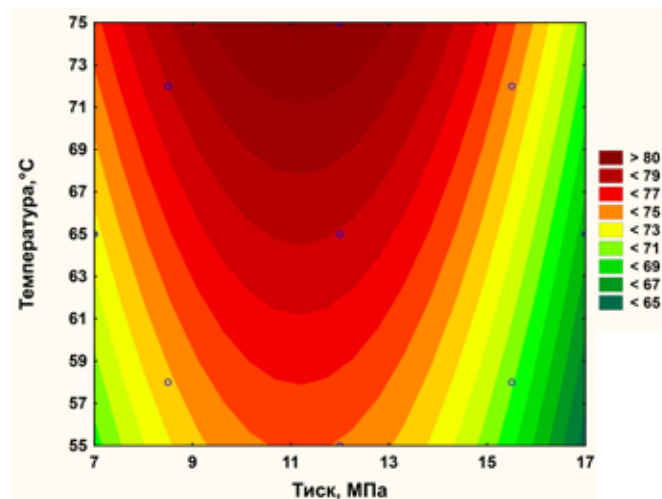
Описаний поліномом (3) сукупний вплив тиску та температури на ступінь гомогенізації жиру в комбінованих молочно-рослинних вершках в графічному вигляді представлено на рис. 2.

Підвищення тиску гомогенізації комбінованих вершків від 7 до 11-12 МПа сприяє збільшенню ефективності процесу, про що свідчить зростання функції відклику (ступеня гомогенізації) на 7,3-7,9% залежно від температури процесу (рис.2). Це пояснюється тим, що при підвищенні тиску гомогенізації збільшується швидкість руху комбінованих вершків у клапанній щілині, що сприяє утворенню жирових кульок діаметром 1,0-1,5 мкм. При такому значенні радіуса жирових кульок електричні сили відштовхування перевищують ван-дер-ваальсові сили тяжіння, і такі кульки не утворюють скупчень [2, 3]. При подальшому збільшенні тиску гомогенізації від 11-12 МПа до 17 МПа показник ступеня гомогенізації знижується на 13,1-14,2 % (рис. 2), що пояснюється підвищенням вмістом жиру у вершках порівняно з молоком, у тому числі, немолочного.

Підвищення температури гомогенізації з 55 до 65 °C більш істотно позначається на збільшенні ступеня гомогенізації, ніж підвищення температури з 65 до 75°C. Це пояснюється тим, що при підвищенні температури гомогенізації жирові кульки у клапанній щілині гомогенізатора витягуються у більш тонкі „нитки”



а)



б)

Рис. 2. Залежність ступеня гомогенізації жиру в комбінованих вершках від тиску й температури процесу: а) – графік поверхні відклику; б) – контурний графік

і утворюють нові кульки діаметром до 1,0 мкм. Найвища ефективність процесу відзначається при температурі 72-75°C; ступінь гомогенізації становить 69,6-81,2 % (рис. 2). В умовах експерименту максимальні значення ступеня гомогенізації комбінованих вершків (80,0-81,2%) досягаються при тиску гомогенізації 10,4-12,0 МПа і температурі 72-75 °C (рис. 2).

Отже, для забезпечення високої кінетичної стійкості комбінованих молочно-рослинних вершків оптимальні параметри процесу гомогенізації такі: температура – 72-75 °C,

тиск – 10,4-12,0 МПа (перший ступінь 8,0-9,5 МПа, другий ступінь 2,4-3,0 МПа).

У результаті гомогенізації комбінованих вершків за рекомендованим оптимальним режимом утворюється тонкодисперсна емульсія з високою кінетичною стійкістю (розміри жирових кульок у гомогенізованих комбінованих вершках складають 0,5-2,0 мкм, відстій жиру через 48 годин після гомогенізації не перевищує регламентовані 10 %), що забезпечує збереження високих органолептичних показників БПДХ протягом тривалого терміну зберігання.

Висновки

Розроблено математичну модель, що дає змогу прогнозувати ступінь гомогенізації жиру у молочно-рослинних вершках, при різних значеннях предикторів – тиску та температури процесу. Оптимізовано параметри гомогенізації комбінованих вершків з масовою часткою жиру 40 % в інноваційній технології пасти білкової для дитячого харчування. Оптимальні параметри процесу: тиск гомогенізації 10,4-12,0 МПа (перший ступінь 8,0-9,5 МПа, другий ступінь 2,4-3,0 МПа), температура – 72-75 °C.

Література

1. В Украине почти вдвое выросло производство продуктов детского питания.– Дело. URL: <http://delo.ua/business/v-ukraine-pochti-vdvoe-vyroslo-proizvodstvo-molochnyh-produktov-214040>
2. Горбатова К.К. Биохимия молока и молочных продуктов.– СПб: ГИОРД, 2001.– 314 с.
3. Кузнецов В.В., Липатова Н.Н. Справочник технолога молочного производства. Технология детских молочных продуктов.– СПб: ГИОРД, 2005.– 525 с.
4. Малышам в Украине катастрофически не хватает материнского молока.– Лекарская правда. URL: <http://lekpravda.com/malysham-ukraine-katastroficheski-ne-xvataet-materinskogo-moloka/>
5. «Молочный альянс» прогнозирует рост рынка специализированного молочного детского питания на 15-20 % до 23-24 тыс. тонн в 2014.– Anyfoodanyfeed. URL: <http://anyfoodanyfeed.com/ru/news/id/46451>
6. Обзор рынка детского питания в Украине.– Бэби-экспо. URL: http://babyexpo.ua/baby_expo/news_baby_expo/detail.php?ELEMENT_ID=5788
7. Ткаченко Н.А., Українцева Ю.С. Наукові основи технології білкової пасти для дитячого харчування з подовженням терміном зберігання // «ScienceRise».– 2015.– №3/2(8).– С. 63–67
8. Украинский рынок молочных продуктов детского питания.– Инфагро. URL: <http://www.infagro.com.ua/Product/Yes/37/>
9. Українцева Ю.С., Гросу Є.І. Білкова паста для дитячого харчування з подовженням терміном зберігання / Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів.– Одеса: ОНАХТ, 2014.– С. 194–196.
10. Myers R.H., Montgomery D.C., Anderson-Cook C.M. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments, 3rd ed.– Hoboken, N.J.: John Wiley, 2009.– 704 p.