

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ
МОДЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ СИРНОГО ПРОДУКТУ З
ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ ДОБАВОК**

**Обозна М.В., к.т.н., м.н.с, Чаговець В.В., к.екон.н., доц.,
Чаговець Л.О., к.екон.н., доц., Перцевої Ф.В., д.т.н., проф.**
(Харківський державний університет харчування та торгівлі)

Обґрунтовано доцільність застосування гідротермічної обробки сирної маси під час її з'єднання з рослинними добавками, яка підвищує вологоутримуючу здатність модельної системи сирного продукту. За допомогою математичного моделювання експериментальних даних було отримано математичні моделі оптимальних параметрів гідротермічної обробки дослідних зразків.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Традиційно виробництво сирів у світі посідає провідне місце. В Україні ж в останні роки спостерігається тенденція до зменшення обсягів поголів'я молочного стада, що безпосередньо веде до дефіциту сиропридатного молока [1; 2]. Сьогодні в міжнародній практиці широкого розповсюдження набуває виготовлення комбінованих молочно-рослинних продуктів, зокрема м'яких сирних, які, внаслідок залучення до їх складу значної кількості корисних харчових речовин різного виду, стають актуальною складовою здорового харчування. У зв'язу з цим використання сухого знежиреного молока як молочної основи таких продуктів дозволить стабілізувати їх якість та подолати негативний вплив сезонності. Керуючись прагненнями знівелювати негативний вплив білкового дефіциту, перспективною сировиною є горіхоплідні – джерело повноцінного рослинного білка [1–9].

Особливе місце займає арахіс, який містить близько 26% білка, характеризується високим вмістом мінеральних речовин (калію, фосфору, заліза, цинку); багатий на вітаміни А, D, E, PP та особливо групи В. В арахісі містяться поліфеноли (ресвератрол та ін.), які відіграють суттєву роль в профілактиці серцево-судинних

захворювань, атеросклерозу, злоякісних пухлин і запальних процесів.

З огляду підвищення вмісту білка та застосування нетрудомістких методів виробництва (холодного пресування) доцільною є переробка ядра арахісу на порошкоподібний концентрат, вміст білків в якому досягає 65...70%; містить 8...11% жиру та інші поживні речовини [1–5]. В концентраті ядра арахісу (КЯА) відзначена висока кількість лейцину, ізолейцину, фенілаланіну [1; 2].

Білки арахісу переважно гідрофобні; у разі введення концентрату ядра арахісу до сирного продукту, система стає рихлою, що ускладнює подальший технологічний процес виробництва. Перспективним вирішенням цієї проблеми є залучення до технології сирного продукту борошна кукурудзяного (БК), яке, внаслідок наявності гідрофільних складових, виступає стабілізуючим чинником. Також борошно кукурудзяне насичує сирний продукт корисними харчовими речовинами: вуглеводами, білками, включаючи повноцінні, харчовими волокнами, мінеральними речовинами, каротиноїдами [1–5].

Спираючись на дослідження фахівців, зроблено висновок, що роль функціонально-технологічних властивостей сухих порошоків, отриманих під час технологічної переробки рослинної білкової сировини і води, як розчинника, в процесі виробництва сирних продуктів вивчена неглибоко [10–13]. У зв'язку з цим такі дослідження необхідні з огляду виробництва сирного продукту високої якості внаслідок появи можливості прогнозувати всі позитивні та негативні зміни його фізико-хімічних і структурно-механічних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час введення до сирної маси концентрату ядра арахісу та борошна кукурудзяного до системи потрапляють речовини білково-полісахаридної природи, які здатні поглинати вологу та утримувати її. Білки концентрату ядра арахісу та борошна кукурудзяного, а також крохмаль борошна складають єдину синергетичну систему, що має безпосередній вплив на весь хід технологічного процесу виробництва нового сирного продукту. Відомо, що борошно кукурудзяне містить до 18% від загального вмісту білка водорозчинного альбуміну, а ядра арахісу – близько 97% глобулінів [12; 13]. Процес набрякання білків протікає в часі і супроводжується збільшенням обсягу макромолекули білка і зміною його механічних властивостей. Спочатку набрякання виникає за рахунок фізичних сил.

Велика частина води, поглинута при набряканні, є вільною, захопленою механічно сіткою з мембран і волокон білка [11; 13; 14].

Відомо, що 20...25% вологи, яка міститься в сирі, пов'язана з білковими речовинами і видалити її з сиру можна тільки порушивши зв'язок води з білком, а в сирних продуктах – з білково-полісахаридними компонентами [1; 9–13]. При нагріванні склеювальна здатність сирних зерен збільшується, оскільки перебігають процеси руйнування гідратаційної оболонки часточок білку та зближення їх між собою. Отже, змінюється здатність утримувати вологу: інтенсивно відбувається синерезис [9; 14].

Тому, задля виявлення впливу рослинних добавок на зміну форм зв'язку вологи в продукті – зокрема на максимальне набрякання компонентів рослинних добавок і, внаслідок того, підвищення вологоутримуючої здатності (ВУЗ) – необхідно розпочати дослідження на етапі додавання КЯА та БК до модельної системи сирного продукту – сирної маси.

Температурні параметри вивчення зміни вологоутримуючої здатності модельної системи сирного продукту вибрано з урахуванням технологічного процесу виробництва сирів – другого нагрівання, під час якого варто вводити рослинні компоненти з метою мінімізації технологічних втрат та підвищення доступності білків і вуглеводів до дії травних ферментів, покращення реологічних характеристик [12; 14].

Мета та завдання статті полягають у встановленні за допомогою методів математичного моделювання оптимальних технологічних параметрів гідротермічної обробки модельної системи сирного продукту з рослинними добавками та виявлення закономірностей впливу гідротермічної обробки на підвищення вологоутримуючої здатності системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. За допомогою математичного моделювання експериментальних даних встановлено оптимальні режими гідротермічної обробки дослідних зразків із раціональною заміною молочної сировини 5% на КЯА та БК в пропорції 2,5% КЯА + 2,5% БК під час введення рослинних добавок до сирної маси [1–5]; результативним показником якості обрано ВУЗ сирної маси. У ході експерименту температуру обробки зразків підвищували з 35 до 75° С з тривалістю від 0×60 с до 30×60 с (з

кроком 5×60 с). Значення вхідних змінних (температури та тривалості термічної обробки) і результативного показника ВУЗ, які отримано в процесі експерименту, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Дані для визначення оптимальних параметрів гідротермічної обробки сирної маси

Темпе- ратура, °С	Тривалість, τ×60, с						
	0	5	10	15	20	25	30
	ВУЗ, %						
35	30	30	30	30	30	30	30
40	30	30	30	31	31	31	31
45	30	30	30,5	31	31	32	32
55	30	30,5	31	32	32	32	32
65	31	32,5	34	34	34	34	34
75	30	32	32,5	34	34,5	34	34

Графічне представлення даних дозволило визначити тенденцію зміни значень досліджених показників: отримані лінії трендів показали, що з підвищенням температури та збільшенням тривалості нагрівання зразків значення ВУЗ експоненціально підвищуються. За допомогою економетричного аналізу експериментальних даних оцінено характер цього зв'язку та побудовано низку регресійних моделей [15–18]. Для парної кореляції виконано лінеаризацію та обчислено наступні характеристики моделей:

1) емпіричні коефіцієнти регресії a_0 та a_1 :

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}, \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

2) розрахункові значення параметрів за критерієм Стюдента:

$$t_{a_j} = \frac{a_j}{\sigma_{a_j}}, \quad (3)$$

де a_j – значення оцінки j -го параметра моделі;

σ_{a_j} – середнє квадратичне відхилення j -го параметра моделі:

$$\sigma_{a_0} = \sqrt{\frac{\sigma_e^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad \sigma_{a_1} = \sqrt{\frac{\sigma_e^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (4)$$

де σ_e^2 – дисперсія похибок моделі, яка розраховується за формулою:

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

де \hat{y}_i – теоретичні значення залежного показника;

n – кількість спостережень;

3) інтервальні оцінки для параметрів a_0 і a_1 :

$$a_0 - \Delta a_0 \leq a_0 + \Delta a_0, \quad \Delta a_0 = t_p \cdot \sigma_{a_0}, \quad (6)$$

$$a_1 - \Delta a_1 \leq a_1 + \Delta a_1, \quad \Delta a_1 = t_p \cdot \sigma_{a_1}; \quad (7)$$

4) коефіцієнт парної кореляції:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}; \quad (8)$$

5) критерій Фішера:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - 2}{1}. \quad (9)$$

У результаті отримано рівняння регресії, які разом з коефіцієнтами кореляції, наведено в табл. 2. Рівняння відображають вплив кожного з факторів (температури (t_i) та тривалості нагріву зразків (τ_i)) на вологоутримуючу здатність продукту (y_i) із заміною молочної сировини на концентрат ядра арахісу та борошно кукурудзяне в пропорції 2,5 % концентрату ядра арахісу та 2,5 % борошна кукурудзяного. Виходячи з отриманих значень коефіцієнтів, можна зробити висновок, що всі отримані економетричні моделі є адекватними.

Перевірка за допомогою критерію Фішера свідчить про їх статистичну значущість як за окремими параметрами, так і в цілому. Зв'язок між змінними є істотним.

Таблиця 2

Розраховані парні кореляційно-регресійні моделі залежності вологоутримуючої здатності сирної маси від тривалості та температури термічної обробки

Параметр	Модель	Коефіцієнт кореляції R
Залежність ВУЗ від температури нагріву		
$\tau = 0$	$y_1(t) = 22,541 + 5,664t^{0,08}$	0,416
$\tau = 5$	$y_2(t) = 27,898 + 0,028t^{1,17}$	0,895
$\tau = 10$	$y_3(t) = 17,864 + 3,458t^{0,34}$	0,854
$\tau = 15$	$y_4(t) = 20,566 + 1,702t^{0,48}$	0,971
$\tau = 20$	$y_5(t) = 26,424 + 0,083t^{1,07}$	0,982
$\tau = 25$	$y_6(t) = 16,410 + 4,271t^{0,33}$	0,960
$\tau = 30$	$y_7(t) = 16,410 + 4,271t^{0,33}$	0,960
Залежність ВУЗ від тривалості нагріву дослідних зразків		
$t = 35$	$y_1(\tau) = 30$	
$t = 40$	$y_2(\tau) = 29,893 + 0,062\tau^{0,90}$	0,868
$t = 45$	$y_3(\tau) = 26,450 + 3,429e^{0,02\tau}$	0,970
$t = 55$	$y_4(\tau) = 29,934 + 0,340\tau^{0,57}$	0,944
$t = 65$	$y_5(\tau) = 30,980 + 1,369e^{0,26\tau}$	0,954
$t = 75$	$y_6(\tau) = 29,961 + 1,226e^{0,38\tau}$	0,958

Для з'ясування загального впливу температури та тривалості нагріву на ВУЗ розраховано коефіцієнти та параметри множинної кореляції з проведенням попереднього аналізу:

$$z(t, \tau) = \frac{27,049 + 0,102t}{1 + 0,002te^{\tau^{0,11}}}, \quad R = 0,933, \quad (10)$$

де $z(t, \tau)$ – вологоутримуюча здатність продукту, %;

t – температура, °C;

τ – тривалість нагріву, с;

R – коефіцієнт множинної кореляції.

Перевірка регресійного рівняння за критерієм Фішера з 95% вірогідністю свідчить, що воно адекватно описує експериментально отримані дані. Розраховані та наведені на рисунку 1 парні коефіцієнти кореляції характеризують порівняльну силу впливу кожного з факторів на ВУЗ. Отже, найбільше впливає на ВУЗ температура t ($r = 0,77$), потім – тривалість нагріву τ ($r = 0,44$).

Correlations (рациональный)				
Marked correlations are significant at $p < ,05000$				
N=42 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	t	τ	y	
t	1,00	0,00	0,77	
τ	0,00	1,00	0,44	
y	0,77	0,44	1,00	

Рис. 1. Парні коефіцієнти множинної кореляції

На основі значень функції $z(t, \tau)$ побудовано графік поверхні. Вигляд поверхні наведено на рис. 2.

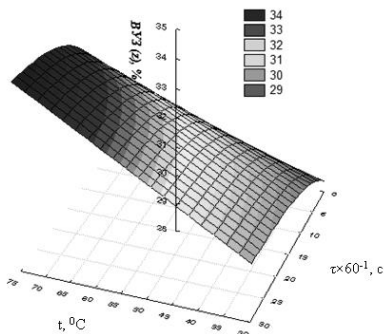


Рис. 2. 3D-графік залежності вологостримуючої здатності сирної маси від тривалості та температури термічної обробки

Для подальшого використання поверхні з метою отримання оптимальних режимів термічної обробки дослідних зразків проведено кластерний аналіз показників, який дозволив класифікувати набори даних. Визначено групи схожих між собою об'єктів, які прийнято називати кластерами.

Кластеризацію виконано за допомогою пакета Statistica ієрархічним методом. Він передбачає, що на першому кроці кожна вибірка даних (t, τ, z) розглядається як окремий кластер, який потім поступово розділяється на схожі групи. На кожному наступному кроці кількість кластерів збільшується, а міра відстані між кластерами зменшується. Близькість між ними характеризується Евклідовою відстанню:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad , \quad (11)$$

де x_{kj} , x_{jk} – значення k -ї змінної в i -му та j -му об'єктах.

Побудована дендограма класифікації дозволила виокремити три кластери для кожного з показників. Було знайдено їх центри (еталони) за допомогою метода « k -середніх», розраховано Евклідову відстань від точки еталона до об'єкта та доведено адекватність класифікації. Було отримано такі діапазони змінних сформованих кластерів (табл. 3).

Таблиця 3

Діапазони змінних кластерів

Кластер	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau \times 60, \text{c}$	$z, \%$
1	35 – 55	0 – 10	30 – 31
2	65 – 75	0 – 30	31 – 34,5
3	35 – 55	15 – 30	30 – 32

Аналізом співвідношень характеристик термічної обробки зразків (табл. 3) встановлено, що третій кластер є найкращим, оскільки він задовольняє необхідним умовам максимізації вологоутримуючої здатності з мінімізацією температури обробки. Якщо подану на рис. 2 поверхню функції $z(t, \tau)$ розрізати площинами в установлених границях третього кластеру ($t = 35^\circ$, $t = 55^\circ$, $\tau = 15 \text{ c}$, $\tau = 30 \text{ c}$), то отримаємо двовимірний графік з оптимальною зоною цих параметрів (рис. 3).

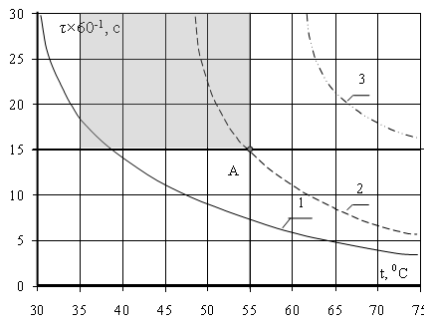


Рис. 3. Залежність вологоутримуючої здатності сирної маси від тривалості та температури термічної обробки: 1 – ВУЗ 29%; 2 – ВУЗ 32%; ВУЗ 33%

На підставі даних рис. 2; 3 можна стверджувати, що, в рамках двопараметричних моделей, центри кластерів змінних, що

досліджувалися, знаходяться на площині прямокутника, сторони якого відповідають граничним значенням параметрів оптимізації. Точка А має найкращі характеристики і тому відповідає оптимальному режиму гідротермічної обробки, а саме, коли температура складає 55⁰ С, тривалість обробки – 15×60 с; ВУЗ за цих умов сягає 32%.

Висновок.

1. Обґрунтована доцільність створення нової технології сирного продукту на основі сухого знежиреного молока, що містить в якості рецептурних добавок концентрат ядра арахісу та борошно кукурудзяне.

2. Використання математичного моделювання на етапі досліджень стану вологи модельної системи сирного продукту дозволило оптимізувати параметри гідротермічної обробки сирної маси з заміною молока 5% на 2,5% КАЯ + 2,5% БК: температура складала 55⁰ С, тривалість обробки – 15×60 с, що задовольняє раціональним умовам максимізації вологоутримуючої здатності з мінімізацією температури обробки.

Список літератури

1. Обозна М.В. Розробка технології сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока з використанням рослинних компонентів / М.В. Обозна // Тематичний збірник наукових праць Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. – 2011. – Вип. 26 : Обладнання та технології харчових виробництв. – С. 240–246.

2. Перцевой Ф.В. Ресурсозберігаюча технологія сирного продукту м'якого / Ф.В. Перцевой, М.В. Обозна // Стратегия качества в промышленности и образовании : VII Международная конференция, 3–10 июня 2011 г. : [тези : у 3 ч.]. – Варна, Болгария, 2011. – Т. 3 / International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus : [Special number]. – С. 220–223.

3. Пат. на корисну модель 57054 Україна, UA МПК А 23 С 19/00. Спосіб отримання сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока з використанням концентрату ядер арахісу та борошна кукурудзяного / Перцевой Ф.В., Обозна М.В. (Україна) ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2010 08599; заявл. 09.07.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3. – 6 с.

4. Пат. на корисну модель 57055 Україна, UA МПК А 23 С 19/00. Спосіб отримання сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока з використанням концентрату ядер арахісу /

Перцевой Ф.В., Обозна М.В. (Україна) ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2010 08600; заявл. 09.07.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3. – 6 с.

5. Пат. на корисну модель 60055 Україна, UA МПК А 23 С 19/00. Спосіб отримання сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока з використанням рослинних компонентів / Перцевой Ф.В., Обозна М.В. (Україна) ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № у 2010 13609; заявл. 16.11.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11. – 6 с.

6. Технологія харчової та кулінарної продукції з використанням білків молока: монографія / [Ф.В. Перцевой, П.В. Гурський, С.Л. Юрченко та ін.]. – Х.: ХДУХТ, 2010. – 225 с.

7. Онопрійчук О.О. Удосконалення технології сиркових виробів із зерновими інгредієнтами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.16 «Технологія продуктів харчування» / О.О. Онопрійчук. – К., 2008. – 22 с.

8. Рудакова Т.В. Розроблення технології комбінованих продуктів тривалого строку зберігання на основі сиру кисломолочного: дис. канд. техн. наук: 05.18.04 / Рудакова Тетяна Василівна. – К., 2006. – 155 с.

9. Новые технологии функциональных оздоровительных продуктов: монография / [В.В. Погарская, А.И. Черевко, Р.Ю. Павлюк и др.]. – Х.: ХГУПТ, 2007. – 262 с.

10. Баль-Прилипко Л.В. Значення води у формуванні якості харчових продуктів / Л.В. Баль-Прилипко, О.М. Ляшенко // Молочное дело. – 2010. – № 8. – С. 8–12.

11. Вода в пищевых продуктах / [пер. с англ. под ред. Р.Б. Дакуорта]. – М.: Пищевая пром-сть, 1980. – 376 с.

12. Applewhite T.H. Proceedings of the World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs / T.H. Applewhite // The American Oil Chemists Society. – 1989. – 575 p.

13. Большакова В.А. Технологія паст емульсійного типу з використанням зернобобової сировини : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.16 «Технологія продуктів харчування» / В.А. Большакова. – Х., 2001. – 20 с.

14. Практическая химия белка: [пер. с англ.] / [под ред. А.Дарбре]. – М.: Мир, 1989. – 623 с.

15. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / [О.Н. Сафонова, Ф.В. Перцевой, А.Л. Фошан и др.]; под ред. О.Н. Сафоновой. – Х.: ХГАТОП и ХГТУСХ, 2000. – 200 с.

16. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В.П. Боровиков. – [2-е изд.]. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

17. Ратушный А.С. Математико-статистическая обработка опытных данных в технологии продуктов общественного питания : метод. указания / А.С. Ратушный, В.Г. Топольник. – М.: Рос. экон. академия им. Г.В. Плеханова, 1993. – 176 с.

18. Дьяконов В.П. Компьютерная математика. Теория и практика / В.П. Дьяконов. – М.: Нолидж, 2001.– 1296 с.

Аннотация

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТЕРМИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СЫРНОГО ПРОДУКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ ДОБАВОК

Обоснована целесообразность применения гидротермической обработки сырной массы во время ее соединения с растительными добавками, которая повышает влагоудерживающую способность модельной системы сырного продукта. С помощью математического моделирования экспериментальных данных были получены математические модели оптимальных параметров гидротермической обработки опытных образцов.

Abstract

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF GIDROTERMICHNOY OF TREATMENT OF MODEL SYSTEM OF CHEESE PRODUCT WITH THE USE OF VEGETABLE ADDITIONS

Expediency of heat treatment of cheese mass during its connection with herbal supplement that increases the water-retaining capacity model system cheese product. Using mathematical modeling of the experimental data was obtained mathematical model of optimal parameters hydrothermal processing models.