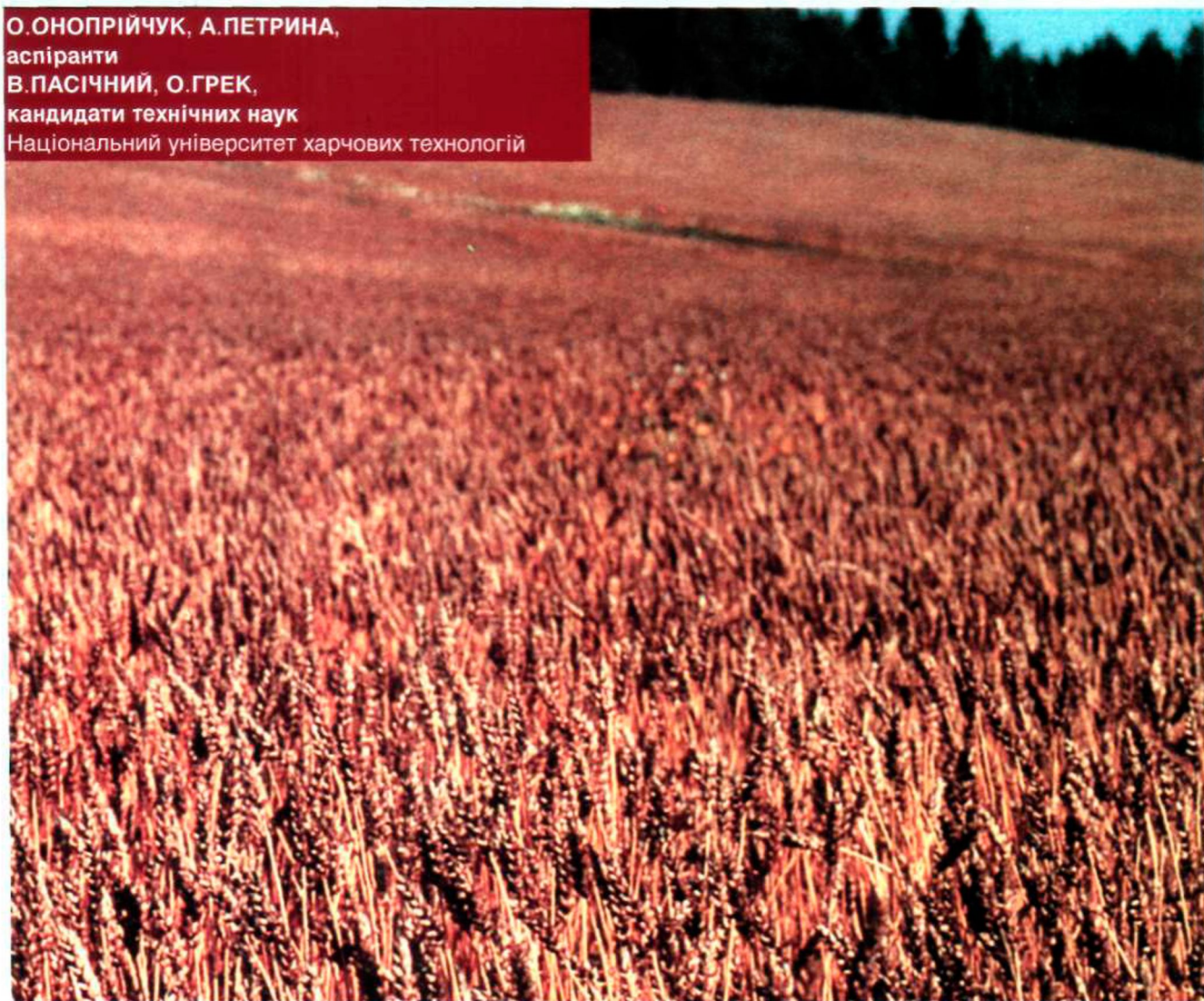


# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ МОЛОЧНО-РОСЛИННИХ СИСТЕМ

О. ОНОПРІЙЧУК, А. ПЕТРИНА,  
аспіранти  
В. ПАСІЧНИЙ, О. ГРЕК,  
кандидати технічних наук  
Національний університет харчових технологій



**У**СТВОРЕННІ нових харчових продуктів комбінованого складу перспективним є поєднання молочної і рослинної сировини. Це дає змогу збагатити молочні продукти есенціальними сполуками та регулювати їх склад відповідно до основних вимог науки про раціональне харчування. У зв'язку з цим створення комбінованих кисломолочних сиркових паст та інших молочних продуктів з використанням натуральних рослинних добавок з пророщених зерен, що мають антиоксидантну, загальнозміцнюючу дію на організм людини, досить актуальне.

Як принципово нові рецептурні компоненти використовували сировину рослинного походження, яка компенсує нестачу життєво необхідних нутрієнтів і сприяє виведенню з організму небажаних речовин, зокрема солодових добавок — продуктів лікувально-профілактичного призначення на основі пророщених злаків "Прозер" (ТУ У 15.6-02070938.034-2003).

Технології переробки рослинної, зокрема зернової, сировини та використання її як добавки в технологіях нових харчових продуктів дають змогу направлено змінювати хімічний склад і розширювати асортимент. Традиційно, з метою надання харчовим продуктам необхідної структури, використовують різні добавки, які змінюють їх реологічні властивості. За своєю природою ці речовини досить різноманітні (натуральні, синтетичні, мікробні). Застосовують їх переважно у виробництві харчових продуктів з нестійкою текстурою, яка має бути однорідною (гомогенною) протягом усього терміну зберігання.

У пророщеному зерні міститься достатньо речовин, необхідних для раціонального харчування, — білків, вуглеводів, що легко засвоюються, харчових волокон, мінеральних речовин, вітамінів та ін. Під час розвитку зародку активізуються різні ензими, які перетворюють нерозчинні сполуки (кромаль, білок) у розчинні (цукри, амінокислоти тощо).

Внесення сухих зернових добавок у молочно-білкову основу змінює показники якості готових продуктів внаслідок високої вологостримуючої здатності та сорбційних властивостей, характерних для продуктів переробки зернових. Тому попередні дослідження довели необхідність процесу набухання (як попередньої підготовки) для даних добавок перед внесенням у молочну основу. Набухання варто проводити в молочній сироватці, в результаті чого утворюється молочно-рослинна система.

Молочна сироватка покращує структуру продукту, коригує масову частку води, підвищує біологічну цінність завдяки сироватковим білкам, це — цінна сировина при виробництві дієтичних і профілактичних продуктів.

Для визначення оптимальних параметрів попередньої підготовки продуктів переробки зернових з метою вдосконалення технології виробництва та покращення якості готових сиркових виробів застосовано повнофакторний експеримент. За параметри оптимізації обрано функціонально-технологічні властивості молочно-рослинних систем. Для досягнення поставленої мети взяли комплексні показники, що максимально характеризують вплив попередньої підготовки зернових на їх функціонально-технологічні властивості.

Модель якості продукції можна подати у вигляді функції

$$Y = f(X_1, X_2, X_3 \dots X_m)$$

де  $Y$  — показник ефективності (оптимізації) процесу попередньої підготовки;  
 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$  — параметри процесу підготовки.

Для параметрів оптимізації необхідно визначити нульовий рівень факторів та інтервал їх варіювання. Нульовий рівень визначається на основі апріорної інформації. Інтервал варіювали так, щоб він був за межами похибки вимірювань, але не занадто широким.

Як фактори, що істотно впливають на функціонально-технологічні властивості молочно-рослинних систем, були обрані:

- $C_1$  — маса сироватки, г;  
 верхній рівень фактора  $C_{1\max} = 12$ ;  
 нижній рівень фактора  $C_{1\min} = 5$ .
- $C_2$  — маса добавки "Прозер", г;  
 верхній рівень фактора  $C_{2\max} = 5$ ;  
 нижній рівень фактора  $C_{2\min} = 2$ .
- $C_3$  — температура, °C;  
 верхній рівень фактора  $C_{3\max} = 85$ ;  
 нижній рівень фактора  $C_{3\min} = 45$ .

Як вихідні функції визначали залежність від ви-

щенаведених факторів:

- $Y_1$  — масова частка води,  $W$ , %;
- $Y_2$  — активна кислотність, рН;
- $Y_3$  — вологостримуюча здатність, ВУЗ, %.

За результатами експериментів розраховано коефіцієнти рівняння регресії:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

за формулами:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{N}$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{N}$$

де  $x_{ij}$  — значення змінної  $y$  відповідному стовпчику плану експерименту ( $x_{ij} = +/- 1$ );

- $y_u$  — результат  $u$ -го дослід;
- $N$  — загальне число дослідів ( $N = 8$ );
- $u$  — номер варіанту дослід;
- $i$  — номер фактора;
- $j$  — номер фактора, відмінний від  $i$ .

Для аналізу значущості коефіцієнтів рівняння регресії за допомогою прикладного програмного забезпечення визначено адекватність рівнянь за критерієм Фішера ( $F_p$ ) згідно із стандартними методами. Обраний критерій порівнювали з табличним значенням.

Рівняння вважається адекватним за умови виконання нерівності

$$F_p < F_m$$

де  $F_p$  — розраховане значення критерію Фішера;  
 $F_m$  — теоретичне значення критерію Фішера.

$F_m = 3,050$ ; довірна ймовірність -4; число вільних членів  $S_{\text{вн}}(f_1) = 8$ ; число експериментів  $S_{\text{експ}}(f_2) = 5$

Отримані рівняння мають такий вигляд:

$$Y_{1(8/2)} = 60,843 + 10,375x_1 - 9,225x_2 + 0,395x_1x_2 + 7,462x_1^2 + 7,463x_2^2 - 7,463x_3^2$$

$$F_p = 0,125.$$

$$Y_{2(8/2)} = 4,115 - 0,05x_1 + 0,05x_2 - 0,012x_1x_2 + 0,25x_1x_3 - 0,031x_2^2 + 0,019x_3^2$$

$$F_p = 0,0651.$$

$$Y_{3(8/2)} = 42,942 + 16,701x_1 - 16,646x_2 - 0,511x_3 - 0,529x_1x_2 - 1,849x_1x_3 - 1,774x_2x_3 - 0,822x_1^2 + 0,743x_2^2 + 0,658x_3^2$$

$$F_p = 0,224.$$

Для вищенаведених рівнянь умова виконувалась, що дає змогу зробити висновок про адекватність отриманих рівнянь дійсному стану процесу.

Середнє значення виходу функції вологовмісту в молочно-рослинних системах з добавкою "Прозер" кукурудзяна — 60,84. При збільшенні гідромодуля зазначені коефіцієнти вказують на збільшення води в системі, що відповідає реальному її вмісту. За вказаними рівняннями регресії в межах варіювання співвідношення компонентів молочна сироватка:добавка "Прозер" можна з високою точністю визначити масову частку води молочно-рослинних систем для моделювання хімічного складу готових сиркових виробів.

Аналіз впливу змінного факторного простору на



активну кислотність молочно-рослинних систем за свідчує, що середнє значення цього показника передусім залежить від величини рН інгредієнтів. Підвищення температури нагрівання призводить до зменшення активної кислотності системи при збільшенні кількості сироватки. Збільшення масової частки добавки "Прозер" при накладанні температурних ефектів підвищує рН молочно-рослинної системи. Це відображає реальний вплив температури на різну сировину.

Середнє значення ВУЗ молочно-рослинної системи, що складається з молочної сироватки та добавки "Прозер" кукурудзяної перебуває в межах 40–45% і залежить від кількісного співвідношення компонентів.

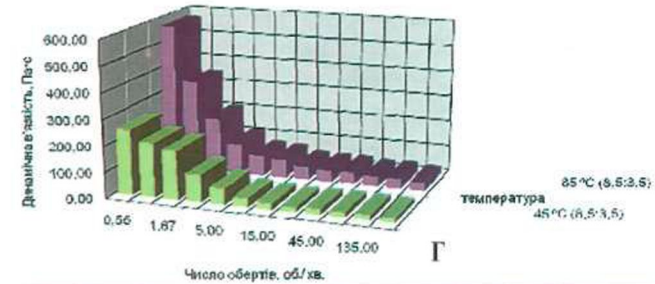
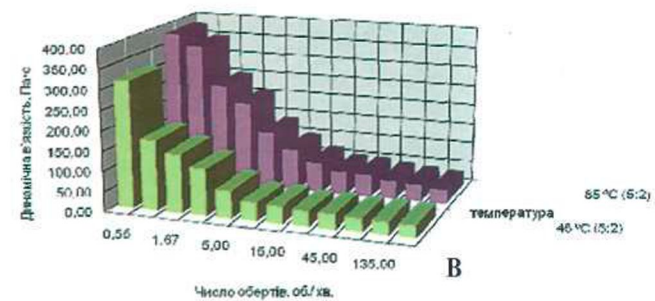
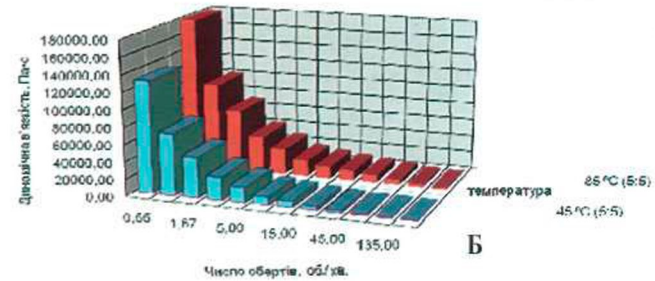
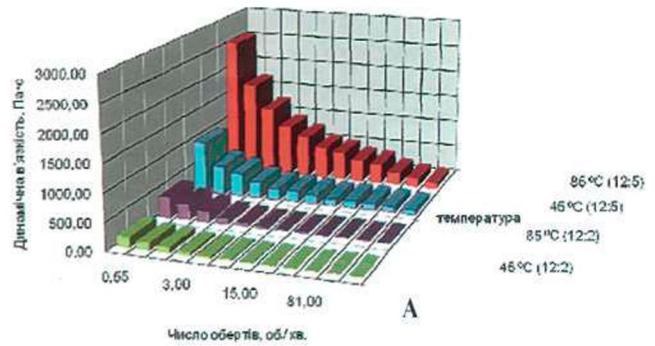
Таким чином, отримані рівняння регресії дають змогу з високою точністю визначити функції виходу технологічних показників в інтервалі варіювання змінних факторів.

В умовах виконання планів досліджували також реологічні показники модельних молочно-рослинних систем. На рисунках наведено характеристики змін динамічної в'язкості за різних співвідношень інгредієнтів та температур.

З рисунків видно, що із збільшенням температури в межах варіювання молочно-рослинних систем відбувається реальне збільшення динамічної в'язко-

План і результати ПФЕ 2<sup>3</sup> для добавки "Прозер" кукурудзяної

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
1	+	+	+	12	5	45	69,85	4,10	37,96
2	-	+	+	5	5	45	48,32	4,30	11,10
3	+	-	+	12	2	45	87,51	4,00	77,15
4	-	-	+	5	2	45	67,55	4,10	45,72
5	+	+	-	12	5	85	69,85	4,10	47,51
6	-	+	-	5	5	85	48,30	4,10	10,80
7	+	-	-	12	2	85	87,51	4,00	77,15
8	-	-	-	5	2	85	67,55	4,10	40,78
9	+	0	0	12	3,5	65	78,68	4,05	59,94
10	-	0	0	5	3,5	65	57,93	4,15	24,3
11	0	+	0	8,5	5	65	59,08	4,15	27,17
12	0	-	0	8,5	2	65	77,53	4,05	60,20
13	0	0	+	8,5	3,5	45	53,38	4,15	43,20
14	0	0	-	8,5	3,5	85	53,38	4,15	44,00



Реологічні показники молочно-рослинної системи при співвідношенні компонентів молочної сироватка:добавка "Прозер" кукурудзяної: а — 12:2 та 12:5; б — 5:5; в — 5:2; г — 8,5:3,5.

сті і залежить воно від концентраційного співвідношення компонентів, що можна пояснити частковим гідролізом білкових та вуглеводних компонентів системи. Простежується також чіткий зв'язок зміни вологостримуючої здатності системи від температури.

Таким чином, визначено оптимальні умови набування молочно-рослинної системи та математичну залежність впливу на технологічні показники концентраційних співвідношень використовуваних інгредієнтів. Цей процес доцільно проводити в пастеризованій сироватці, взятій у співвідношенні до дослідних добавок "Прозер" як 3:1 з наступною тепловою обробкою за температури 85±2°C з витримкою 3–5 хв. та охолодженням до температури внесення в молочно-білкову основу — 42±2°C.