

УДК 664.765

С.А. Бажай,

Л.О. Федоренченко,

В. О. Мірошник

кандидати технічних наук

S. Bazhay,

L. Fedorenchenko,

V. Mirohnik

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОРОЩУВАННЯ
ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ**

**DETERMINATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF SPROUTING OF
GRAIN OF WHEAT IS FOR MAKING OF
HEALTH-IMPROVEMENT PRODUCTS**

Визначено рівняння регресій залежності вмісту вітамінів антиоксидантів та фітину у зерні пшениці від тривалості та температури пророщування. Проведено оптимізацію процесу пророщування методом Харрінгтона й визначено оптимальні параметри пророщування зерна пшениці для виготовлення оздоровчих продуктів, а саме: температура пророщування 16 °С й тривалість пророщування 48 год.

Ключові слова: *оптимізація, оптимальні параметри, пророщування, вітаміни антиоксиданти, фітин, зерно пшениці, рівняння регресії.*

Certainly equalization regressions of dependence of content of vitamins antioxidants and phytate is in the grain of wheat from duration and temperature of sprouting. Optimization of process of sprouting the method of Harringtona and certainly optimum parameters of sprouting grain of wheat is conducted for making of health-improvement products, namely: temperature of sprouting 16 °C and duration of sprouting of 48 h.

Key words: *optimization, optimum parameters, sprouting, vitamins is antioxidants, phytate, grain of wheat, equalization of regression.*

Останнім часом досить значний інтерес науковців викликає питання встановлення способів компенсації зниження антиоксидантного потенціалу, що спостерігається під дією негативних чинників природного середовища і, особливо, у процесі старіння організму людини. Використання харчових антиоксидантів – інгібіторів вільнорадикальних процесів – сприяє підвищенню якості харчових продуктів та вирішенню соціального завдання – збереження здоров'я населення.

Природними антиоксидантами є аскорбінова кислота, токофероли, каротиноїди, флавоноїди, деякі таніни та інші біологічно активні речовини рослинного походження. Відомо, що токофероли, аскорбінова кислота та каротиноїди в значній кількості синтезуються рослинами у процесі їх росту [3].

Результатами попередніх досліджень доведено доцільність використання пророщеного зерна злакових, зокрема пшениці, для створення нових харчових продуктів оздоровчого спрямування [2, 4]. Тому нашим першочерговим завданням є встановлення оптимальних параметрів пророщування зерна.

Оптимальним режимом пророщування зерна пшениці для виготовлення оздоровчих продуктів слід вважати такий, який забезпечує максимальне підвищення вмісту біологічно активних речовин зерна, зокрема тих, які виявляють антиокислювальну дію, і найбільш повний гідроліз фітину – антимінеральної речовини, яка міститься у нативному зерні.

Серед факторів, від яких залежить біологічна цінність пророщеного зерна пшениці та оздоровчих продуктів на його основі є тривалість та температура процесу пророщування зерна. Тому для вирішення задачі оптимізації в якості параметрів оптимізації було прийнято два фактори: t – температура пророщування зерна, °С; τ – тривалість процесу пророщування, год. Інші фактори вважались не суттєвими.

Для вирішення оптимізаційної задачі використовували узагальнений критерій оптимізації, який дозволяє єдиним кількісним показником узагальнити декілька обраних локальних критеріїв оптимальності:

$$F = \prod_{i=1}^n f'_i(x)^{\lambda_i} \rightarrow \max$$

де $f'_i(x)$ – локальні критерії оптимальності в безрозмірній формі;

λ_i – вагові коефіцієнти, $i = 0, 1 \dots 0, 3$.

Для оцінки якості та ефективності процесу пророщування було обрано наступні локальні критерії (в натуральній формі):

$f_1(x) = y_1$ – кількість вітаміну Е, мг на 100 г зерна;

$f_2(x) = y_2$ – кількість вітаміну С, мг на 100 г зерна;

$f_3(x) = y_3$ – кількість фітину, % до СР зерна;

$f_4(x) = y_4$ – тривалість пророщування, год.

Перший та другий вихідні параметри найповніше характеризують якість пророщеного зерна пшениці з точки зору підвищення його біологічної цінності та оздоровчих властивостей. Третій параметр характеризує харчову цінність пророщеного зерна з урахуванням наявності антимінеральної речовини – фітину.

Вихідним параметром y_4 , який накладає обмеження на шляху просування до оптимуму, було обрано тривалість пророщування зерна. Для запобігання втратам вітамінів, розвитку додаткової мікрофлори, збільшенню витрат

енергоносіїв та води на технологічні цілі тривалість пророщування не повинна перевищувати 90 год.

Розв'язання задачі оптимізації передбачає одержання математичної моделі для вираження залежності вихідних параметрів процесу від вхідних факторів. Для розроблення математичної моделі було застосовано центральний композиційний рототабельний план двохфакторного експерименту, матриця якого, а також рівні факторів та інтервали їх варіювання представлені в *табл. 1*.

Таблиця 1.

Центральний композиційний рототабельний план експерименту (n=2)

Фактори	Рівні			Інтервал варіювання	Одиниця вимірювання		
	-1	0	+1				
Температура $t (x_1)$	10	16	22	6	°С		
Тривалість пророщування $\tau (x_2)$	24	48	72	24	год		
№ досліджу	План						
	x_0	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	x_1^2	x_2^2	y_i
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	y_3
1	2	3	4	56	7	8	9
4	+1	-1	-1	+1	+1	+1	y_4
5	+1	-1,41	0	0	2,0	0	y_5
6	+1	+1,41	0	0	2,0	0	y_6
7	+1	0	-1,41	0	0	2,0	y_7
8	+1	0	+1,41	0	0	2,0	y_8
9	+1	0	0	0	0	0	y_9
10	+1	0	0	0	0	0	y_{10}
11	+1	0	0	0	0	0	y_{11}
12	+1	0	0	0	0	0	y_{12}
13	+1	0	0	0	0	0	y_{13}

При виборі рівня факторів та інтервалів їх варіювання враховували результати попередніх лабораторних досліджень, на підставі яких приймали

діапазон зміни температури від 10 до 22 °С, діапазон зміни тривалості пророщування від 24 до 72 год. Порядок проведення експериментів був рандомізований, всі досліди виконувались у декількох повтореннях.

Одержані в результаті реалізації плану експерименту значення вихідних параметрів в двох повтореннях y'_i та y''_i та їх середні значення \bar{y}_i наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

Результати реалізації плану експерименту

№ до-сліду	Вихідні параметри								
	Кількість вітаміну Е, мг на 100 г			кількість вітаміну С, мг на 100 г			кількість фітину, % до СР		
	y'_1	y''_1	\bar{y}_1	y'_2	y''_2	\bar{y}_2	y'_3	y''_3	\bar{y}_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,4	6,0	6,2	4,2	4,7	2,5	0,4172	0,4184	0,4178
2	9,6	10,4	10,0	5,1	6,3	4,5	0,4208	0,4214	0,4211
3	9,8	10,6	10,2	5,2	4,8	5,3	0,6480	0,6490	0,6485
4	9,0	9,4	9,2	4,7	3,9	4,2	0,4111	0,4117	0,4114
5	7,2	6,4	6,8	5,0	5,2	4,5	0,4802	0,4798	0,4800
6	11,9	12,4	12,3	3,0	4,0	3,8	0,5048	0,5052	0,5050
7	12,1	12,1	12,1	5,0	6,6	6,0	0,4800	0,4800	0,4800
8	10,8	11,4	11,2	5,8	6,2	5,6	0,3108	0,3112	0,3110
9	13,7	14,4	14,1	6,6	6,8	6,7	0,2900	0,2900	0,2900
10	12,5	12,9	12,7	6,7	6,7	6,7	0,3254	0,3246	0,3250
11	13,6	14,2	13,9	6,6	7,2	6,9	0,3191	0,3199	0,3195
12	12,6	13,0	12,8	5,8	6,2	6,0	0,3056	0,3044	0,3050
13	13,1	12,9	13,0	6,0	6,6	6,3	0,2922	0,2918	0,2920

У результаті реалізації плану експерименту залежність кожного вихідного параметра від вхідних факторів була представлена у вигляді поліноміального рівняння другого ступеня:

$$\tilde{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{j,i=1 \\ i \neq j}}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2$$

де x_i – фактор моделі; n – кількість факторів; b_i , b_{ij} , b_{ii} – коефіцієнти регресії.

Знаходження коефіцієнтів рівнянь регресії виконували з використанням методу найменших квадратів. В результаті були одержані наступні рівняння (у натуральних значеннях факторів):

Залежність вмісту вітаміну Е у зерні від температури та тривалості пророщування:

$$ff(x_1, x_2) := -18.884538 + 2.706452 x_1 + .35692 x_2 - 8.3333333 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 \cdot x_2 - 6.49444 \cdot 10^{-2} \cdot x_1^2 - 2.246007 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^2$$

[1];

Залежність вмісту вітаміну С у зерні від температури та тривалості пророщування:

$$ff(x_1, x_2) := -10.22148 + 1.54211 \cdot x_1 + .17104 x_2 - 4.16667 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 \cdot x_2 - 4.0500 \cdot 10^{-2} \cdot x_1^2 - 1.10698 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^2$$

[2];

Залежність вмісту фітину у зерні від температури та тривалості пророщування:

$$ff(x_1, x_2) := .92720 - 6.26283 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 - 4.227639 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 - 4.17361 \cdot 10^{-4} \cdot x_1 \cdot x_2 + 2.7500 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^2 + 8.7986 \cdot 10^{-5} \cdot x_2^2$$

[3].

Перевірку однорідності дисперсій повторних дослідів здійснювали за критерієм Кохрена. Оцінку значимості коефіцієнтів проводили за критерієм Стьюдента. Після вилучення несуттєвих коефіцієнтів здійснювалась оцінка адекватності одержаних математичних моделей. Придатність рівнянь регресії для розв'язання задачі пошуку області оптимуму перевіряли за критерієм Фішера (F_p) [1]. Розрахункові значення критерію Фішера для рівнянь 1 – 3 становили відповідно 8,13; 8,19; 8,00; при табличному значенні $F_T = 9,10$ ($q = 0,05$). Отже можна вважати, що запропоновані рівняння адекватно відображають досліджувані залежності.

Використання узагальненого критерію оптимізації вимагає перетворення локальних критеріїв оптимальності з натуральної в безрозмірну форму, яке здійснювали методом Харрінгтона [5] через значення проміжних параметрів y_k за допомогою функції бажаності:

$$f'_k(x) = \exp[-\exp(-y_k)]$$

Шкала бажаності має інтервал від 0,01 до 0,99. В таблиці бажаності для кращого відображення критеріїв інтервал 0,01...0,99 поділений на п'ять частин. Від 0,01 до 0,2 він відповідає поняттю “дуже погано”, від 0,2 до 0,37 – “погано”, від 0,37 до 0,63 – “задовільно”, від 0,63 до 0,8 – “добре” і від 0,8 до 0,99 – “дуже добре”. Значення локальних критеріїв оптимальності, відповідні інтервалам шкали бажаності, наведені в *табл. 3*.

Таблиця 3.

Інтервали бажаності локальних критеріїв оптимальності

Локальні критерії оптимальності	Значення бажаностей і параметра y_i					
	0,01	0,20	0,37	0,63	0,80	0,99
$f_1(x)$	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5
$f_2(x)$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
$f_3(x)$	0,5	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
$f_4(x)$	90	72	62	52	48	24

Для розв'язання задачі оптимізації було розроблено програму оптимізації процесу пророщування зерна і підпрограму переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона. Крок обрахунку для зміни температури пророщування становить:

$$h1 := \frac{b1 - a1}{n}$$

Крок обрахунку для зміни тривалості пророщування становить:

$$h2 := \frac{b2 - a2}{n}$$

де $a1, a2$ – відповідно мінімальна температура та тривалість пророщування зерна; $b1, b2$ – відповідно максимальна температура та тривалість пророщування зерна; цикл обрахунку $n = 50$.

Розбиття технологічних параметрів на умовні зони: дуже погано, погано, задовільно, добре, дуже добре дозволило отримати масиви розподілу вітамінів E (IB1), C (IB2), фітину (IB3) та тривалості пророщування (IB4), а також масив умовної зони розподілу D:

$$IB1 := (6.0 \ 7.5 \ 9.0 \ 10.5 \ 12.0 \ 14.0)^T; \quad IB2 := (2.0 \ 3.0 \ 4. \ 5.0 \ 6. \ 7.0)^T;$$

$$IB3 := (0.5 \ 0.45 \ 0.4 \ 0.35 \ 0.3 \ 0.25)^T; \quad IB4 := (90 \ 72 \ 62 \ 52 \ 48 \ 24)^T;$$

$$D := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T.$$

З метою отримання узагальненого рівняння оптимізації експериментальних даних по вмісту вітамінів-антиоксидантів E та C, фітину залежно від температури та тривалості пророщування виражаємо:

$$FBE(t, \tau) := HAR(IB1, D, fE(t, \tau), 1)$$

$$FBF(t, \tau) := HAR(IB3, D, fF(t, \tau), 0)$$

$$FBC(t, \tau) := HAR(IB2, D, fC(t, \tau), 1)$$

$$FB\tau(t, \tau) := HAR(IB4, D, \tau, 0)$$

Вагові коефіцієнти вмісту вітамінів E, C та фітину складають відповідно:

$$\lambda1 := 0.35 \quad \lambda2 := 0.25 \quad \lambda3 := 0.35 \quad \lambda4 := 0.1$$

Узагальнене рівняння оптимізації параметрів пророщування зерна, з урахуванням відповідних вагових коефіцієнтів

$$FF(t, \tau) := FBE(t, \tau)^{\lambda1} \cdot FBC(t, \tau)^{\lambda2} \cdot FBF(t, \tau)^{\lambda3} \cdot FB\tau(t, \tau)^{\lambda4} \longrightarrow \max$$

За допомогою програми оптимізації процесу пророщування було зображено лінії рівня, які дозволяють знайти оптимальне значення параметрів пророщування.

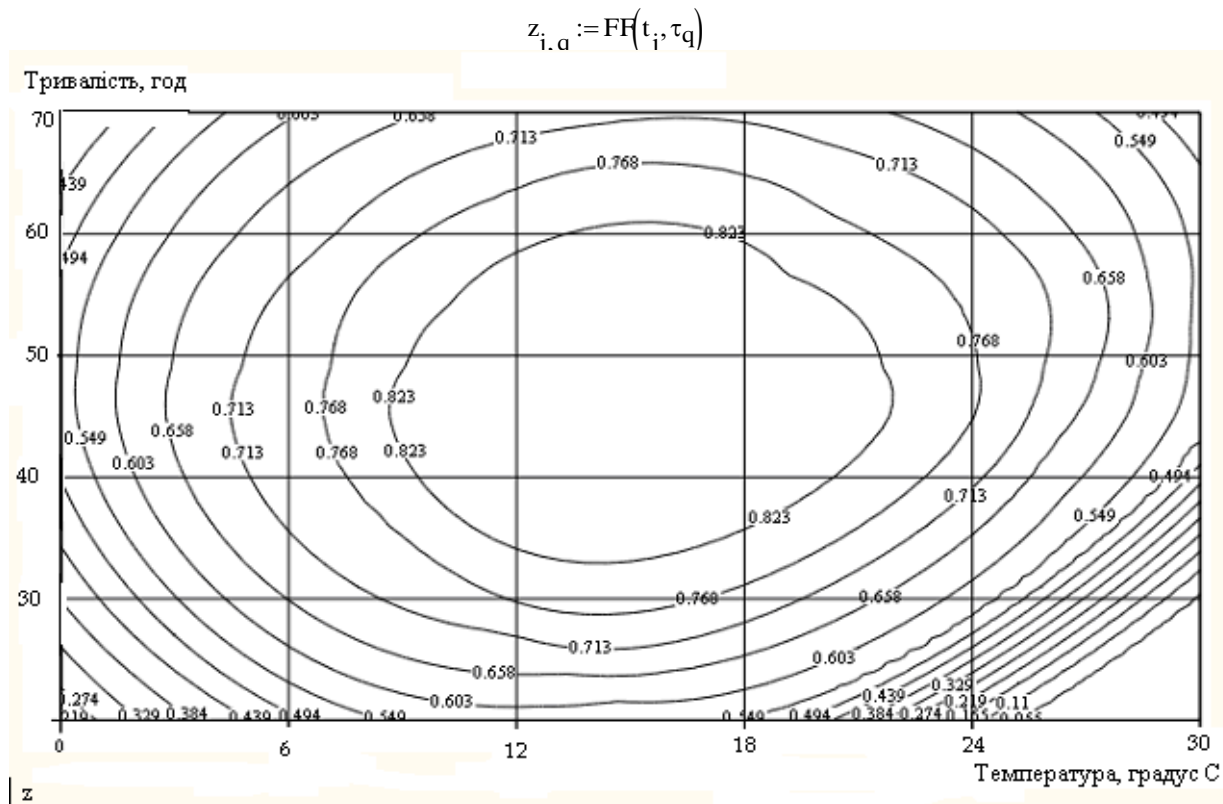


Рис. 1. Залежність вмісту вітамінів-антиоксидантів Е та С і фітину від температури та тривалості пророщування

Оптимальне значення згідно рис.1 буде:

$$\max(z) = 0.878$$

Оптимальні температуру та тривалість пророщування знаходили за методом сіток, використовуючи програму переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму. Згідно обрахунку за методом сіток, оптимальними параметрами пророщування зерна пшениці є – температура пророщування 16 °С і тривалість пророщування 48 год.

Висновки. В результаті оптимізації процесу пророщування зерна пшениці встановлено оптимальні параметри, які забезпечують одержання пророщеного

зерна – сировини для виготовлення оздоровчих продуктів – з найвищим вмістом вітамінів, які проявляють антиокислювальні властивості Е і С. Одночасно запропонований режим пророщування зерна забезпечить значне зниження вмісту фітину за досить низьких витрат енергоносіїв та води на технологічні цілі. Визначено параметри технологічного режиму пророщування зерна пшениці.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ермаков С.М., Жиглявский А.Л.* Математическая теория оптимального эксперимента. – М: Наука, 1987 – 319 с.
2. *Нові підходи до використання зернових культур / А.І. Українець, В.М. Ковбаса, Л.О. Федоренченко, Т.І. Романовська, С.А. Бажай, О.П. Зарічанська // Наукові праці НУХТ. – 2002. – №13. – С.58–60.*
3. *Проросшие семена – перспективная пищевая добавка для достижения долголетия / М.С. Гончаренко, А.В. Паранич, В.Н. Щегольков и др. // Прискорене старіння та шляхи його профілактики: Матеріали 2-ї науково-практичної конференції з міжнародною участю (Одеса, 18-19 жовтня 2001 р.). – К.: Алкон, 2002. – С.137-138.*
4. *Пророщене зерно – перспективна сировина для виготовлення харчових продуктів / С.А. Бажай, Л.О. Федоренченко, Т.І. Романовська, О.П. Зарічанська // Проблеми харчування населення України: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, (27-28 лютого 2003 р.). – Полтава: ПУСК, 2003.– С.32–36.*
5. *Пытьев Ю.П.* Методы анализа и интерпретации эксперимента. – М: Издательство, 1990 – 288 с.

Надійшла до редколегії 20.03.2007 р.