

### **Комп'ютерна підтримка розробки рецептур для продуктів високотемпературної екструзії**

*У статті досліджена можливість створення шляхом рецептурного програмування корпусу для коекструзійних продуктів з урахуванням технологічних властивостей сировини. Наведені органолептичні та фізико-хімічні показники отриманих продуктів.*

**Ключові слова:** моделювання, екструзійні продукти, квасоля, горох, рецептурне програмування.

Особливе місце серед продуктів харчування займають сухі сніданки екструзійної технології (палички, кільця, кульки, пластинки, пластівці, батончики або подушечки з начинками), що найбільше користуються популярністю у дітей. Сировиною для виробництва екструзійних продуктів є такі зернові культури, як кукурудза, пшениця, рис, овес, які можуть використовуватись при виготовленні екструдатів окремо або в сумішах, а також різноманітні смакові та ароматичні добавки. Такі продукти перевантажені крохмалем і характеризуються невеликим вмістом білка, незамінних амінокислот, вітамінів, мінеральних речовин та харчових волокон, тому актуальною проблемою є підвищення харчової цінності даних продуктів.

Харчова цінність продуктів визначається вмістом білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин, а також біологічно активних сполук. Білки є найбільш цінним компонентом їжі. Вони беруть участь у важливих функціях організму. Особливість білків полягає в їх незамінності іншими харчовими речовинами. Білки їжі в організмі людини розщеплюються до органічних кислот, з яких знову синтезуються нові амінокислоти, а потім білки. Це так звані замінні амінокислоти. Проте є вісім амінокислот, а саме: ізолейцин, лейцин, лізин, валін, метіонін, треонін, триптофан, фенілаланін, які не утворюються в організмі дорослої людини, а надходять з їжею. Це так звані незамінні амінокислоти. При нестачі амінокислот затримуються розвиток організму [2, 4].

Застосування поряд з традиційною для виробництва продуктів екструзії зерновою сировиною такої нетрадиційної сировини, як горох, квасоля, люпин та сочевиця дозволить розширити асортимент коекструзійних продуктів та покращити харчову і біологічну цінність. Білок зернобобових культур багатий на амінокислоти, біологічно повноцінний, характеризується високою перетравлюваністю. Рослинні білки можуть використовуватись для підвищення вмісту білка, заміни частини дорогої основної сировини та зниження енергетичної цінності продуктів.

Для визначення цінності амінокислотного складу використовують показник амінокислотного SKOPу, який дорівнює відношенню вмісту амінокислоти в досліджуваному білку до вмісту цієї ж амінокислоти в «ідеальному білку». Амінокислота, що має амінокислотний SKOP менший, ніж 100%, називається лімітуючою [4].

---

<sup>55</sup> Запотоцька Олена Василівна аспірант, Сєдих Ольга Леонідівна старший викладач, Ковбаса Володимир Миколайович доктор технічних наук, професор; Національний Університет Харчових Технологій

Аналіз хімічного складу сировини, яка традиційно використовувалась для виробництва сухих сніданків, показав, що всі вони мають кількісний дефіцит есенціальних амінокислот, тому для отримання продукту з повноцінним білком необхідно додавати до рецептури інгредієнти, які б компенсували нестачу дефіцитних амінокислот. Пропонується використовувати як збагачувач пророщені зернові культури, що містять в своєму складі незамінні амінокислоти, яких бракує в основній сировині, фізіологічно активні вуглеводи, багатий комплекс вітамінів та харчових волокон.

Керуючись методом нутріціології взаємного збагачення білків, можна створити такі рецептурні композиції, склад яких відповідав би усім вимогам еталону.

В таблиці 1 представлено вміст незамінних амінокислот в зернових білках та кількість відповідних амінокислот, яку потребує людина.

Таблиця 1.

№п/п	Незамінні амінокислоти, мг/100 г білку	Крупа рисова	Пшениця	Крупа вівсяна	Крупа манна	Гречана ядриця	Пшоно	«Геркулес»	Крупа ячна	Кукурудзяна крупа	Чечевиця	Горох	Квасоля	Потреба людини
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	валін	6,00	4,34	4,30	4,76	4,68	4,09	5,09	4,80	4,94	5,29	4,93	5,33	5,0
2.	ізолейцин	4,71	3,67	3,62	4,37	3,65	3,74	3,62	4,65	4,94	4,25	5,32	4,90	4,0
3.	лейцин	8,86	6,96	6,36	7,86	5,91	13,3	5,77	5,10	13,2	7,88	8,05	8,29	7,0
4.	лізин	3,71	3,21	3,82	2,48	4,21	2,50	3,82	3,50	2,53	7,17	7,56	7,57	5,5
5.	метіонін+цистин	4,24	3,66	3,36	3,64	5,16	4,14	3,67	3,60	3,01	2,13	2,71	2,05	3,5
6.	треонін	3,43	3,48	3,18	3,06	3,17	3,48	3,45	2,50	2,41	4,00	4,10	4,14	4,0
7.	триптофан	1,43	1,34	1,55	1,07	1,43	1,57	1,77	1,20	0,72	0,92	1,27	1,24	1,0
8.	фенілаланін+тирозин	9,43	7,77	8,27	7,86	8,19	8,61	8,91	8,20	7,95	8,46	8,29	8,38	6,0

Розрахунок виконано для суміші крупи рисової, гречаної ядриці, пшоно та гороху.

Створюємо матрицю А та вектор В, що відповідають значенням таблиці.

ORIGIN := 1

$$A := \begin{pmatrix} 6 & 4.34 & 4.3 & 4.76 & 4.68 & 4.09 & 5.09 & 4.8 & 4.94 & 5.29 & 4.93 & 5.33 \\ 4.71 & 3.67 & 3.62 & 4.37 & 3.65 & 3.74 & 3.62 & 4.65 & 4.94 & 4.25 & 5.32 & 4.9 \\ 8.86 & 6.96 & 6.36 & 7.86 & 5.91 & 13.34 & 5.77 & 5.1 & 13.25 & 7.88 & 8.05 & 8.29 \\ 3.71 & 3.21 & 3.82 & 2.48 & 4.21 & 2.5 & 3.82 & 3.5 & 2.53 & 7.17 & 7.56 & 7.57 \\ 4.24 & 3.66 & 3.36 & 3.64 & 5.16 & 4.14 & 3.67 & 3.6 & 3.01 & 2.13 & 2.71 & 2.05 \\ 3.43 & 3.48 & 3.18 & 3.06 & 3.17 & 3.48 & 3.45 & 2.5 & 2.41 & 4 & 4.1 & 4.14 \\ 1.43 & 1.34 & 1.55 & 1.07 & 1.43 & 1.57 & 1.77 & 1.2 & 0.72 & 0.92 & 1.27 & 1.24 \\ 9.43 & 7.77 & 8.27 & 7.86 & 8.19 & 8.61 & 8.91 & 8.2 & 7.95 & 8.46 & 8.29 & 8.38 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 5.0 \\ 4.0 \\ 7.0 \\ 5.5 \\ 3.5 \\ 4.0 \\ 1.0 \\ 6.0 \end{pmatrix}$$

Вводимо кількість компонентів у суміші:

$n := 4$

У відповідні  $k_1, k_2, \dots, k_{12}$  вводимо відповідні номери компонентів (в порядку збільшення):

$$k_1 := 1 \quad k_2 := 5 \quad k_3 := 6 \quad k_4 := 12 \quad k_5 := 0 \quad k_6 := 0$$

$$k_7 := 0 \quad k_8 := 0 \quad k_9 := 0 \quad k_{10} := 0 \quad k_{11} := 0 \quad k_{12} := 0$$

Створюємо матрицю С, що відповідає значенням незамінних амінокислот для введених компонентів; вектор D, що відповідає середнім значенням кожної незамінної амінокислоти для

введених компонентів; формуємо вектор BD як різницю між значеннями потреб людини (вектор B) та середніми значеннями (вектор D) кожної незамінної амінокислоти для введених компонентів; формуємо вектор N\_BD:

$$\begin{array}{l}
 C := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..n \\ \left| \begin{array}{l} m \leftarrow k_i \\ C^{(i)} \leftarrow A^{(m)} \end{array} \right. \\ C \end{array} \right. \\
 \\
 BD := B - D \\
 \\
 N\_BD := \text{reverse}(\text{sort}(BD)) \\
 \\
 D := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1.. \text{rows}(C) \\ \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 1.. \text{cols}(C) \\ \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + C_{i,j} \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ sa \leftarrow \frac{s}{k} \\ D_i \leftarrow sa \end{array} \right. \\ D \end{array} \right.
 \end{array}$$

Знаходимо основні лімітуючі незамінні амінокислоти в цій композиції (вектор R):

$$\begin{array}{l}
 R := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..n \\ \left| \begin{array}{l} k \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 1.. \text{rows}(BD) \\ \left| \begin{array}{l} k \leftarrow j \text{ if } BD_j = N\_BD_i \\ R_i \leftarrow k \end{array} \right. \end{array} \right. \\ R \end{array} \right. \quad R = \begin{pmatrix} 4 \\ 6 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Для даної суміші (крупа рисова, гречана ядриця, пшоно та горох) лімітуючі незамінні амінокислоти – це лізин (4), треонін (6), валін(1), ізолейцин (2).

Формуємо матрицю C4 із коефіцієнтів основних лімітуючих незамінних амінокислот цієї композиції, вектор B4 із коефіцієнтів відповідних значень потреб людини та розв'язуємо систему рівнянь відносно основних лімітуючих незамінних амінокислот:

$$\begin{array}{l}
 C4 := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..n \\ \left| \begin{array}{l} m \leftarrow R_i \\ C1^{(i)} \leftarrow (C^T)^{(m)} \end{array} \right. \\ C1^T \end{array} \right. \\
 \\
 B4 := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..n \\ \left| \begin{array}{l} m \leftarrow R_i \\ B4_i \leftarrow B_m \end{array} \right. \\ B4 \end{array} \right. \\
 \\
 x := \text{lsolve}(C4, B4) \\
 \\
 C4 = \begin{pmatrix} 3.71 & 4.21 & 2.5 & 7.57 \\ 3.43 & 3.17 & 3.48 & 4.14 \\ 6 & 4.68 & 4.09 & 5.33 \\ 4.71 & 3.65 & 3.74 & 4.9 \end{pmatrix} \quad B4 = \begin{pmatrix} 5.5 \\ 4 \\ 5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} -0.724 \\ 1.803 \\ 0.21 \\ 9.702 \times 10^{-3} \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Отримуємо значення вмісту незамінних амінокислот (г/100 г білка) вектор P; розраховуємо амінокислотний СКОР, що дорівнює відношенню кількості амінокислоти в 100 г білка продукту до кількості тієї ж амінокислоти в 100 г ідеального білка, і отримуємо значення в %:

$$P := C \cdot x$$

$$P1 := \begin{cases} \text{for } j \in 1.. \text{rows}(B) \\ P1_j \leftarrow \frac{P_j}{B_j} \cdot 100 \\ P1 \end{cases}$$

$$P = \begin{pmatrix} 5 \\ 4 \\ 7.113 \\ 5.5 \\ 7.119 \\ 4 \\ 1.883 \\ 9.82 \end{pmatrix}$$

$$P1 = \begin{pmatrix} 100 \\ 100 \\ 101.62 \\ 100 \\ 203.4 \\ 100 \\ 188.333 \\ 163.673 \end{pmatrix}$$

Згідно із запропонованою рецептурною композицією в продукті відсутній дефіцит незамінних амінокислот, тобто він має високу біологічну цінність.

Аналогічно виконуємо розрахунки для суміші пшениці, гречаної ядриці, крупи кукурудзяної та квасолі.

Склад одержаних композицій підлягав кореляції, враховуючи особливості технології екструдювання та органолептичні показники готових екструдатів.

Відповідні номери компонентів суміші пшениці, гречаної ядриці, крупи кукурудзяної та квасолі:

$$k_1 := 2 \quad k_2 := 5 \quad k_3 := 9 \quad k_4 := 12 \quad k_5 := 0 \quad k_6 := 0$$

$$k_7 := 0 \quad k_8 := 0 \quad k_9 := 0 \quad k_{10} := 0 \quad k_{11} := 0 \quad k_{12} := 0$$

Вектор R, що відповідає основним лімітуючим незамінним амінокислотам в композиції для суміші пшениці, гречаної ядриці, крупи кукурудзяної та квасолі:

$$R = \begin{pmatrix} 4 \\ 6 \\ 1 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Для даної суміші (пшениця, гречана ядриця, крупа кукурудзяна, квасоля) лімітуючи незамінні амінокислоти – це лізин (4), треонін (6), валін(1), метіонін+цистин (5).

Сформовані матриця C4 із коефіцієнтів основних лімітуючих незамінних амінокислот цієї композиції, вектор B4 із коефіцієнтів відповідних значень потреб людини та розв'язок системи рівнянь відносно основних лімітуючих незамінних амінокислот представлені нижче.

$$C4 = \begin{pmatrix} 3.21 & 4.21 & 2.53 & 7.57 \\ 3.48 & 3.17 & 2.41 & 4.14 \\ 4.34 & 4.68 & 4.94 & 5.33 \\ 3.66 & 5.16 & 3.01 & 2.05 \end{pmatrix}$$

$$B4 = \begin{pmatrix} 5.5 \\ 4 \\ 5 \\ 3.5 \end{pmatrix}$$

$$x := \text{Isolve}(C4, B4)$$

$$x = \begin{pmatrix} 0.544 \\ 0.18 \\ -0.099 \\ 0.429 \end{pmatrix}$$

Розраховані значення вмісту незамінних амінокислот (г/100 г білка) та амінокислотний СКОР представлені нижче у вигляді векторів P і P1.

$$P = \begin{pmatrix} 5 \\ 4.266 \\ 7.095 \\ 5.5 \\ 3.5 \\ 4 \\ 1.446 \\ 8.507 \end{pmatrix} \quad P1 = \begin{pmatrix} 100 \\ 106.652 \\ 101.363 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 144.648 \\ 141.786 \end{pmatrix}$$

Згідно із запропонованою рецептурною композицією, в продукті відсутній дефіцит незамінних амінокислот, тобто він має високу біологічну цінність.

Склад одержаних композицій підлягає кореляції, враховуючи особливості технології екструдювання та органолептичні показники готових екструдатів.

Згідно розрахованих векторів P1 для суміші 1 та суміші 2 можна зробити висновок, що отримані рецептурні композиції повністю збалансовані за амінокислотним СКОРом.

Згідно з вищевикладеного матеріалу можна зробити висновок, що використовуючи комп'ютерне програмування можна створювати рецептурні композиції підвищеної харчової цінності.

### Література

1. Гурский Д. А., Турбина Е. С. Вычисления в MathCad 12. – СПб.: Питер, 2006.
2. Дьяконов В. П. Справочник по MATHCAD 7.0 PRO. М.: СК-ПРЕСС, 1998. 785 с.
3. Ковбаса В. М., Терлецька В. А., Єгорова І. К. Розробка продуктів екструзійної технології з використанням пророщеного зерна. — К.: УкрІНТЕІ, 1996. — 20 с.
4. Химический состав пищевых продуктов. Книга 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. И. М. Скурихина и М. Н. Волгарева. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1987. – 360 с.

### Computer Support development of recipes for foods hightemperature extrusion

*Zapototskaya E., Seidykh O., Kovbasa V.*

*National University of food technologies, Kyiv, Ukraine*

*The article explored the possibility of creating programming by prescription extrusion products taking into account technological properties of materials.*

**Keywords:** *modeling, extrusion products, beans, peas, recipe programming.*