

Ж.А. Крутовий¹, Г.В. Запаренко¹, Л.О. Касілова¹, О.В. Нємірч², А.В. Гавриш²

¹ Харківський державний університет харчування та торгівлі, Харків

² Національний університет харчових технологій, Київ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУРНОЇ КОМПОЗИЦІЇ КЕКСУ ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ



Спроековано рецептурний склад кексу з максимально можливим вмістом ретинолу. Виріб, збагачений марганцем, вітамінами D і групи B, характеризується збалансованим вмістом незамінних амінокислот.

Ключові слова: кекс, вітаміни, ретинол, рецептура, інгредієнти, оптимізація.

ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Неправильне харчування людей є однією з розповсюджених і найгостріших проблем сучасності. В Україні населення працездатного віку часто не має можливості отримувати повноцінне харчування за місцем роботи або навчання. Багато людей через це до складу своїх обідніх раціонів включають здобні вироби, які разом із гарячим напоєм складають основу обіднього прийому їжі. Така продукція придатна для відновлення енергетичних витрат людини та надання відчуття ситості, проте через недосконалий хімічний склад (відсутність фізіолого-функціональних нутрієнтів або їх незбалансованість) не може забезпечувати нормальне функціонування організму протягом тривалого часу. Отже, актуальною залишається проблема пошуку шляхів покращення харчування, зокрема створення рецептур страв з високою харчовою та біологічною цінністю.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На даний час праці багатьох науковців спрямовані на підвищення харчової цінності про-

дукції. У галузі виробництва хліба та інших борошняних виробів над цими проблемами результативно працюють вчені *В.І. Дробот, Л.М. Шатнюк, Р.Д. Поландова, Г.М. Лисюк, В.Ф. Доценко, К.Г. Іоргачова, В.А. Моргул* та ін. [1]. Проектування рецептур зазвичай здійснюється аналоговим способом — шляхом використання відомих технологій та нетрадиційних видів сировини або БАД, які є джерелами дефіцитних речовин. При цьому розробники приділяють увагу збагаченню майбутньої продукції здебільшого тільки одним нутрієнтом, а важливі умови збалансованості харчових речовин, які забезпечуються додержанням певних науково визначених співвідношень між окремими нутрієнтами тощо не враховуються. Такий підхід, як правило, характеризується низькою ефективністю, зокрема у випадку створення продукції оздоровчої або лікувальної дії. Нами запропоновано [6] альтернативний підхід до проектування харчової продукції, який дозволяє враховувати комплекс технологічних, фізіологічних та інших обмежень, що в свою чергу дає можливість створювати продукцію принципово нової якості з гарантовано високим вмістом важливих нутрієнтів у легкозасвоюваній формі. Підхід базується на

використанні математичного моделювання, математичних методів та комп'ютерних технологій для проектування як рецептур страв, так і раціонів харчування [2, 3] оздоровчого та лікувально-профілактичного напрямку. При цьому розробник визначає цільовий нутрієнт, збагачення яким є найважливішим, групу речовин, якими буде додатково збагачено виріб, а також групу речовин, співвідношення між якими забезпечить бажаний рівень засвоюваності виробу. Тобто харчова цінність майбутньої продукції розглядається багатовимірно.

Розглянемо математичне моделювання рецептурного складу здобного кексу, збагаченого вітамінами D, групи B, марганцем, зі збалансованим складом незамінних амінокислот і максимально можливим вмістом ретинолу. Збагачення кексів есенціальними нутрієнтами можливе як за умови використання медикаментозних препаратів, так і шляхом введення сировини, що за своїм хімічним складом характеризується високим вмістом вітаміну D, групи B, марганцю, ретинолу. Детальніше обґрунтуємо актуальність сформульованої задачі. Ретинол (вітамін A) належить до жиророзчинних вітамінів. Він відповідає за ріст клітин організму, функціонування зору, шкіри, слизових оболонок тощо. В Україні добова потреба в ретинолі складає 1 мг/людину. Джерела вітаміну A досить обмежені — це зазвичай продукти тваринного походження (печінка, риб'ячий жир, тверді сири тощо). З іншого боку, існує значна кількість провітамінів ретинолу — каротиноїдів, що розповсюджені у природі. Найефективнішим з них (з точки зору кількості синтезованого ретинолу) є β -каротин, 6 мкг якого еквівалентні 1 мкг вітаміну A [8]. Джерелом β -каротину є овочі та фрукти помаранчевого забарвлення, зелений горошок, яєчний жовток, вершкове масло, листяні овочі (петрушка, шпинат, салат) тощо. Хронічний дефіцит вітаміну A та β -каротину в раціонах харчування призводить до розладу діяльності багатьох органів і систем, зокрема до розвитку курячої сліпоти, порушення об-

мінних процесів у дихальних, травних, сечових шляхах, послаблення імунітету. Тому для проектування рецептур здобних виробів доцільно, на наш погляд, цільову функцію задачі формулювати як максимум суми ретинолу та β -каротину в ретиноловому еквіваленті (або коротко — максимум зведеного ретинолу).

Вітаміни групи B виконують важливі фізіологічні функції. Тіамін та рибофлавін підтримують нормальне функціонування нервової, серцево-судинної, травної систем. Холін характеризується ліпотропною дією. Вітаміни групи B покращують зір, регулюють обмін амінокислот, впливають на стан шкіри та слизових оболонок тощо. Вітамін D регулює обмін кальцію та фосфору, що впливає на стан кісткової тканини. Марганець разом з іншими мінералами стимулює кровотворення, бере участь в обміні жирів, впливає на репродуктивний стан здоров'я [8]. Незамінні амінокислоти у складі повноцінних білків є основним будівельним матеріалом для живих організмів. Окрім того, усі зазначені нутрієнти впливають на метаболізм кісткової тканини [5]. Тому вельми актуальною задачею є створення харчових продуктів підвищеної харчової та біологічної цінностей.

Нами була поставлена задача оптимізувати вміст інгредієнтів у рецептурі кексу з максимально можливою кількістю зведеного ретинолу. При цьому виріб повинен бути збагаченим марганцем, вітамінами D і групи B та характеризуватись збалансованим складом незамінних амінокислот.

ОСНОВНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Набір сировини для виробу, що проектується, обирали таким чином, щоб забезпечити високий вміст ретинолу та β -каротину в ретиноловому еквіваленті, збалансованість незамінних амінокислот, збагачення супутніми речовинами (вітамінами D, групи B, марганцем), а також необхідні органолептичні, фізико-хімічні та структурно-механічні показники продукції. Обрана сировина повинна також

бути достатньо технологічною та відносно дешевою, оскільки за умов посткризового стану економіки в Україні ціновий фактор продукції залишається для споживачів одним з визначальних. Перелік обраних інгредієнтів наведено нижче.

Прийняті позначення:

- x_i , $i = 1, 2, \dots, 13$ – невідома кількість сировини i -го виду (г);
- Y_j , $j = 1, 2, \dots, 19$ – вміст нутрієнта j -го виду в рецептурі (г);
- Y_1 – вміст вітаміну А в рецептурі (г);
- Y_2 – вміст β -каротину в рецептурі (г);
- Y_3 – Y_5 – вміст білків, жирів, вуглеводів в рецептурі відповідно (г);
- Y_6 – Y_8 – вміст вітамінів відповідно B_1, B_2, B_4 в рецептурі (г);
- Y_9 – вміст вітаміну D в рецептурі (г);
- Y_{10} – вміст марганцю в рецептурі (г);
- Y_{11} – Y_{18} – вміст незамінних амінокислот (відповідно триптофану, лейцину, ізолейцину, метіоніну, фенілаланіну, лізину, треоніну, валіну) у рецептурі (г);
- Y_{19} – енергетична цінність виробу (ккал);
- a_{ij} – вміст нутрієнта j -го виду в 1 г i -го інгредієнта (г);
- λ_i – вміст води у 1 г i -го інгредієнта (г);
- Y_j^{dn} , $j = 1, 2, \dots, 19$ – добова потреба у j -му нутрієнті (г).

Математична модель оптимізації вмісту інгредієнтів у рецептурі кексу здобного із встановленими числовими параметрами має вигляд:

Найменування сировини	Технологічні обмеження (z)
1. Борошно пшеничне 1/г	$380 \leq x_1 \leq 400$ (1)
2. Кефір 2,5%-ї жирності	$200 \leq x_2 \leq 220$ (2)
3. Цукор білий	$115 \leq x_3 \leq 130$ (3)
4. Яйця курячі	$80 \leq x_4 \leq 120$ (4)
5. Сіль кухонна	$1 \leq x_5 \leq 1,5$ (5)
6. Дріжджі пресовані	$16 \leq x_6 \leq 30$ (6)
7. Олія соняшникова	$10 \leq x_7 \leq 15$ (7)
8. Масло вершкове селянське несолене 72,5%-ї жирності	$10 \leq x_8 \leq 15$ (8)
9. Сир к/м 18%-ї жирності	$50 \leq x_9 \leq 80$ (9)
10. Вода питна	$0 \leq x_{10} \leq 150$ (10)
11. Морква	$20 \leq x_{11} \leq 50$ (11)
12. Родзинки	$15 \leq x_{12} \leq 50$ (12)
13. Яблука	$15 \leq x_{14} \leq 50$ (13)

Обмеження на сумарний вміст інгредієнтів у рецептурі:

$$\sum_{i=1}^{13} x_i = 1000. \quad (14)$$

Технологічні умови забезпечення необхідного вмісту вологи в тісті:

$$0,42 \sum_{i=1}^{13} x_i \leq \sum_{i=1}^{13} \lambda_i \cdot x_i \leq 0,46 \sum_{i=1}^{13} x_i. \quad (15)$$

Співвідношення для визначення величин Y_j :

$$Y_j = \sum_{i=1}^{13} a_{ij} \cdot x_i, j = \overline{1,19}. \quad (16)$$

Фізіологічні обмеження на відношення вмісту незамінних амінокислот:

$$\text{триптофану до ізолейцину} \quad 0,25 \leq \frac{Y_{11}}{Y_{13}} \leq 0,33; \quad (17)$$

$$\text{триптофану до фенілаланіну} \quad 0,25 \leq \frac{Y_{11}}{Y_{15}} \leq 0,50; \quad (18)$$

$$\text{триптофану до лізину} \quad 0,20 \leq \frac{Y_{11}}{Y_{16}} \leq 0,33; \quad (19)$$

$$\text{триптофану до треоніну} \quad 0,33 \leq \frac{Y_{11}}{Y_{17}} \leq 0,50; \quad (20)$$

$$\text{триптофану до валіну} \quad 0,25 \leq \frac{Y_{11}}{Y_{18}} \leq 0,33. \quad (21)$$

Числові значення коефіцієнтів у нерівностях (17–21) визначені виходячи із рекомендованих норм споживання амінокислот для дорослих людей [4], які забезпечують їх збалансованість.

Додаткові умови збагачення нутрієнтами виробу, що проектується, у відсотках відносно добової потреби:

$$\text{збагачення вітаміном } B_1 \quad \frac{10}{Y_6^{dn}} \sum_{i=1}^{13} a_{i6} \cdot x_i \geq 10 \%; \quad (22)$$

$$\text{збагачення вітаміном } B_2 \quad \frac{10}{Y_7^{dn}} \sum_{i=1}^{13} a_{i7} \cdot x_i \geq 10 \%; \quad (23)$$

$$\text{збагачення вітаміном } B_4 \quad \frac{10}{Y_8^{dn}} \sum_{i=1}^{13} a_{i8} \cdot x_i \geq 10 \%; \quad (24)$$

$$\text{збагачення вітаміном D} \quad \frac{10}{Y_9^{dn}} \sum_{i=1}^{13} a_{i9} \cdot x_i \geq 10 \%; \quad (25)$$

$$\text{збагачення марганцем} \quad \frac{10}{Y_{10}^{dn}} \sum_{i=1}^{13} a_{i10} \cdot x_i \geq 10 \%. \quad (26)$$

Враховуючи, що біологічна активність каротинів менша за активність ретинолу [9], при переведенні перших у ретинол їх вміст ділять на 6. Окрім того, не менше третьої частини за-

гальної кількості ретинолу повинна забезпечуватися за рахунок власне вітаміну А.

Таким чином, виникає необхідність введення додаткового фізіологічного обмеження:

$$Y_1 \geq \frac{1}{3} \left[Y_1 + \frac{1}{6} Y_2 \right] \text{ або } Y_1 \geq \frac{1}{12} Y_2, \\ \text{або } \sum_{i=1}^{13} a_{i1} \cdot x_i \geq \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{13} a_{i2} \cdot x_i. \quad (27)$$

Отже, цільову функцію доцільно вибрати таким чином:

$$Z = Y_1 + \frac{1}{6} Y_2 = \sum_{i=1}^{13} a_{i1} \cdot x_i + \frac{1}{6} \sum_{i=1}^{13} a_{i2} \cdot x_i \rightarrow \max. \quad (28)$$

Задача оптимізації вмісту інгредієнтів у виробі, що проектується, полягає у визначенні вектора $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_{13})$, який максимізує ці-

льову функцію (28) за умови, що координати цього вектора задовольняють системам нерівностей та рівнянь (1–27). Оптимальний розв'язок поставленої задачі отримано симплексним методом в системі MathCAD.

Рецептурний склад kekcy забезпечує 13,26 % добової потреби у зведеному ретинолі на кожні 100 г виробу. Порівняльну характеристику харчової цінності виробу, який можна виготовити за створеною рецептурою та традиційно, наведено в табл. 1.

Енергетична цінність 100 г нового виробу становить 285 ккал. Ступінь збалансованості незамінних амінокислот, забезпечений новою рецептурою, наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Харчова цінність 100 г kekcy здобного вітамінізованого

Нутрієнт	Новий виріб		Кекс «Майський»	
	Вміст у 100 г	Рівень забезпечення добової потреби, %	Вміст у 100 г	Рівень забезпечення добової потреби, %
Зведений ретинол, мг	0,133	13,26	0,078	7,78
Вітамін А, мг	0,055	5,5	0,072	7,15
β-каротин, мг	0,47	7,75	0,037	0,62
Тіамін В ₁ , мг	0,13	10,30	0,11	8,82
Рибофлавін В ₂ , мг	0,15	9,80	0,11	7,03
Холін В ₄ , г	0,07	11,67	0,02	3,78
Білки, г	7,33	9,41	6,89	8,83
Жири, г	5,02	6,36	8,79	11,13
Вуглеводи, г	40,95	8,98	57,91	12,70
Марганець, мг	0,56	11,22	0,40	8,05
Вітамін D, мкг	0,58	23,08	0,55	22,12

Таблиця 2

Основні фізіологічні відношення вмісту незамінних амінокислот, забезпечені запропонованою рецептурою kekcy

Відношення триптофану до незамінних амінокислот	Величина відношення для нового виробу	Величина відношення для kekcy «Майський»	Межі діапазону рекомендованих відношень триптофану до незамінних амінокислот [4]	
			мінімум	максимум
Ізолейцину	0,264	0,140	0,25	0,33
Фенілаланіну	0,250	0,268	0,25	0,50
Лізіну	0,276	0,723	0,20	0,33
Валіну	0,253	0,231	0,25	0,33
Треоніну	0,345	0,337	0,33	0,50
Лейцину	0,156	0,347	0,17	0,25
Метіоніну	0,610	0,273	0,25	0,50

Видно, що співвідношення між п'ятьма незамінними амінокислотами (ізолейцином, фенілаланіном, лізином, валіном та треоніном) належать до науково обґрунтованих інтервалів, рекомендованих фізіологами харчування [4], а для решти — відношення близькі до рекомендованих норм для дорослої людини. Для порівняння ефективності проектування виробів із застосуванням альтернативного підходу у табл. 1 наведено аналогічні показники для традиційного виробу кекс «Майський».

ВИСНОВКИ

1. Розроблено математичну модель оптимізації складу інгредієнтів у рецептурі кексу з максимальним вмістом зведеного ретинолу. При цьому модель містить умови збагачення виробу марганцем та низкою необхідних вітамінів, а також умови збалансування незамінних амінокислот.

2. У результаті розв'язання сформульованої задачі, здійсненої симплексним методом у системі MathCAD, створено проект рецептури виробу, який забезпечує добову потребу у зведеному ретинолі на 13,26 % (за умови споживання 100 г продукції), у марганці — на 11,22 %, у вітаміні D — на 23,08 %, у вітамінах групи B (тіаміні, рибофлавіні, холіні) в середньому на 10,76 % та характеризується збалансованим вмістом незамінних амінокислот.

3. Запропонований виріб завдяки своїм параметрам харчової та біологічної цінності може бути використаний для створення раціонів харчування для профілактики та лікування захворювань, що виникають на тлі дефіциту кальцію. Реалізація рішення цієї задачі потребує подальшої апробації.

Одержані результати наочно ілюструють ефективність альтернативного способу проектування рецептур виробів з наперед заданою низкою вимог до харчової та біологічної цінності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій / Міністерство освіти і науки України. — Одеса: 2012. — Вип. 42. — Том 2. — 583 с.
2. Крутовий Ж.А., Манжос Н.В., Запаренко Г.В. Оптимізація вмісту інгредієнтів у раціонах одноразового споживання з високим вмістом кальцію // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного

- господарства і торгівлі / Зб-к наук. праць ХДУХТ. — Х., 2011. — Вип. 1 (13) — С. 390—397.
3. Михайлов В.М., Крутовий Ж.А. та ін. Математичне моделювання раціонів харчування, що містять збалансований кальцій // Обладнання та технології харчових виробництв / Зб-к наук. праць Донецького нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. — Донецьк, 2011. — С. 105—110.
 4. Павлоцька Л.Ф., Дуденко Н.В., Левітін Є.Я. та ін. Фізіологія харчування / Підручник. — Суми: Університетська книга, 2011. — 473 с.
 5. Поворознюк В.В., Григорьева Н.В., Григоров Ю.Г., Семеско Т.Н. Фактическое питание и метаболизм костной ткани / Под ред. Н.А. Коржа, В.В. Поворознюка, Н.В. Дедух, И.А. Зупанца. — Харьков: Золотые страницы, 2002. — С. 410—424.
 6. Крутовий Ж.А., Запаренко Г.В. Про альтернативний підхід до проектування рецептур хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг : Міжнар. наук.-практ. конфер., 18 жовтня 2012 р. — Харків: ХДУХТ, 2012. — Ч. 1. — С. 48—49.
 7. Гігієна харчування з основами нутріціології // Підручник у 2 кн. — Кн. 1 / За ред проф. В. І. Ципріяна. — К.: Медицина, 2007. — 528 с.
 8. Химический состав российских пищевых продуктов // Справочник / Под ред. проф. И.М. Скурихина и проф. В.А. Тутельяна. — М.: ДеЛи принт, 2002. — 236 с.
 9. Дуденко Н.В., Павлоцька Л.Ф. Фізіологія харчування / Навч. посібник — Харків: Торнадо, 2003. — 407 с.

Ж.А. Крутовой, А.В. Запаренко,
Л.А. Касилова, А.В. Немирич, А.В. Гавриш

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ КЕКСА ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

Спроектирован рецептурный состав кекса с максимальным возможным содержанием ретинола. Изделие, обогащённое марганцем, витамином D и группы B, характеризуется сбалансированным содержанием незаменимых аминокислот.

Ключевые слова: кекс, витамины, ретинол, рецептура, ингредиенты, оптимизация.

G.A. Krutovyi, G.V. Zaparenko,
L.O. Kasilova, O.V. Nemirich, A.V. Gavrish

MATHEMATICAL MODELING OF PRESCRIPTION COMPOSITION OF CUPCAKE WITH HIGH NUTRITIONAL VALUE

The recipe composition of cake with maximal possible content of retinol is worked out. The product enriched with manganese, vitamin D and B-group vitamins is characterized by balanced content of essential amino acids.

Key words: cake, vitamins, retinol, recipes, ingredients, optimization.

Стаття надійшла до редакції 28.01.13