

УДК 664.66.022.39

Л.Ю. АРСЕНЬЄВА, д.т.н., проф

Національний університет харчових технологій

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ ВИДІВ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ЗІ ЗБАЛАНСОВАНИМ ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ

Хліб є полікомпонентним продуктом, проте його харчова цінність практично повністю визначається хімічним складом борошна. Саме тому традиційні сорти хліба, передусім з рафінованого борошна низьких виходів, характеризуються невисокою харчовою цінністю – обмеженим використанням білка на анаболічні цілі через низький вміст лізину й треоніну, надмірною кількістю вуглеводів, незбалансованим співвідношенням основних мінеральних елементів: кальцію, магнію, фосфору, калію, дуже низьким вмістом йоду, селену, засвоєного заліза, недостатньою кількістю вітамінів, зокрема фолієвої кислоти. На харчову цінність хлібобулочних виробів значною мірою може впливати додаткова сировина, а саме збалансованість її хімічного складу за основними інгредієнтами, потенційна здатність компенсувати нестачу окремих нутрієнтів у складі готових виробів з борошна різних сортів.

Хімічний склад хлібобулочних виробів може бути визначений розрахунковим способом. Дотепер найточніший розрахунок хімічного складу хліба здійснювався за методикою, розробленою ВНДІХП у 1980 р. [3]. Ця методика передбачає використання складного математичного апарату, що робить процес розрахунку трудомістким і довготривалим. Використання цього розрахункового методу для проектування нових рецептур хлібобулочних виробів зі збалансованим хімічним складом без використання обчислювальної техніки неможливе.

Аналітична оцінка одержаних результатів потребує наявності

об'єктивних критеріїв збалансованості за своїм складом основних полікомпонентних нутрієнтів: білків і ліпідів, яких тепер немає.

Таким чином, розроблення хлібобулочних виробів підвищеної харчової (біологічної, мінеральної, вітамінної) цінності на основі аналітичної оцінки кількості та якості нутрієнтів, що входять до їхнього складу, потребує розроблення відповідної методології.

В останні десятиліття широко обговорюються принципи проектування комбінованих харчових продуктів, переважно продукції м'ясопереробної промисловості, з необхідним комплексом показників харчової цінності на основі використання методів обчислювальної математики [2, 4, 6, 7, 9, 11] і можливостей комп'ютерних технологій [6, 12].

У хлібопекарській галузі можуть бути використані лише основні методологічні принципи цих розробок, оскільки на хімічний склад хлібобулочних виробів окрім рецептурного складу значною мірою впливає величина виходу готової продукції, яка залежить від сорту борошна, вологості та маси виробу, організації технологічного процесу на конкретному виробництві, виду обладнання для зберігання та підготовки сировини, типу печей, хлібосховища та багатьох інших чинників.

Основним принципом методологічного підходу до проектування нових рецептур завжди є виділення ключового нутрієнта, моделювання та оптимізація його якості. Цим ключовим нутрієнтом окремих харчових продуктів і багатоконпонентних композицій у наведених вище працях обиралась, як правило, їхня білкова [2, 7, 9] або ліпідна (значно рідше) [11] складова.

На основі вивчення досвіду проектування харчових продуктів із заданим хімічним складом ми сформулювали основні принципи проектування рецептур хлібобулочних виробів зі збалансованим хімічним складом таким чином:

1. Вміст білкової складової у хлібі має бути максимально можливим.
2. Амінокислотний склад білкової складової хліба має бути максимально збалансованим.
3. Співвідношення окремих фракцій жирних кислот (насичених, мононена-

сичених, поліненасичених) у складі ліпідної компоненти хліба має максимально наближатися до рекомендованого з позицій біологічної ефективності.

4. Співвідношення основних мінеральних елементів: кальцію, фосфору, калію, магнію має наближатися до оптимального.

Слід зазначити, що ці принципи базуються на припущенні повної біологічної деградації та засвоєння основних високомолекулярних і міnorних складових хліба. Це висуває вимогу максимального зниження активності інгібіторів протеаз шлунково-кишкового тракту людини, які містяться в насінні бобових, у разі використання продуктів його перероблення як сировини для виробництва хліба, а також вимогу вибору для фортифікації хліба мікронутрієнтами лише носіїв, що характеризуються максимальною засвоюваністю.

Головний принцип і критерій для оцінки якості проектування *амінокислотного складу білка хліба*, як і будь-якого харчового продукту, полягає у тому, що масові частки амінокислот A_{k_i} у складі білкової компоненти та їх співвідношення є оптимальними, коли максимальна частка незамінних амінокислот білка використовується на анаболічні цілі без деградації для біосинтезу замінних амінокислот або – що є ще більш небажаним – біологічного окиснення для компенсації енерговитрат організму.

Коефіцієнт утилітарності i -ї незамінної амінокислоти у складі білка хліба (у частках одиниці) визначається за формулою

$$\alpha = C_{k_{\min}} / C_{k_i}, \quad (1)$$

де $C_{k_{\min}}$ – мінімальний скор серед скорів незамінних амінокислот білка, що оцінюється, тобто скор першої лімітуючої незамінної амінокислоти; C_{k_i} – скор i -ї незамінної амінокислоти по відношенню до фізіологічно необхідної норми (еталону, або „ідеального” білка), що виражається у частках одиниці та розраховується за формулою

$$C_{k_i} = A_{k_i} / A_{k_i}^{\text{ет}}, \quad (2)$$

де A_{k_i} – масова частка i -ї незамінної амінокислоти в 1 г білка продукту, мг; $A_{k_i}^{\text{ет}}$ – масова частка i -ї незамінної амінокислоти в 1 г „еталонного” білка, мг (табл. 1).

Склад „еталонного” білка, мг/г [7]

Незамінна амінокислота	Групи населення			
	Дорослі (1973 р.)	Діти 2...5 років (1985 р.)	Діти 10...12 років (1985 р.)	Підлітки (1985 р.)
Ізолейцин	40	28	28	13
Лейцин	70	66	44	19
Лізин	55	58	44	16
Метіонін + цистин	35	25	22	17
Фенілаланін + тирозин	60	63	22	19
Треонін	40	34	28	9
Триптофан	10	11	9	5
Валін	50	35	25	13

На основі відомого принципу Мітчела–Блока [14] про домінуючий вплив першої лімітуючої незамінної амінокислоти на ступінь утилізації решти незамінних амінокислот чисельну характеристику засвоюваності незамінних амінокислот білка можна отримати за допомогою коефіцієнта їхньої утилітарності φ [1], що виражається у частках одиниці:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^8 A_{K_i} \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^8 A_{K_i}}, \quad (3)$$

або з урахуванням формул (1) і (2)

$$\varphi = \frac{8C_{K_{\min}}}{\sum_{i=1}^8 C_{K_i}}. \quad (4)$$

У разі коли $C_{K_{\min}} = 1$, формула (4) має вигляд

$$\varphi = \frac{8}{\sum_{i=1}^8 C_{K_i}}. \quad (3.5)$$

Найчастіше значення $C_{K_{\min}}$ менше від одиниці (скорю відповідної амінокислоти „еталонного” білка) на величину $(1 - C_{K_{\min}})$, що характеризує максимальний кількісний дефіцит незамінних амінокислот у складі досліджуваного білка. У разі коли $C_{K_{\min}}$ переважає одиницю, величина $(1 - C_{K_{\min}})$ характеризує мі-

німальний надлишок першої лімітуючої незамінної амінокислоти. У цьому разі показник φ за формулою (4) не зовсім правильно характеризує якість білка, тобто його збалансованість і ступінь засвоюваності. Відносний надлишок незамінних амінокислот може бути визначений за формулою [7]

$$N = \frac{\sum_{i=1}^8 (A_{K_i} - C_{K_i} A_{K_i}^{et})}{C_{K_{min}}}. \quad (6)$$

Якісна оцінка білка відносно „еталонного” білка за допомогою наведених формалізованих показників полягає у тому, що чим більше показник φ (в ідеалі $\varphi = 1$) і чим менше показник N (в ідеалі $N = 0$), тим краще збалансовані незамінні амінокислоти і тим раціональніше вони використовуються в організмі.

Зазначені умови враховані нами у наведеному нижче комплексному виразі для розрахунку кількісного **індексу якості білкової складової хліба I_6** в частках одиниці (в ідеалі $I_6 = 1$):

$$I_6 = \begin{cases} 1 - (1 - C_{K_{min}}) \cdot \frac{8C_{K_{min}}}{\sum_{i=1}^8 C_{K_i}}, & 0 < C_{K_{min}} < 1, C_{K_{min}} > 1; \\ \frac{8}{\sum_{i=1}^8 C_{K_i}}, & C_{K_i} = 1. \end{cases} \quad (7)$$

Слід зазначити, що індекс якості білкової складової I_6 хліба відображає інформацію про якісну та кількісну відмінність амінограми досліджуваного білка від амінограми „ідеального” білка за умови, що досліджуваний білок містить повний набір незамінних амінокислот, тобто $C_{K_{min}} \neq 0$.

Подібний вираз „для аналітичного розрахунку кількісного індексу білкової складової” харчових продуктів під назвою „індекс ψ ” було отримано в МТІММП А.Н. Михайловим [9]:

$$\psi = \begin{cases} 1 + (C_k - 1) \frac{8C_k}{\sum_{j=1}^8 C_j}, & 0 < C_k < 1, C_k > 1; \\ \frac{8}{\sum_{j=1}^8 C_j}, & C_k = 1, \end{cases} \quad (8)$$

де $C_k = C_{k_{\min}}$, $C_j = C_{k_j}$.

Автором розробки [9] проведено порівняльний аналіз ступеня відповідності аналітичних характеристик якості білкової складової деяких традиційних харчових продуктів, визначених за методом амінокислотного скору, за показниками ϕ (формула (3)) та ψ (формула (8)), природній класифікації, яка базується на всебічному вивченні біологічної цінності білків обраних для порівняння продуктів за допомогою експериментальних досліджень. Показано, що результати розрахунків за показником ψ забезпечують „більш упорядковане розташування харчових об'єктів відносно загальноприйнятої класифікації”, ніж інші методи. Це є додатковим, хоч і непрямим підтвердженням достовірності результатів оцінювання якості білкової складової харчових продуктів, зокрема хлібобулочних виробів, за допомогою індексу якості білкової складової I_6 за формулою (7).

Для оцінки якості *ліпідної компоненти харчових продуктів* серед дослідників та розробників, що проектують продукти і раціони харчування із заданою харчовою цінністю, прийнято не зовсім коректний, на нашу думку, термін „біологічна ефективність” [11, 12]. Запропоновано коефіцієнт біологічної ефективності Ψ [11], який, за твердженням авторів, ілюструє ступінь засвоєння ліпиду і відповідності його фракційного складу потребам здорового організму і може бути розрахований за формулою

$$\Psi = \frac{3 \cdot C_{k_{\min}}^{\text{жк}}}{\sum_{i=1}^3 C_{k_i}^{\text{жк}}}, \quad (9)$$

де $C_{k_{\min}}^{\text{жк}}$ – мінімальний скор серед скорів окремих жирнокислотних фракцій оцінюваного ліпиду; $C_{k_i}^{\text{жк}}$ – скор i -ї фракції жирних кислот відносно фізіологічно необхідної норми (еталону, або „ідеального” ліпиду), що виражається у частках одиниці та розраховується за формулою

$$C_{k_i}^{\text{жк}} = \frac{Ж_{k_i}}{Ж_{k_i}^{\text{ет}}}, \quad (10)$$

де $Ж_{k_i}$ – вміст окремої фракції жирних кислот у досліджуваному ліпіді, г/100 г;

Jk_i^{et} – вміст тієї ж фракції в „еталонному” ліпіді, г/100 г.

Формула (9) передбачає наявність у складі ліпиду трьох фракцій: фракції насичених жирних кислот (НЖК), поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) і олеїнової кислоти, або фракції мононенасичених кислот (МНЖК). У багатьох попередніх роботах [11, 12] співвідношення цих жирнокислотних фракцій НЖК:ПНЖК:МНЖК в „еталонному” ліпіді брали таким: 3:1:6.

У роботі відомого українського біохіміка А.П. Левицького „Идеальная формула жирового питания” (2002 р.) [5] обґрунтовується необхідність врахування окремих фракцій поліненасичених жирних кислот груп ω -3 (ліноленова, ейкозапентаєнова, докозагексаєнова) і ω -6 (лінолева, арахідонова) зі співвідношенням між цими фракціями 1 : 4 і пропонується така ідеальна формула жирнокислотного складу харчового жиру для людини, %:

$$\text{НЖК} : \text{ПНЖК}_{\omega-3} : \text{ПНЖК}_{\omega-6} : \text{МНЖК} = 23,0 : 1,6 : 6,4 : 69,0.$$

В Інституті харчування РАМН під науковим керівництвом академіка РАМН М.Н. Волгарьова (1998 р.) досліджено вплив співвідношення поліненасичених жирних кислот груп ω -3 і ω -6 на стан імунної системи організму. Рациональним співвідношенням визнано 1 : 6 [10].

Проф. В.І. Смоляр (2004 р.) у рецензії на книгу А.П. Левицького [13] з посиланням на експертів ВООЗ стверджує, що жирова складова щоденного раціону має забезпечувати не більше ніж 30 % потреби в енергії, зокрема у рівних кількостях (по 10 % потреби в енергії) окремі фракції жирних кислот, тобто $\text{НЖК} : \text{ПНЖК} : \text{МНЖК} = 1 : 1 : 1$. Співвідношення окремих груп ПНЖК ω -6: ω -3, вказане А.П. Левицьким як 4:1, В.І. Смоляр вважає помилковим, а як правильне вказує співвідношення 10:1. Подібний склад „ідеального” ліпиду вказано також в інших публікаціях (2003 р.) [8]; він є базовим для розроблення норм фізіологічних потреб населення Росії в основних харчових речовинах і енергії. На підставі цих відомостей у подальших розрахунках брали таке фракційне співвідношення в жирнокислотній складовій „еталонного” ліпиду, г/100 г жирних кислот:

$$\text{НЖК} : \text{ПНЖК}_{\omega-6} : \text{ПНЖК}_{\omega-3} : \text{МНЖК} = 33,5 : 30,0 : 3,0 : 33,5. \quad (11)$$

Комплексний вираз для розрахунку кількісного **індексу якості ліпідної складової хліба** I_L (в частках одиниці) за аналогією з розрахунком індексу якості білкової складової хліба I_6 за формулою (7) має такий вигляд:

$$I_L = \begin{cases} 1 - (1 - C_{\min}^{\text{жк}}) \frac{4C_{\min}^{\text{жк}}}{\sum_{i=1}^4 C_{i}^{\text{жк}}}, & 0 < C_{\min}^{\text{жк}} < 1, C_{\min}^{\text{жк}} > 1; \\ \frac{4}{\sum_{i=1}^4 C_{i}^{\text{жк}}}, & C_{i}^{\text{жк}} = 1. \end{cases} \quad (12)$$

Індекс якості ліпідної складової хліба відображає інформацію про якісну та кількісну відмінності співвідношення окремих фракцій жирних кислот у досліджуваному ліпіді від складу цих фракцій в „ідеальному” ліпіді (формула (11)) за умови, що досліджуваний білок містить повний набір жирнокислотних фракцій, тобто $C_{\min}^{\text{жк}} \neq 0$.

Висновки. Таким чином, ми запропонували показники, що можуть бути критеріями якості проектування рецептур нових хлібобулочних виробів зі збалансованим хімічним складом: індекс якості білкової складової хліба I_6 за формулою (7) та індекс якості ліпідної складової хліба I_L за формулою (12). Нами також уточнено оптимальне співвідношення окремих фракцій жирних кислот в „ідеальному ліпіді”, зокрема частки фракцій жирних кислот груп $\omega-3$ і $\omega-6$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бражников А.М., Рогов И.А. О проектировании комбинированных изделий // Мясная индустрия СССР. – 1984. – № 11. – С. 36–38.
2. Васильев Ф.В., Глотова И.А., Антипова Л.В. К вопросу оптимизации аминокислотного состава поликомпонентных продуктов с использованием методов вычислительной математики // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 2. – С. 58–61.
3. *Временные* методические указания по расчету химического состава хлебобулочных изделий / В.А. Патт, Р.Д. Поландова, В.А. Березницкая – М.: ВНИИХП, 1980. – 31 с.
4. *Информационные* технологии проектирования пищевых продуктов / Ю.А. Ивашкин, С.Б. Юдина, М.А. Никитина и др. // Мясная индустрия. – 2000. – № 5. – С. 40–41.

5. *Левицкий А.П.* Идеальная формула жирового питания. – Одесса: НПА „Одесская биотехнология”, 2002. – 61 с.
6. *Липатов Н.Н.* Предпосылки компьютерного проектирования продуктов и рационов питания с задаваемой пищевой ценностью // *Хранение и переработка сельхозсырья.* – 1995. – № 3. – С. 4–9.
7. *Липатов Н.Н., Рогов И.А.* Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности // *Изв. вузов. Пищ. технология.* – 1987. – № 2. – С. 9–15.
8. *Макарчук Т.Л., Подрушняк А.Е.* Проблемы качества и безопасности новых масло-жировых продуктов // *Проблемы харчування.* – 2003. – №1. – С. 44–46.
9. *Михайлов Н.А.* Аналитический расчет качества белков новых пищевых продуктов // *Вопросы питания.* – 1991. – № 3. – С. 49–52.
10. *Мустафина О.К.* Экспериментальное обоснование соотношения полиненасыщенных жирных кислот семейств омега 6 и омега 3 в рационе: Автореф. дис...канд. мед. наук: 14.00.07 / НИИ питания РАМН. – М., 1998. – 23 с
11. *Проектирование* жирнокислотного состава новых продуктов питания на основе комплексного использования различных видов сырья / И.А. Рогов, Н.Г. Кроха, Н.А. Михайлов и др. // *Вопросы питания.* – 1988. – № 3. – С. 52–56.
12. *Рыбчинский А.С.* Разработка системного подхода к проектированию хлебобулочных изделий целевого назначения: Дис...канд. техн. наук: 05.18.01. – М., 1999. – 164 с.
13. *Смоляр В.И.* Рецензія на книгу А.П. Левицького „Идеальная формула жирового питания” // *Проблемы харчування.* – 2004. – № 1 (2). – С.76–77.
14. *Mitchell H.H., Block R.* // *J. Biol. Chem.* – 1946. – V. 163. –P. 559–620.