

**Крутовой Ж.А.**, к.т.н., проф.\*, **Мячикова Н.И.**, к.т.н., доц.\*\*,  
**Запаренко А.В.**, асп.\*, **Касилова Л.А.**, к.т.н., проф.\*,  
**Сорокопудов В.Н.**, д.с.-х.н., проф.\*\*

\*Харьковский государственный университет питания и торговли,  
г. Харьков, Украина

\*\*ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет», г. Белгород, Россия

## **О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РЕЦЕПТУР МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ДЕФИЦИТНЫХ НУТРИЕНТОВ**

**Постановка проблемы в общем виде.** Исследования по созданию систем питания, предназначенных для профилактики и лечения заболеваний, возникающих на фоне дефицита кальция, позволяют сделать вывод о том, что наиболее дефицитными нутриентами при условии обеспечения высокого уровня сбалансированного кальция являются селен, фтор и бор. Это обстоятельство обуславливает целесообразность разработки рецептур изделий и рационов питания с высоким содержанием указанных дефицитных нутриентов, в частности фтора.

Отметим, что при создании рецептур изделий для сбалансированного питания должны учитываться следующие факторы: 1) совокупность технологических ограничений, в частности, на содержание ингредиентов в рецептуре, условия обеспечения необходимого содержания влаги в тесте и пр.; 2) соотношения, обеспечивающие сбалансированность нутриентов (например, незаменимых аминокислот); 3) условия обогащения проектируемого изделия рядом нутриентов, особенно дефицитных; 4) критерий оптимальности создаваемой рецептуры изделия и т.д.

Для решения задачи указанного типа целесообразна разработка математических моделей.

Предмет статьи: создание математической модели рецептуры мучного изделия (пирожков с рыбной начинкой), обеспечивающего высокое содержание фтора (не менее 50 % суточной потребности) и характеризующегося высоким уровнем сбалансированности незаменимых аминокислот.

**Изложение основного материала исследования.** Суточная потребность во фторе составляет 750 мкг. Основным источником фтора – вода, особенно минеральная типа боржоми, много его содержится в морской рыбе, в частности, скумбрии, треске, пикше, значительно меньше – в орехах грецких, ячмене, бобовых. Фтор играет важную роль в метаболизме костной ткани, однако физиологическое его действие на сегодняшний день изучено недостаточно. Известно, что на организм неблагоприятно воздействует как дефицит фтора, так и его переизбыток. В то же время допустимый безопасный уровень содержания это-

го минерала в суточном рационе составляет 4 мг, что превышает суточную потребность в 5 раз.

В соответствии с современной концепцией проектирования продуктов высокой пищевой и биологической ценности в качестве объектов обогащения целесообразно выбирать в первую очередь те продукты, которые часто потребляются населением и доступны для всех его слоёв. Таким требованиям удовлетворяют, в частности, мучные изделия. Математическая модель проектируемого изделия представлена ниже.

Принятые обозначения:

- $x_i$  – неизвестное количество (г) сырья  $i$ -го вида ;
- $Y_1 - Y_4$  – содержание (г) фтора, кремния, витаминов В<sub>2</sub> и В<sub>6</sub> в рецептуре соответственно;
- $Y_5 - Y_{14}$  – содержание незаменимых аминокислот соответственно триптофана, лейцина, изолейцина, метионина, фенилаланина, лизина, треонина, валина, аргинина, гистидина (г) в рецептуре;
- $a_{ij}$  – содержание (г) нутриента  $j$ -го вида в 1 г  $i$ -го ингредиента;
- $\lambda_i$  – содержание воды (г) в 1 г  $i$ -го ингредиента;
- $Y_j^{a.r.}$  – суточная потребность (г) в  $j$ -м нутриенте;
- $\alpha_i$  – коэффициент весомости незаменимой аминокислоты  $j$ -го вида в функционале сбалансирования этих кислот.

Технологические ограничения:

– на содержание различных видов сырья:

$$\text{Мука пшеничная 1/с} \quad 20 \leq x_1 \leq 40 \quad (1)$$

$$\text{Мука соевая цельносмолотая} \quad 0 \leq x_2 \leq 4 \quad (2)$$

$$\text{Кефир 3,2\% жирности} \quad 9 \leq x_3 \leq 23 \quad (3)$$

$$\text{Сахар} \quad 2,5 \leq x_4 \leq 9 \quad (4)$$

$$\text{Дрожжи прессованные} \quad 0,4 \leq x_5 \leq 1,2 \quad (5)$$

$$\text{Соль поваренная пищевая} \quad 0,06 \leq x_6 \leq 0,09 \quad (6)$$

$$\text{Яйца куриные} \quad 0 \leq x_7 \leq 11 \quad (7)$$

$$\text{Масло сливочное 72,5\% жирности} \quad 0,6 \leq x_8 \leq 2 \quad (8)$$

$$\text{Скумбрия атлантическая} \quad 25 \leq x_9 \leq 46 \quad (9)$$

$$\text{Зелень укропа} \quad 0,6 \leq x_{10} \leq 2,5 \quad (10)$$

$$\text{Лук репчатый} \quad 1,3 \leq x_{11} \leq 6,5 \quad (11)$$

$$\text{– на содержание соевой муки} \quad x_2 \leq 0,1 \cdot x_1 \quad (12)$$

– на соотношение между содержанием муки и кефира

$$1,6 \leq \frac{x_1 + x_2}{x_3} \leq 2 \quad (13)$$

– на влажность теста

$$0,44 \sum_{i=1}^8 x_i \leq \sum_{i=1}^8 \lambda_i \cdot x_i \leq 0,5 \sum_{i=1}^8 x_i \quad (14)$$

– на содержание начинки

$$1,2 \sum_{i=9}^{11} x_i \leq \sum_{i=1}^8 x_i \quad (15)$$

Суммарный вес набора сырья

$$\sum_{i=1}^{11} x_i = 130 \quad (16)$$

Агрегированное ограничение на функционал сбалансированности группы незаменимых аминокислот

$$\sum_{j=5}^{14} \alpha_j \cdot Y_j \geq 0,15 \cdot \Phi_{eaa}^{d.r.}, \quad (17)$$

где  $\Phi_{eaa}^{d.r.}$  – значение функционала сбалансирования незаменимых аминокислот, соответствующее их суточной потребности:

$$\Phi_{eaa}^{d.r.} = \sum_{j=5}^{14} \alpha_j \cdot Y_j^{d.r.} \quad (18)$$

Условия обогащения изделия дефицитными нутриентами (в процентном отношении к суточной потребности):

- фтором  $0,5 \cdot Y_1^{d.r.} \leq \sum_{i=1}^{11} a_{i1} \cdot x_i \leq Y_1^{d.r.} \quad (19)$

- кремнием  $\sum_{i=1}^{11} a_{i2} \cdot x_i \geq 0,1 \cdot Y_2^{d.r.} \quad (20)$

- витамином B<sub>2</sub>  $\sum_{i=1}^{11} a_{i3} \cdot x_i \geq 0,1 \cdot Y_3^{d.r.} \quad (21)$

- витамином B<sub>6</sub>  $\sum_{i=1}^{11} a_{i4} \cdot x_i \geq 0,1 \cdot Y_4^{d.r.} \quad (22)$

Соотношения для определения величин  $Y_j$

$$Y_j = \sum_{i=1}^{11} a_{ij} \cdot x_i, \quad j = \overline{1,14}. \quad (23)$$

Целевая функция

$$Z = Y_1 = \sum_{i=1}^{11} a_{i1} \cdot x_i \rightarrow \max \quad (24)$$

Математическая формулировка задачи оптимизации содержания ин-

гредиентов в рецептуре мучного изделия состоит в следующем: определить вектор  $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_{11})$ , который максимизирует целевую функцию (24) – содержание фтора в наборе сырья – при условии, что координаты этого вектора удовлетворяют системам неравенств и уравнений (1) – (23).

Отметим, что функционал сбалансирования группы десяти незаменимых аминокислот представляет собой сумму произведений величин содержания этих кислот в проектируемом изделии на коэффициенты их весомости. Последние определены, исходя из научно обоснованных рекомендаций относительно соотношений между незаменимыми аминокислотами, обеспечивающих их сбалансированность.

Решение сформулированной задачи осуществлялось симплексным методом в системе MathCAD. При использовании изделия, изготовленного в соответствии с разработанной рецептурой, ожидаемый уровень удовлетворения суточной потребности в дефицитных нутриентах составляет: фторе – 87,15%; кремнии – 24,63%; витамине В<sub>6</sub> – 27,96%, витамине В<sub>2</sub> – 18,38%. Показатель сбалансированности незаменимых аминокислот составляет 21,86% от функционала сбалансирования незаменимых аминокислот, соответствующего суточной потребности в них.

Таким образом, в результате проведенного исследования разработана математическая модель рецептуры мучного изделия с высоким содержанием фтора, сбалансированными незаменимыми аминокислотами, а также обогащённого кремнием, витаминами В<sub>2</sub> и В<sub>6</sub>. Изделие, которое можно изготовить в соответствии с предложенным проектом рецептуры предполагается использовать как элемент систем питания лечебно-профилактического назначения.