МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ
БИСКВИТНОГО ПОЛУФАБРИКАТА НА ОСНОВЕ
НЕХЛЕБОПЕКАРНЫХ ВИДОВ МУКИ С САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕМ

Бедо Е.П., студент,
e-mail: katerinabedo@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Альшевская М.Н., канд. техн. наук, доц.,
e-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Землякова Е.С., канд. техн. наук,
e-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Метод математического моделирования позволяет упростить процесс разработки рецептуры пищевого продукта и обоснования параметров его производства. В работе получена натуральная математическая модель рецептуры бисквитного полуфабриката с сахарозаменителем эритритом с использованием амарантовой и овсяной муки, позволяющая определить оптимальные значения массовой доли овсяной муки (13,3%) и времени выпекания бисквитного полуфабриката (31 мин), построена пространственная трехмерная модель рецептуры бисквитного полуфабриката с сахарозаменителем эритритом из нехлебопекарных видов муки (овсяной и амарантовой).

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимальные значения исследуемых факторов, бисквитный полуфабрикат, сахарозаменитель эритрит, овсяная мука, амарантовая мука.

ВВЕДЕНИЕ

Метод математического моделирования, позволяющий спланировать эксперимент и в дальнейшем получить оптимальные значения выбранных факторов, широко используется в пищевой технологии, позволяя значительно упростить процесс решения данной задачи [1].

В последнее время особенно остро встает вопрос о разработке пищевых продуктов специализированного назначения. Экологическая ситуация, загрязнение воздуха, широкое использование медицинских препаратов, удобрений и кормов, улучшающих урожайность и рост сельскохозяйственного животного и растительного сырья, а также массовое применение пищевых добавок, направленных на интенсификацию производства, формирование органолептических свойств пищевого продукта и увеличение его выхода и другие факторы приводят к значительному увеличению количества людей, страдающих заболеваниями, связанными с нарушением обменных процессов в организме и деятельностью иммунной системы. Как следствие – существенный рост заболеваемости сахарным диабетом и пищевыми аллергиями. Питание таких групп населения требует особого внимания. Разработка пищевых продуктов для них особенно актуальна в последнее время.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы являлось математическое моделирование рецептуры бисквитного полуфабриката с сахарозаменителем эритритом с использованием амарантовой и овсяной муки.

Для решения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- составить матрицу и план эксперимента для моделирования рецептуры бисквитного полуфабриката, выбрать основные факторы, подлежащие варьированию и параметры оптимизации;
- вывести модель рецептуры бисквитного полуфабриката второго порядка в натуральном виде, вычислить оптимальные значений основных факторов, построить пространственную трехмерную модель.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для моделирования и оптимизации рецептуры теста бисквитного полуфабриката на основе амарантовой и овсяной муки с сахарозаменителем эритритом были составлены матрица и план эксперимента, в соответствии с которым приготовлены контрольные образцы бисквитного полуфабриката из амарантовой (ТУ 10.61.22-026-66032220-2014, ТР ТС 021/2011, ТР ТС 022/2011) и овсяной муки (ГОСТ 3034-75, ТР ТС 021/2011, ТР ТС 022/2011); сахарозаменителем эритритом (ТУ 10.89.19-009-17274463-2018, ТР ТС 029/2012) и меланжа (ГОСТ 31654-2012, ТР ТС 021/2011).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для установления оптимального количества овсяной муки применялся метод математического планирования эксперимента с использованием ортогонального центрального композиционного плана 2-го порядка для двух факторов [1].

За основу была выбрана рецептура бисквитного полуфабриката с сахарозаменителем эритритом и содержанием амарантовой муки 15%. Дозировка сахарозаменителя и амарантовой муки была установлена экспериментально [2]. По результатам предварительных исследований из множества факторов, влияющих на качество бисквитного полуфабриката, были выделены два основных, подлежащих варьированию: время выпекания бисквитного полуфабриката $\tau_{\text{вып}}$ (X_1), мин; содержание овсяной муки $\omega_{\text{овс}}$ (X_2), % к общей массе бисквитного теста. Интервал варьирования составил для факторов X_1 и X_2 5 мин и 3 % соответственно.

Параметром оптимизации был выбран обобщенный показатель y , включающий балльную оценку качества готовой продукции по следующим показателям: органолептическая оценка (Оц), намокаемость, %, и массовая доля влаги (W), %, с идеальными значениями частного отклика 5 баллов (органолептическая оценка, включающая внешний вид, консистенцию, вкус и запах бисквитного полуфабриката), 300 % (намокаемость) и 25 % (влажность готового изделия).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В таблице представлены матрица и план эксперимента по моделированию и оптимизации рецептуры теста бисквитного полуфабриката на основе амарантовой муки с сахарозаменителем эритритом и овсяной мукой, а также результаты его реализации.

Таблица – Матрица и план эксперимента при моделировании рецептуры бисквитного полуфабриката

Номер опыта	План эксперимента		Безразмерные частные отклики			Обобщенные параметры оптимизации
	$\tau_{\text{вып}}$, мин	ω , %	S_0^2	S_w^2	$S_{\text{нам}}^2$	
1	35	16	0,1444	0,005184	0,1406	0,290184
2	25	16	0,1156	0,02569	0,1406	0,28189
3	35	10	0,0576	0,0005624	0,0004	0,058562
4	25	10	0,0484	0,0325029	0,064178	0,145081
5	35	13	0,090	0,002049	0,0576	0,149649
6	25	13	0,0676	0,143316	0,000178	0,211094
7	30	16	0,0196	0,000661	0,00902	0,029281
8	30	10	0,0036	0,04814	0,000469	0,052209
9	30	13	0,000	0,005819	0,000025	0,005844

Расчёт значений коэффициентов полиномиальной модели дал следующие результаты:

$$b_0=0,135977; b_1 = -0,02328; b_2 = 0,057584; b_{12}=0,023703; b_{11}=0,160299; b_{22}=0,020672.$$

В результате данных расчётов получена кодированная математическая модель (1):

$$y=0,135977 - 0,02328 \cdot x_1 + 0,057584 \cdot x_2 + 0,023703 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,160299 \cdot (x_1^2 - 2/3) + 0,020672 \cdot (x_2^2 - 2/3). \quad (1)$$

После приведения подобных членов вид кодированной модели (2):

$$Y = 0,01533 - 0,02328 \cdot x_1 + 0,057584 \cdot x_2 + 0,023703 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,160299 \cdot x_1^2 + 0,020672 \cdot x_2^2. \quad (2)$$

Для перехода от кодированной модели к натуральной значения X_1 и X_2 выражаются через их натуральные величины.

$$X_1 = (\tau_{\text{вып}} - 30)/5;$$

$$X_2 = (\omega_{\text{овс}} - 13)/3.$$

После преобразований была получена модель рецептуры бисквитного полуфабриката второго порядка в натуральном виде (3), применяемая для отыскания оптимальных значений факторов:

$$Y = 6,780682 - 0,4099162 \cdot \tau_{\text{вып}} - 0,087930433 \cdot \omega_{\text{овс}} + 0,0015802 \cdot \tau_{\text{вып}} \cdot \omega_{\text{овс}} + 0,00641196 \cdot \tau_{\text{вып}}^2 + 0,002296889 \cdot \omega_{\text{овс}}^2. \quad (3)$$

На основе натуральной модели были найдены оптимальные значения исследуемых факторов: время выпекания 30,982 мин и массовая доля овсяной муки 13,326 %.

Результатом проведенного математического моделирования стало построение пространственной трехмерной модели для рецептуры бисквитного полуфабриката из нехлебопекарных видов муки с сахарозаменителем эритритом (рисунок).

$$6,780682-0,40992*x-0,087932*y+0,00158*x*y+0,006412*x^2+0,002297*y^2$$

Рис. Трехмерная модель рецептуры бисквитного полуфабриката из нехлебопекарных видов муки с сахарозаменителем эритритом

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований была получена модель рецептуры бисквитного полуфабриката второго порядка в натуральном виде, применяемая для определения оптимальных значений факторов (время выпекания бисквитного полуфабриката и массовая доля овсяной муки в рецептуре).

На основе натуральной модели были найдены оптимальные значения исследуемых факторов: время выпекания 30,982 мин (принимается 31 мин) и массовая доля овсяной муки 13,326% (принимается 13,3%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мезенова, О.Я. Математическое моделирование в пищевой биотехнологии / О.Я. Мезенова, Н.Ю. Мезенова. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. – 103 с.
2. Альшевская, М.Н. Обоснование рецептуры бисквита с использованием сахарозаменителей / М.Н. Альшевская, Е.П. Бедо // Технологии и продукты здорового питания: XII Национальная научно-практическая конференция с международным участием: сборник статей / СГАУ, 2021. – С. 33-37.

MATHEMATICAL MODELING OF THE RECIPE OF A SEMI-FINISHED BISCUIT BASED ON NON-BAKING TYPES OF FLOUR WITH SWEETENER

E.P. Bedo, student
e-mail: katerinabedo@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

M.N. Alshevskaya, PhD, Associate Proffessor
e-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

E.S. Zemlyakova, PhD,
e-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

The method of mathematical modeling makes it possible to simplify the process of developing the recipe of a food product and substantiating the parameters of its production. In the course of the work, a natural mathematical model of the recipe of a sponge semi-finished product with the sweetener erythritol using amaranth and oat flour was obtained, which allows determining the optimal values of the mass fraction of oat flour (13.3%) and the baking time of the sponge semi-finished product (31 minutes), a spatial three-dimensional model of the recipe of a sponge semi-finished product with the sweetener erythritol from non-baking types of flour (oat and amaranth) was constructed.

Keywords: *mathematical modeling, optimal values of the studied factors, semi-finished sponge cake, sweetener erythritol, oat flour, amaranth flour.*