

*О.В. Хрулова, М.Ю. Сергеева**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ ХЛЕБА ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

Хлеб является одним из основных продуктов питания. Хотя его потребление в последние годы имеет незначительную тенденцию к снижению, хлеб занимает особое место и является важнейшим продуктом питания в рационе человека. Над улучшением качества и повышением пищевой ценности хлеба постоянно работают технологи и ученые. Перспективным направлением в этом вопросе является разработка и применение сбалансированных зерновых и мучных смесей.

Подбор компонентов смесей и их количественное соотношение должны производиться с учетом химического состава для максимально возможного покрытия суточной нормы основных пищевых веществ: белка, дефицитных фракций жирных кислот, микронутриентов, а также доступности компонентов, их стоимости, предпочтений потребителей и других факторов.

Сложность решения рецептурной задачи поликомпонентного продукта заключается в том, что изменение сразу нескольких компонентов может сложным и непредсказуемым образом изменять целевую функцию. Применение современных методов моделирования и компьютерных технологий позволяет сократить значительные временные затраты, а также за короткий промежуток времени рассмотреть большое количество альтернативных вариантов.

Обзор информационных источников позволил сформулировать основные принципы проектирования рецептур хлебобулочных изделий [1]:

1. Содержание белка в хлебе должно быть максимально возможным.
2. Аминокислотный состав белка должен быть максимально сбалансирован.
3. Соотношение фракций жирных кислот в составе липидной компоненты хлеба должно приближаться к соотношению $\text{НЖК} : \text{ПНЖК}\omega\text{-6} : \text{ПНЖК}\omega\text{-3} : \text{МНЖК} = 33,5 : 30,0 : 3,0 : 33,5$ с позиции биологической эффективности.
4. Соотношение основных микронутриентов должно приближаться к оптимальному.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Е.В. Пешковой.

С учетом основных принципов проектирования рецептур хлебо-булочных изделий постановка задачи проектирования рецептуры выглядит следующим образом:

Найти соотношение рецептурных компонентов, такое, что

$$\max B$$

при

$$I_6 = \begin{cases} 1 - \left(1 - c_{k_{\min}}\right) \frac{8c_{k_{\min}}}{\sum_{i=1} c_{k_i}}, & 0 \leq c_{k_{\min}} < 1, \quad c_{k_{\min}} > 1; \\ \frac{8c_{k_{\min}}}{\sum_{i=1} c_{k_i}}, & c_{k_{\min}} = 1; \end{cases} \leq I_6^*;$$

$$I_{\text{л}} = \begin{cases} 1 - \left(1 - c_{k_{\min}}^{\text{жк}}\right) \frac{8c_{k_{\min}}^{\text{жк}}}{\sum_{i=1} c_{k_i}^{\text{жк}}}, & 0 \leq c_{k_{\min}}^{\text{жк}} < 1, \quad c_{k_{\min}}^{\text{жк}} > 1; \\ \frac{8c_{k_{\min}}^{\text{жк}}}{\sum_{i=1} c_{k_i}^{\text{жк}}}, & c_{k_{\min}}^{\text{жк}} = 1; \end{cases} \leq I_{\text{л}}^*, \quad (1)$$

где B – белковая составляющая готового продукта; I_6 , $I_{\text{л}}$ – индексы качества белковой и липидной составляющей; $c_{k_{\min}}$, $c_{k_{\min}}^{\text{жк}}$ – минимальные скорости незаменимых аминокислот белка и жирнокислотных фракций липидов; c_{k_i} , $c_{k_i}^{\text{жк}}$ – скорости i -й незаменимой аминокислоты или фракции жирных кислот относительно физиологической нормы, выраженной в долях единицы.

Для замыкания системы уравнений (1) и определения массовых долей компонентов необходимо дополнить систему уравнением материального баланса:

$$M_{\text{пм}} + M_{\text{др}} + M_{\text{гм}} + M_{\text{лс}} + M_{\text{в}} = 100,00, \quad (2)$$

где M – массовые доли компонентов, индексы: пм – пшеничная мука, др – дрожжи, гм – гречневая мука, лс – льняное семя, в – вода.

Расчет индексов качества белковой и липидной составляющей, а также физиологической ценности для хлеба пшеничного, изготовленного по классической рецептуре, представлен в табл. 1.

Из расчета видно, что пищевая и биологическая ценность хлеба невысока, следовательно, необходимо качественное улучшение липидного и аминокислотного состава. Тем не менее, значения I_b , I_l , полученные для хлеба пшеничного, изготовленного по стандартной рецептуре, можно использовать в качестве ограничений при решении задачи (1) – (2).

Для повышения качества липидов хлеба предлагается внесение в рецептуру дробленого семени льна, богатого полиненасыщенными ω -3 жирными кислотами [1]. Для улучшения индекса качества белка предлагается частичная замена пшеничной муки мукой из гречневой крупы, обладающей высоким содержанием белка (12,6 %) по сравнению с другими зерновыми. Кроме того, гречневая мука отличается наибольшим содержанием витаминов группы В, РР, железа, кальция, фосфора, содержит в большом количестве лецитин и токоферол (витамин Е), обладающие сильными антиоксидантными свойствами [2].

Согласно [1], [2], введение добавок должно соответствовать условию

$$M_{\text{гм}} \leq 50\%(\text{мас.}); \quad M_{\text{лс}} \leq 7\%(\text{мас.}). \quad (3)$$

Решение поставленной задачи (1) – (3) производилось по следующему алгоритму.

Шаг 1. Выбирается начальное приближение соотношения рецептурных компонентов M_0 ; $i = 1$.

Шаг 2. Для каждого компонента j рассчитываются I_b^{ij} , I_l^{ij} .

Шаг 3. Производится расчет I_b^i , I_l^i для всего продукта, а также значения пищевой и физиологической ценности с учетом соотношения рецептурных компонентов M_i .

Шаг 4. Производится однократный просчет задачи оптимизации с учетом выбранного метода, вычисляется M_{i+1} , производится проверка критерия остановки для задачи оптимизации. Если критерий остановки задачи оптимизации выполняется – решение получено, иначе переходим к шагу 5.

Шаг 5. $M_i = M_{i+1}$, $i = i + 1$. Переход на шаг 2.

Решение задачи оптимизации при расчете соотношения рецептурных компонентов производили методом последовательного квадратичного программирования.

Результаты решения задачи (1) – (3), а также физиологическая и биологическая ценность обогащенного хлеба представлены в табл. 1.

1. Рецептуры и основные показатели пищевой и физиологической ценности хлебобулочных изделий

	Хлеб пшеничный (контроль)	Хлеб обогащенный
Рецептура		
Мука пшеничная	100	74
Дрожжи	1,1	1,1
Мука гречневая	–	26
Семя льна	–	6,2
Пищевая и энергетическая ценность		
Белки	10,2	12
Жиры	1,6	4,6
Углеводы	64,5	47,7
Пищевые волокна	2,7	6,4
Энергетическая ценность, ккал/100г	313	280
Минеральные вещества		
Кальций	0,33	26,8
Магний	0,594	90,16
Фосфор	7,007	134,43
Витамины		
В1	0,311	0,472
В2	0,11	0,16
РР	1,64	3,43
I_b	0,70	0,79
$I_{л}$	0,78	0,9

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для повышения пищевой ценности хлеба были предложены функциональные ингредиенты: гречневая мука – источник белка, семя льна – источник липидов.

2. Произведена постановка и разработан алгоритм решения задачи оптимизации соотношения рецептурных компонентов хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности.

3. Решением задачи (1) – (3) определено соотношение рецептурных компонентов, позволяющих изготовить хлебобулочное изделие с

улучшенным липидным и аминокислотным составом. Новый продукт при сниженной энергетической ценности обогащен пищевыми волокнами (31 % РСП), магнием (24,6 % РСП), фосфором (19,8 % РСП), витаминами группы В (> 46 % РСП) и РР (25 % РСП).

Следует заметить, что для новой рецептуры необходимо осуществить пробную выпечку с целью определения органолептических и физико-химических свойств и возможного ее уточнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсеньева, Л.Ю. Создание хлеба повышенной пищевой ценности / Л.Ю. Арсеньева, Н.А. Арсиненко, М.С. Саливон // Материалы 3-й Всероссийской научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – С. 107 – 112.
2. Функциональные пищевые продукты. Введение в технологии : учебник для вузов / А.Ф. Доронин, Л.Г. Ипатова, А.А. Кочеткова [и др.]. – М. : ДеЛи принт, 2009. – 288 с.

*Кафедра «Технологии продовольственных продуктов»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*