2. Гордеев А.С. Моделирование в агроинженерии: Учебник/ А.С. Гордеев//– СПб.: Изд-во Лань, 2014. – 384 с.
3. Дмитренко А.И. Несущие и технологические системы для построения сельскохозяйственных агрегатов. / А.И. Дмитренко, А.И. Бурьянов, Ю.О. Горячев //Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 5. – С.19 – 31.
4. Ежевский А.А. Технические и технологическая обеспеченность с.-х. производства России на 2013-2020 годы / А.А. Ежевский // Сельхозмашины и технологии. – 2014. – № 1. – С.3 – 6.
5. Измайлов А.Ю. Создание интенсивных машинных технологий и энергонасыщенной техники для производства основных групп продовольствия / А.Ю. Измайлов, Ю.Х. Шогенов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2016. – № 3. – С. 2 – 5.
6. Кошурников А.Ф. Основы научных исследований: учебное пособие / А.Ф. Кошурников// – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. – 317 с.
7. Маслов Г.Г. Перспективные составы машинно-тракторных агрегатов для совмещения операций / Г.Г. Маслов, И.А. Журий// Тракторы и сельхозмашины. –2017. –№ 2. – С. 47 – 52.
8. Милаев П.П. Инженерное проектирование эффективных технологий возделывания сельхозкультур / П.П. Милаев, Н.Н. Назаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –2016. – № 7. – С. 2 – 6.
9. Основы научных исследований / Б.И. Герасимов, В.В. Дробышева, Н.В. Злобина, Г.И. Терехова// – М.: ФОРУМ, 2009. – 272 с.
10. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов/В. И. Крутов, И. М. Грушко, В. В. Попов и др.; Под ред. В. И. Крутова, В. В. Попова // – М.: Высшая школа, 1989. — 400 с.
11. Раднаев, Д.Н. Методологические основы разработки технологий и технических средств посева при возделывании зерновых культур в условиях Забайкалья [Текст]: дисс...д-ра техн. наук: 05.20.01: защищена 11.10.13; утв. 10.02.14 / Раднаев Даба Нимаевич. – Улан-Удэ., 2013. – 377 с. – Библиогр.
12. Раднаев Д.Н. Связи системных процессов и объектов с окружающей средой. – Аграрная наука. – 2011. . – № 2. – С. 29 – 30.
13. Рахимов Р.С. Разработка ресурсосберегающие технологии и обоснование комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур в зоне Урала / Р.С. Рахимов, С.Г. Мударисов, И.Р. Рахимов // Вестник Башкирского ГАУ. – 2018. –№ 2. – С. 117 – 129.

Сафонова Ю.А., Жаркова И.М., Баринев А.С.
Моделирование рецептов функциональных пищевых продуктов

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»
(Россия, Воронеж)*

doi: 10.18411/lj-04-2019-245

idsp: ljjournal-04-2019-245

Аннотация

Процесс разработки рецептов ФПП с помощью математических расчетов, как правило, сводится к нахождению целевой функции, определению ограничений и граничных условий решаемой задачи. На этапе формирования состава рецептурных компонентов применяются линейные модели, т.е. такие в которых математические зависимости линейны относительно всех переменных, присутствующих в модели. Решение таких задач позволяет выделить из множества возможных вариантов композиций рецептов оптимальные соотношения ингредиентов. Основой данной методики расчета являются уравнения материального баланса по каждому нутриенту продукта, а также условия соответствия массовой доли необходимого нутриента суточной потребности определенного вещества для рассматриваемой группы населения.

Ключевые слова: математическая модель, функциональные пищевые продукты, рецептура изделий

Abstract

The process of developing functional food product formulations using mathematical calculations, as a rule, boils down to finding the objective function, determining the constraints and boundary conditions of the problem being solved. At the stage of forming the composition of prescription components, linear models are used, i.e. such in which the mathematical dependencies are linear with respect to all variables present in the model. The

solution of such problems allows you to select the optimal ratio of ingredients from a variety of possible variants of formulations. The basis of this method of calculation is the material balance equations for each nutrient of the product, as well as the conditions for compliance of the mass fraction of the necessary nutrient with the daily requirement of a particular substance for the considered population.

Keywords: mathematical model, functional foods, product formulation

Реализация поставленной задачи включает следующие этапы:

- создание и заполнение базы данных, которая содержит вид рецептурных компонентов, их химический состав, нормы по каждой группе нутриентов, показатели готового продукта;
- выбор вида и составление уравнения целевой функции, ограничений на использование отдельных рецептурных компонентов согласно технологическим инструкциям на изделие;
- определение способа решения полученной математической модели;
- анализ полученных результатов вариантов рецептов разрабатываемого многокомпонентного изделия, выбор окончательной обоснованной рецептуры, отвечающей задаваемым требованиям [1, 3].

Белок продукта отличается определенным составом аминокислот, включая заменимые и незаменимые. Отсутствие хотя бы одной незаменимой аминокислоты в белке позволяет считать его биологически неполноценным. Количество незаменимых аминокислот может быть существенно больше или меньше их содержания в эталонном белке. В связи с этим, при постановке задачи разработки модельных композиций ФПП для расчета оптимизированного состава белка формализация учитывает взаимосбалансированность незаменимых аминокислот. Чем ближе это соотношение к идеальному, рекомендуемому ФАО/ВОЗ, тем более полезен и сбалансирован по составу данный продукт [2, 4].

В общем виде задача формулируется следующим образом: смоделировать рецептурный состав компонентов ФПП, обеспечивающий минимальное отклонение количества незаменимых аминокислот продукта от количества их в эталонном белке, с по возможности максимальной массовой долей белка, пищевых волокон и кальция в продукте, обеспечивающий заданное соотношение белков к углеводам (5:1) [5, 6]. Подобная задача может быть сведена к задаче линейного программирования, где в качестве целевой функции выбирается величина отклонения количества незаменимых аминокислот в белке проектируемого ФПП от идеального белка, а ограничения будут задавать необходимые значения белка, углеводов, пищевых волокон и кальция. Поставленная задача состоит из двух этапов: задание необходимых начальных данных об ингредиентах смеси и аминокислотах и проведение необходимых вычислений.

Математическая формализация может быть представлена следующим образом:

$$\sigma = \sum_{l=1}^L \left| 1 - \frac{\sum_{j=1}^m (A_{jl} \cdot C_j^{\sigma} \cdot x_j)}{A_l^{\text{эм}} \cdot \sum_{j=1}^m C_j^{\sigma} \cdot x_j} \right| / n \rightarrow \min \quad (3)$$

где σ – величина отклонения по незаменимым аминокислотам белка моделируемого продукта от идеального белка, ед.; A_{jl} , $A_l^{\text{эм}}$ – содержание l -ой незаменимой аминокислоты в белке j -го рецептурного компонента моделируемого продукта и белке-эталоне, соответственно, мг/1 г белка; C_j^{σ} – массовая доля белка в j -ом рецептурном ингредиенте, %; x_j – доля j -го ингредиента в рецептуре изделия; $j = \overline{1, m}, l = \overline{1, L}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m C_j^b \cdot x_j \leq d_1, \\ \sum_{j=1}^m C_j^{ng} \cdot x_j \leq d_2, \\ \sum_{j=1}^m C_j^{Ca} \cdot x_j \leq d_3, \\ \sum_{j=1}^m C_j^y \cdot x_j \leq d_4, \\ \sum_{j=1}^m x_j = 1, \\ x_i \geq 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

где C_j^b , C_j^{ng} , C_j^{Ca} , C_j^y – массовая доля белка, пищевых волокон, кальция и углеводов в j -ом рецептурном ингредиенте, соответственно, %; d_1 , d_2 , d_3 , d_4 – массовая доля белка, пищевых волокон, кальция и углеводов, соответственно, согласно нормам на моделируемый ФПП.

Процесс получения оптимального рецептурного состава моделируемого изделия является сложной задачей, для решения которой необходимо разработать специализированную информационную систему.

Алгоритм работы такой системы заключается в реализации двух последовательных процессов: «получение решения – проверка решения», т.е. в нахождении определенного соотношения рецептурных компонентов и проверке его на соответствие заданным ограничениям.

Данный алгоритм может быть реализован с помощью следующих шагов:

- 1) задание исходных данных для расчета рецептурного состава моделируемого продукта;
- 2) задание интервалов и шагов изменения рецептурных компонентов;
- 3) выбор компонентов, применяемых для изготовления продукта;
- 4) задание максимального значения отклонения по незаменимым аминокислотам белка моделируемого продукта от идеального белка;
- 5) выполнение расчетов и анализ результатов;
- 6) проведения модельных опытов на основе полученных вариантов рецептур.

На рис. 1 представлена схема базы данных, используемой для разрабатываемой информационной системы.

Таблица «Sostav» содержит информацию о наименовании изделия, его рецептурном составе, и количестве вносимых по рецептуре изделия компонентов. Таблицы «Product type» и «Ingredient type» служат для сохранения данных по видам сырья и готовых изделий. В таблицах «Product» и «Ingredient» находятся классификация готовых продуктов по видам (хлеб, хлебобулочные изделия, мучные кондитерские изделия и т.п.) и классификация сырья по его видам, соответственно. Таблица «Chemical composition» предназначена для хранения данных по химическому составу сырья. А данные по категориям нормируемых групп находятся в таблице «Norma».

Рис. 1. Модель структуры данных

Таким образом, оптимизация состава рецептурных компонентов для моделируемых ФПП возможна путем математической формализации задачи, учитывающей ограничения по содержанию незаменимых аминокислот, белка, углеводов и кальция. Это позволит получить рецептуры изделий, применение которых в технологии ФПП обеспечит максимальное приближение значений массовой доли нормируемых нутриентов к требуемым величинам.

1. Коробова Л.А. Математическое моделирование. Практикум / Л.А. Коробова, Ю.В. Бугаев, С.Н. Черняева, Ю.А. Сафонова. - Воронеж: ВГУИТ, 2017. – 112 с.
2. Сафонова Ю.А. Изучение влияния условий биоактивации семян бобовых культур на их антипитательную ценность / Ю.А. Сафонова, А.В. Лемешкин, Н.А. Мурашова // Сборник статей по материалам XI междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы современной науки». - Уфа: Изд. Дендра, 2018. – С. 121-125.
3. Сафонова Ю.А. Информационная система поддержки принятия решений при разработке рецептур мучных кондитерских изделий / Ю.А. Сафонова, С.С. Рылев, А.С. Баринков // Сборник статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения». - Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 143-147.
4. Курчаева Е.Е. Применение математических методов при составлении рациона животных / Е.Е. Курчаева, Ю.А. Сафонова, А.С. Баринков // Сборник статей по материалам VII междунар. науч.-практ. конф. «Инновации в науке и практике». - Уфа: Изд. Дендра, 2018. – С. 222-226.
5. Курчаева Е.Е. Моделирование процесса получения нового вида мясного продукта с применением функциональных смесей // Е.Е. Курчаева, Ю.А. Сафонова, А.В. Лемешкин, С.Н. Черняева // Сборник статей XVIII Междунар. науч.-практ. конф. «World science: problems and innovations». Ч.1. - Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 57-60.
6. Сафонова Ю.А. Оптимизация рецептурных компонентов с помощью математического планирования эксперимента / Ю.А. Сафонова, А.В. Лемешкин, А.А. Тарасов // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Современные тенденции развития науки и технологий»: Сб. научных трудов междунар. науч.-практ. конф. - Белгород: Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2017. – Ч. II. - С. 152-154.