

УДК 637.1/3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ

КӨПКОМПОНЕНТТІ ӨНІМДЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

MATHEMATICAL MODELING OF MULTICOMPONENT OF PRODUCTS

Д.А. ТЛЕВЛЕСОВА, В.З. КРУЧЕНЕЦКИЙ, Т.К. КУЛАЖАНОВ, О.Н. НУРЖУМАЕВ, Ж.А. НУГМАНОВ
D.A. TLEVLESSOVA, V.Z. KRUCHENETSKY, T.K. KULAZHANOV, O.N. NURZHUMAEV, ZH.A. NUGMANOV

(Алматынський технологический университет)
(Алматы технологиялық университеті)
(Almaty Technological University)
E-mail. kruchen_37ⁱ@mail.ru

Статья посвящена разработке математической модели состава плавленых сыров, учитывающей не только основные компоненты, но и технологические параметры, режимы при их производстве. Приведены результаты моделирования и экспериментальной оценки ее адекватности, влияния на качественные показатели полученного сырного продукта. Результаты моделирования прошли апробацию при изготовлении опытных партий плавленого сыра, превосходящего по качественным показателям контрольные образцы.

Мақала балқытылған ірімшік құрамының математикалық моделін әзірлеуге, оларды өндіру режимдері кезінде негізгі компоненттері ғана емес және технологиялық параметрлерін әзірлеуге арналған. Модельдеу және эксперименттік бағалау нәтижелері оның тепе-теңдігіне, ірімшік өнімінен алынған сапалық көрсеткіштеріне әсер етуі келтірілген. Балқытылған ірімшіктің тәжірибелік партиясын дайындау кезінде, бақылау үлгілері сапалық көрсеткіштері бойынша модельдеу нәтижелері сынақтан өтті.

The article is sanctified to development of mathematical model of composition of processes cheeses, taking into account not only basic components but also technological parameters, modes at their production. Results over of design and experimental estimation of her adequacy, influences, are brought on the quality indexes of the got cheese product Design results passed approbation, and also at making of experience parties of processes cheeses excelling control standards on quality indexes.

Ключевые слова: моделирование, плавленый сыр, витамины, консистенция поликомпонентные смеси, жиры, белки, углеводы.

Негізгі сөздер: модельдеу, балқытылған ірімшік, дәрумендер, консистенциясы поликомпонентті қоспалар, майлар, ақуыздар, көмірсулар.

Key words: design, processes cheeses, vitamins, consistency, multicomponent mixtures, fats, squirrel, carbohydrates.

Введение

Современные условия развития науки приводят к необходимости проводить комплексное исследование объекта. Экспериментом является вид деятельности, предпринимаемой в целях научного познания, открытия объективных закономерностей и состоящий в воздействии на изучаемый объект посредством специальных инструментов и прибо-

ров. Модельным экспериментом является особая форма эксперимента, характерной чертой которого служит использование действующих материальных моделей в качестве специальных средств экспериментального исследования.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является плавленый сыр, методы исследований – имита-

ционное моделирование с последующей экспериментальной оценкой адекватности математической модели.

При проектировании состава поликомпонентных продуктов используется растительное сырье, обладающее повышенной биологической ценностью, что позволяет получать композиции, характеризующиеся улучшенным витаминным, минеральным, углеводным и аминокислотным составом по сравнению с отдельно взятыми компонентами; при этом возможно более тонкое управление процессом формирования продуктов.

Наиболее изученным разделом математического моделирования является линейное программирование, для решения задач которого разработан целый комплекс эффективных методов, алгоритмов и программ.

Плавленные сыры – продукты с многокомпонентным составом, технология которых позволяет, внося новые ингредиенты, моделировать не только вкус, цвет и запах, но и консистенцию и биологическую ценность продукта. Во многих университетах ведутся работы по автоматизации процесса проектирования состава поликомпонентных смесей и продуктов.

При создании поликомпонентных смесей заданного сырьевого состава и повышения используют объектно-ориентированные подходы. Особое внимание при проектировании продуктов в последнее время уделяется корректированию биохимического состава продукта для повышения пищевой и биологической ценности.[1]

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим моделирование состава плавленого сыра. Его белковую и жировую основу составляют сычужные сыры и продукты молочного происхождения, витаминно-минеральный комплекс - добавки растительного происхождения.

1. Составление рецептуры. Обозначим через $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ соответственно искомый удельный вес включения в состав продукта каждого вида сырья. Тогда задачу можно записать в следующем виде: найти искомые значения $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$, при которых

$$F(x) = \min\{a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7\}, \quad (1)$$

где a_i – энергетическая ценность каждого вида сырья, при соблюдении следующих условий:

1) наличие в вырабатываемом продукте сухих веществ не более 50%.

$$s_1x_1 + s_2x_2 + s_3x_3 + s_4x_4 + s_5x_5 + s_6x_6 + s_7x_7 \leq 0,5, \quad (2)$$

где s_i – содержание сухих веществ в каждом виде сырья

2) наличие в вырабатываемом продукте не более 30% жиров,

$$z_1x_1 + z_2x_2 + z_3x_3 + z_4x_4 + z_5x_5 + z_6x_6 + z_7x_7 \leq 0,3, \quad (2a)$$

где z_i – содержание жира в каждом виде сырья.

Выражение для получения единицы продукта имеет вид

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1. \quad (3)$$

2. Математическая обработка результатов эксперимента. Статистическая обработка данных выполнялась путем определения стандартного отклонения ($\pm SD$) в трех повторностях. Для уменьшения числа опытов в планах второго порядка в настоящее время повсеместно реализуется идея композиционного планирования. Суть этой идеи состоит в том, что сначала осуществляют план полного факторного эксперимента 2 порядка, а затем, если полученное уравнение не может быть признано работоспособным, добавляют к этому плану некоторое количество специальным образом расположенных, так называемых «звездных» точек и опыт в центре эксперимента. По результатам двухфакторного эксперимента можно составить уравнение, в котором помимо линейных членов будет член, учитывающий эффект парного межфакторного взаимодействия:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (4)$$

Такая возможность имеется в связи с тем, что эксперимент по плану ПФЭ² (полный факторный эксперимент полиномом 2 степени) насчитывает $N = 2^2 = 4$ опыта, а число коэффициентов N' в линейном уравнении всего три. Рассматривая метод наименьших квадратов (МНК) применительно к плану ПФЭ², надо невязки формулировать с учетом эффекта межфакторного взаимодействия и в конечном счете - формулу для расчета независимой оценки эффекта парного межфакторного взаимодействия b_{12} :

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{1i}x_{2i}\bar{y}}{N} \quad (5)$$

Линейные коэффициенты в линейном уравнении целиком характеризуют влияние исследуемого фактора на процесс (табл. 1).

Таблица 1 - Влияние исследуемых факторов на процесс парного межфакторного взаимодействия ингредиентов

X	X1	X2	X3
6	-	+	+
7	+	-	+
8	+	+	+
9	-R	0	0
10	+R	0	0
11	0	-R	0
12	0	+R	0
13	0	0	-R
14	0	0	+R
15	0	0	0

Этот план симметричный $\sum_{u=1}^N x_{iu} = 0$ и линейно ортогональный $\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} = 0$. Иными словами в уравнении

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 \quad (6)$$

независимыми от всех других оценок будут лишь оценки линейных коэффициентов и эффектов парных межфакторных взаимодействий:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}; b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N (x_{iu} x_{ju})^2} \quad (7)$$

Оценки свободного члена и квадратичных эффектов в уравнении (7), полученном МНК по симметричному плану, должны рассчитываться по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{0u} \bar{y}_u}{N}; b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N (x_{iu}^2)^2}; b_{jj} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ju}^2 \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N (x_{ju}^2)^2} \quad (8)$$

и будут связаны коррелированно между собой, так как

$$\sum_{u=1}^N x_{0u} x_{iu}^2 \neq 0 \text{ и } \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 x_{ju}^2 \neq 0, \quad (9)$$

где $x_{0u} = 1,0$ безразмерная величина факторов [2].

Рассмотренная задача - линейного программирования, решение которой определяет удельный вес участия каждого вида сырья в производстве единицы искомого продукта при обеспечении минимальной стоимости его выработки. Решение данных систем уравнений осуществляется при использовании пакетов программ по оптимизации рецептур пищевых продуктов, позволяющих в результате их математической обработки определить относительное содержание сырьевых компонентов, а также величину энергетической ценности проектируемых композиций. Результаты расчёта сведены в табл. 2.

Таблица 2 - Пищевая и энергетическая ценность сырного продукта с растительным наполнителем

Составляющие	Норма потребления, г (мг. ккал)/сут	Контрольный плавленный сыр		Опытный плавленный сыр	
		Содержание	Удовлетворение суточной потребности, %	Содержание	Удовлетворение суточной потребности, %
Белки, г/100 г	77,5	11,3	14,5	29,75	38,63
Жиры, г/100 г	87	10,9	12,5	18	20,1
Каротиноиды, мг/100 г	1,5	0,27	18,0	0,54	36
Витамин С, мг/100 г	75	1,08	1,4	2,40	3,2

В таблице 2 отражены значения удовлетворения суточной потребности человека в витаминах, жирах, белках. Из этого следует, что разработанный по полученной математической модели плавленный сыр удовлетворяет потребности человека лучше, чем контрольный образец. Трёхмерное представление указанной математической модели, полученной с использованием пакета программ Matlab,

показано на рис.1. Близкие к ним зависимости оказались и при использовании электронного процессора MS Excel. Имеющееся небольшое расхождение, очевидно, связано с тем, что, как показала практика многочисленных вариантов использования программ Matlab, решение уравнений, начиная с третьей и более степени, дает ощутимые погрешности [3].

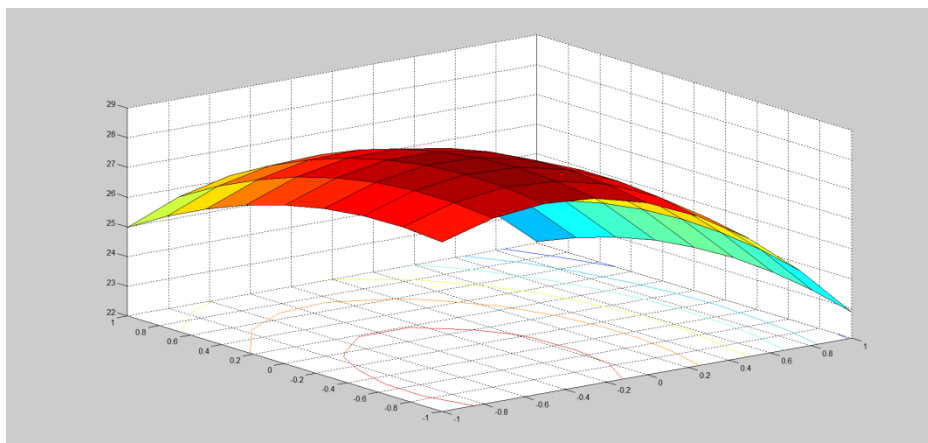


Рис.1 - Представление математической модели, отражающей зависимость свойств плавленого сыра от состава ингредиентов.

Полученный продукт подтверждает возможность корректирования качественных показателей от его состава.

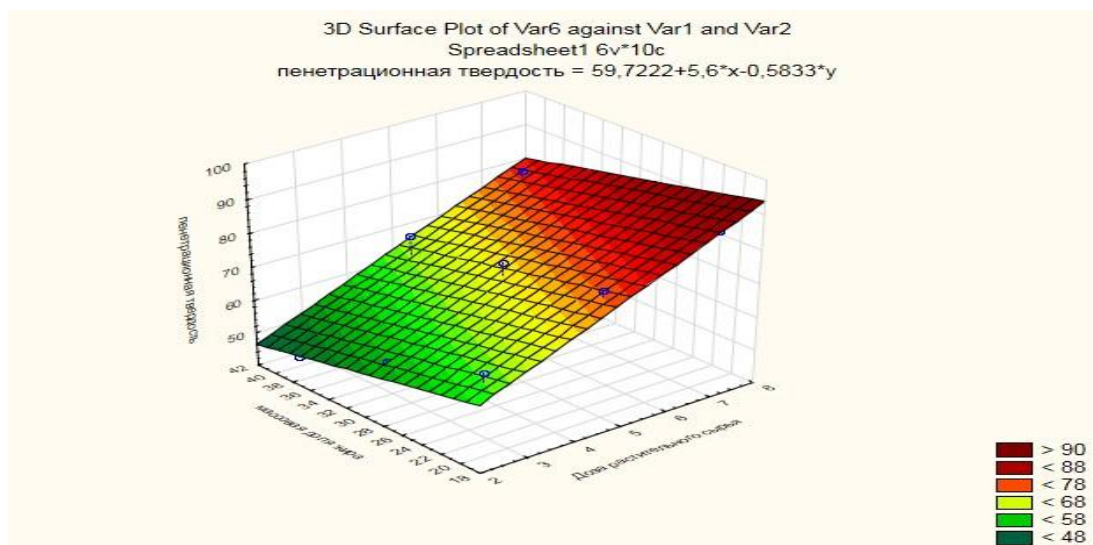


Рис. 2 - Зависимость пенетрационной твердости плавленого сыра от дозы вносимого растительного сыра и массовой доли жира.

Варьируя дозу вносимых компонентов и их свойства, можно корректировать консистенцию пищевого продукта. Данное предположение подтверждает рис. 2, на котором показана зависимость пенетрационной твердости от дозы вносимого растительного сыра и массовой доли жира. Как видно из рисунка, зависимость линейная, что говорит о прямой зависимости твердости сыра от дозы вносимого растительного сыра.

Заключение

С помощью разработанного алгоритма и математической модели определена оптимальная рецептура выработанного плавленого сыра. Плавленый сыр получил высокие

баллы по органолептическому анализу.

По результатам обработки экспериментальных данных с использованием методов математической статистики и компьютерных средств выявлено, что математическая модель адекватна, а выполненный по предложенной рецептуре плавленый сыр удовлетворяет суточной потребности человека лучше, чем контрольный образец.

Предложенная рецептура удовлетворяет заявленной функциональной направленности по улучшению качества исследуемого сырного продукта: в нем содержание холестерина по сравнению с контрольным плавленым сыром - уменьшилось на 75%; содержа-

ние пищевых волокон - повысилось на 20%. Кроме того, употребление 100 г сырного продукта обеспечивает суточную потребность человека в полиненасыщенных жирных кислотах на 29%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания: учебное пособие / Е.И. Муратова, С.Г. Толстых, С.И. Дворецкий, О.В. Зюзина, Д.В. Леонов. – Тамбов:

Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. -80 с.

2. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента.- М.: ДеЛипринт, 2005.-296с.

3. Крученецкий В.З., Калабина А.А. Крученецкий В.В, Мименбаева А.Б., Сериккулова Ж.К. О некоторых «подводных камнях» при использовании простой линейной регрессии и универсальных компьютерных средств. // Вестник Алматинского технологического университета. - №5. - 2013. - С 32-38.

УДК 664.871:637.521.4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУШЕНОГО МЯСНОГО ПОЛУФАБРИКАТА, ПОЛУЧЕННОГО СТП-СУШКОЙ

АЖЖ-КЕПТІРУДЕН АЛЫНҒАН КЕПТІРІЛГЕН ЕТ ЖАРТЫЛАЙФАБРИКАТЫНЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

TECHNICAL CHARACTERISTICS DRIED MEAT SEMIFINISHED OBTAINED DRYING MIXED HEAT SUPPLY

*A.V. НЕМИРИЧ¹, A.E. МАКСИМЕНКО², A.V. ГАВРИШ¹, Л.Л. РЕКЕДА¹
A.V. NIEMIRICH¹, A.E. MAKSIMENKO², A.V. GAVRISH¹, L.L. REKEDA¹*

¹(Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина)

²(Луганский национальный аграрный университет, г.Луганск, Украина)

¹(Ұлттық тағам технологиясы университеті, Киев қ., Украина)

²(Луганск ұлттық аграрлық университеті, Луганск қ., Украина)

¹(National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine)

²(Lugansk National Agrarian University, Lugansk, Ukraine)

E-mail: avnemirich@mail.ru, ann.maksimenko@mail.ru,

aquaaqua2@yandex.ru, ludarekeda95@ukr.net

Определены формы связи влаги в восстановленных образцах сушеного мясного полуфабриката (СМП), его технологические характеристики: коэффициент водопоглощения, влагоудерживающая, жирудерживающая, эмульгирующая способности и агрегативная стойкость. Установлено, что СМП имеет на 8,7% больше слабо связанной влаги, чем в образце конвективной сушки. Наличие этой влаги придает продукту большую сочность и нежную консистенцию. СМП обладает высокими технологическими свойствами, что позволяет очертить направления их использования в технологиях кулинарной продукции.

Кептірілген ет жартылайфабрикатының (КЕЖ) қалыпқа келтірілген үлгілерінде судың байланыс түрлері, оның технологиялық сипаттамалары: суды сіңіру коэффициенті, ылғалдылықты ұстап тұру, майды ұстап тұру және эмульгирлеуші қасиеттері, агрегативті тұрақтылығы анықталды. Конвективті кептірілген үлгімен салыстырғанда КЕЖ әлсіз байланысқан су 8,7 %-дан жоғары болатындығы табылды. Аталған ылғалдылықтың болуы, өнімге шырындылық пен нәзік консистенция береді. КЕЖ жоғары технологиялық қасиеттерге ие болуы, оны аспаздық өнімдер технологияларында қолдану бағыттарын көрсетеді.

Determination of moisture in the form of communication reduced samples of roast beef semi-finished products (BSFP), its technological characteristics: water absorption, water holding, keep the fat, emulsifying capacity and aggregative resistance. It is found that the BSFP has 8.7% more