

обладает лечебными и протекторными свойствами. За счет использования недорогого рыбного сырья и микрокристаллической целлюлозы, получаемой из вторичного сырья, ценовая политика данного продукта была значительно снижена. Применение данного продукта с профилактической целью помогает сократить риск развития таких заболеваний, как рак толстой кишки, дивертикулез, аппендицит, грыжа пищевого отверстия диафрагмы, желчнокаменная болезнь, сахарный диабет, ожирение, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, гиперлиппротеидемия, варикозное расширение и тромбоз вен нижних конечностей.

В результате проведенной работы был получен положительный технологический эффект без ухудшения органолептических показателей и с отсутствием каких-либо побочных эффектов.

Литература

- 1 Батиста О.А. Микрокристаллическая целлюлоза // Целлюлоза и ее производные: пер. с англ. / под ред. Н. Байкпа, Л. Сегала. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – Т.2. – С. 412–423.
- 2 Павлоцкая Л.Ф., Дуденко Н.В., Эйдельман М.М. Физиология питания: учеб. – М.: Высш. шк., 1989. – 368 с.



УДК 641.55:004

О.Я. Кольман, Г.В. Иванова

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУР МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Проведен регрессионный и корреляционный анализ экспериментальных данных, на основании полученных результатов определено оптимальное значение компонентов, входящих в состав рецептур мучных кондитерских изделий.

Ключевые слова: мучные кондитерские изделия, кексы пониженной калорийности, порошок из выжимок ягод брусники и клюквы, структурно-механические показатели.

O.Ja. Kolman, G.V. Ivanova

FORMULATION MODELLING AND OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONAL PURPOSE WAD

The regressive and correlation analysis of the experimental data is conducted; the optimal value of the components that are the part of wad formulations is determined on the basis of the received results.

Key words: wad, fruitcakes with reduced calorie content, powder from cowberry and cranberry residue, structural and mechanical indices.

Кондитерские изделия представляют собой группу высококалорийной продукции, которая пользуется у населения большим спросом и популярностью. Основным недостатком кондитерских изделий заключается в том, что их чрезмерное потребление нарушает сбалансированность рационов питания по пищевым веществам и энергетической ценности, что объясняется высоким содержанием жира, углеводов и достаточно низким, а в ряде случаев полным отсутствием пищевых волокон, минеральных веществ. Поэтому разработка новых видов кондитерских изделий функционального назначения представляется нам актуальной. В настоящий момент наиболее перспективным источником пищевых волокон могут стать выжимки ягод – отходы соковых производств предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК.

По собственным исследованиям выявлено, что сушеные выжимки ягод брусники и клюквы содержат пектина: 1,66–3,43%; клетчатки 45,89–47,03%; витамина С 2,69–3,48 мг%; кислот 3,36–4,35%; Na 15,52–4,18 мг%; K 246,02–301,52 мг%; Ca 43,90–67,38 мг%; Mg 28,13–48,35 мг%.

Цель исследований. Разработать новые виды мучных кондитерских изделий функционального назначения с заданными структурно-механическими свойствами с использованием в качестве функциональной добавки порошков из сушеных выжимок ягод (брусники и клюквы).

Задачи исследований. Изучить структурно-механические показатели и определить оптимальную концентрацию компонентов (муки пшеничной высшего сорта, порошка из сушеных выжимок (брусники, клюквы)), входящих в состав мучных кондитерских изделий.

Разработаны рецептуры кексов пониженной калорийности с порошком из выжимок ягод (брусники, клюквы). Сушеные выжимки ягод брусники и клюквы предварительно были измельчены до порошкообразной консистенции (мельница УИМ-2(Т), размер частиц 0,4–0,5 мм). Полученный порошок просеян через сито (размер ячеек 0,5 мм, вибросито «Каскад»).

Определение оптимального соотношения компонентов, входящих в состав рецептуры мучных кондитерских изделий

Оптимальное содержание порошка из сушеных выжимок ягод брусники, клюквы в выпечных кексах определялось экспериментально. В результате эксперимента стремились не только увеличить содержание минеральных веществ и пищевых волокон в кексах, но и стабилизировать их структурно-механические и органолептические показатели.

Решение задачи оптимизации рецептурной смеси проводили в 3 этапа. Первый этап состоит в планировании и проведении эксперимента, а именно – нахождении массовой доли компонентов смеси, с которыми проводится контрольный эксперимент. Второй этап: исследование модели смеси после проведения эксперимента, нахождение параметров модели (регрессивно-факторная зависимость). Третий этап включает нахождение уже оптимальных массовых долей компонентов, которые необходимо взять для производства данной продукции.

Результаты исследований. *Первый этап.* Определены пределы концентрации рецептурных компонентов композиций на основании проведенных предварительных поисковых проработок, а также предельное напряжение сдвига, пластичность, эластичность в кексах пониженной калорийности с различной концентрацией порошка из выжимок ягод (брусники, клюквы). Результаты опытов представлены в таблицах 1,2.

Таблица 1

Физико-химические показатели кекса пониженной калорийности с порошком из выжимок ягод брусники

Номер опыта	Композиция 1: экспериментальные данные				
	X ₁	X ₂	Y ₁ (опт)	Y ₂ (опт)	Y ₃ (опт)
1	12224	3447	108	78	79
2	12694	2977	99	76	78
3	13007	2664	93	74	78
4	13321	2350	87	71	77
5	13634	2037	81	69	77
6	13947	1724	75	67	76
7	14261	1410	69	64	76
8	14574	1097	65	62	75
9	14888	783	60	60	75
10	12067	3604	111	79	79
11	11754	3917	117	83	80
12	10970	4701	123	87	80

**Физико-химические показатели кекса пониженной калорийности с порошком
из выжимок ягод клюквы**

Номер опыта	Композиция 2: экспериментальные данные				
	X ₁	X ₂	Y ₁ (опт)	Y ₂ (опт)	Y ₃ (опт)
1	12224	3447	110	80	83
2	12694	2977	101	78	82
3	13007	2664	94	76	82
4	13321	2350	89	73	81
5	13634	2037	82	71	81
6	13947	1724	76	69	80
7	14261	1410	71	66	80
8	14574	1097	66	64	79
9	14888	783	62	62	79
10	12067	3604	112	81	83
11	11754	3917	118	84	83
12	10970	4701	125	89	84

Для удобства введем следующие обозначения:

- композиция 1 – мука пшеничная высшего сорта – порошок из сушеных выжимок ягод брусники;
- композиция 2 – мука пшеничная высшего сорта – порошок из сушеных выжимок ягод клюквы.

На качество кекса влияют структурно-механические показатели. Для характеристики качества кексов пониженной калорийности с порошком из выжимок ягод брусники или клюквы были выбраны следующие показатели: y_1 – предельное напряжение сдвига, Па; y_2 – пластичность; y_3 – эластичность.

Независимыми или варьируемыми факторами являются: x_1 – концентрация муки высшего сорта, %; x_2 – концентрация порошка из сушеных выжимок ягод брусники или клюквы, %.

Второй этап. Полученные экспериментальные данные обработаны с помощью пакета программ STATISTICA 6.0 (проведен регрессионный и корреляционный анализ данных).

Для оценки надежности уравнения регрессии и значимости коэффициента корреляции используется F-критерий Фишера.

Результаты линейного регрессионного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты линейного регрессионного анализа

Функция отклика	Коэффициент корреляции (R)	Коэффициент детерминации (R ²)	Критерий Фишера (F)
Композиция 1			
Предельное напряжение сдвига	0,999	0,998	3712,88*
Пластичность, %	0,997	0,995	1040,35*
Эластичность, %	0,991	0,98	249,24*
Композиция 2			
Предельное напряжение сдвига	0,999	0,998	2466,099*
Пластичность, %	0,998	0,996	1404,614*
Эластичность, %	0,98	0,97	181,81*

* Критический уровень $F_{табл}$ находим с помощью таблицы (F – распределение: критические значения F с v_1 и v_2 степенями свободы, уровень значимости в 5 %): $F_{табл}=4,26$.

Поскольку исследования подтвердили, что $F_{факт} > F_{табл}$, то представленные ниже уравнения адекватно описывают опытные данные, т.е. влияние концентрации каждого компонента композиции на их структурно-механические показатели.

Для композиции 1:

$$y_1 = -621432,37 + 39,66 \cdot x_1 + 39,67 \cdot x_2; \quad (1)$$

$$y_2 = -57640,2 + 3,682 \cdot x_1 + 3,688 \cdot x_2; \quad (2)$$

$$y_3 = -74451,2 + 4,7556 \cdot x_1 + 4,7572 \cdot x_2. \quad (3)$$

Для композиции 2:

$$y_1 = -564603,16 + 36,032 \cdot x_1 + 36,05 \cdot x_2; \quad (4)$$

$$y_2 = -24955,501 + 1,5961 \cdot x_1 + 1,603 \cdot x_2; \quad (5)$$

$$y_3 = -41764,7939 + 2,6701 \cdot x_1 + 2,6715 \cdot x_2. \quad (6)$$

В таблице 4 представлен корреляционный анализ, показывающий тесноту связей между факторами и функциями отклика.

Таблица 4

Корреляционный анализ влияния факторов на функции отклика

Функция отклика	Коэффициент парной корреляции	
	Концентрация муки высшего сорта x'_1 , %	Концентрация порошка из сушеных выжимок ягод брусники, клюквы x'_2 , %
Композиция 1		
Предельное напряжение сдвига	- 0,995	0,995
Пластичность, %	- 0,997	0,997
Эластичность, %	- 0,98	0,98
Композиция 2		
Предельное напряжение сдвига	- 0,995	0,995
Пластичность, %	- 0,999	0,999
Эластичность, %	- 0,985	0,985

Из полученных уравнений, графиков и расчетных данных видно, что искомые функции y_1 , y_2 , y_3 , адекватно описывающие процесс изменения структурно-механических свойств, аппроксимированы линейными прямыми, анализ которых позволил выявить следующие закономерности для кексов пониженной калорийности с порошком из выжимок ягод брусники, клюквы:

- на предельное напряжение сдвига существенное влияние оказывает рост или снижение концентрации муки пшеничной ($r_1 = -0,995$; $r_2 = -0,995$) и порошка из сушеных выжимок ягод брусники, клюквы ($r_1 = 0,995$; $r_2 = 0,995$);
- на пластичность существенное влияние оказывает рост или снижение концентрации муки пшеничной ($r_1 = -0,997$; $r_2 = -0,999$) и сушеных выжимок ягод брусники, клюквы ($r_1 = 0,997$; $r_2 = -0,999$);
- на эластичность существенное влияние оказывает рост или снижение концентрации муки пшеничной ($r_1 = -0,98$; $r_2 = -0,985$) и сушеных выжимок ягод брусники, клюквы ($r_1 = 0,98$; $r_2 = -0,985$).

Результаты полученных экспериментальных данных и их анализ подтверждают правильность выдвинутого предположения о структурной совместимости ингредиентов, входящих в рецептуру кексов.

Третий этап. Зависимость изменения структурно-механических свойств от концентрации рецептурных компонентов композиций носит соответственно линейный характер. Для определения оптимальных соотношений компонентов, составляющих композиции, использовался пакет программ Mathcad.

Поиск оптимума функций y_1, y_2, y_3 осуществлялся по полученным уравнениям регрессии.

Минимальные и максимальные концентрации компонентов x_1, x_2 определялись по органолептическим показателям и составили для кексов пониженной калорийности с порошком из сушеных выжимок ягод брусники, клюквы:

$$11754 \leq x_1 \leq 12694 ,$$

$$29777 \leq x_2 \leq 3917 .$$

Пределы функций y_1, y_2, y_3 задавались исходя из органолептических характеристик и требований к структурно-механическим свойствам кексов пониженной калорийности. Для предложенных композиций кексов пониженной калорийности с порошком из сушеных выжимок ягод брусники, клюквы неравенства приняли следующий вид:

$$112 \leq y_1 \leq 120 ,$$

$$79 \leq y_2 \leq 87 ,$$

$$79 \leq y_3 \leq 84 .$$

Оптимальная концентрация каждого компонента в композициях находилась определением среднего арифметического. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5

Оптимальные концентрации компонентов в композициях

Номер композиции	Поиск минимума функций y_n	Оптимальные концентрации компонентов, %		Значение функции $y(x_1, x_2, x_3)$
		Мука пшеничная высшего сорта x_1 , %	Порошок из сушеных выжимок ягод брусники, клюквы x_2 , %	
Композиция 1				
1	y_1	11754	3917	118,66
	y_2	12067	3604	82,046
	y_3	11754	3917	80,075
	Среднее значение x	11858,33	3812,66	-
Композиция 2				
2	y_1	12067	3604	119,184
	y_2	11754	3917	84,01
	y_3	11754	3917	83,827
	Среднее значение x	11858,33	3812,66	-

Для композиции 1 получено следующее соотношение: $x_1 = 11858,33$; $x_2 = 3812,66$ при значениях функций $y_1 = 118,66$ Па; $y_2 = 82,046$ %; $y_3 = 80,075$ %; для композиции 2: $x_1 = 11858,33$; $x_2 = 3812,66$ при значении функций $y_1 = 119,184$ Па; $y_2 = 84,01$ %; $y_3 = 83,827$ %.

Оптимальная концентрация компонентов композиций по структурно-механическим показателям в графическом виде представлена на рисунках 1–6.

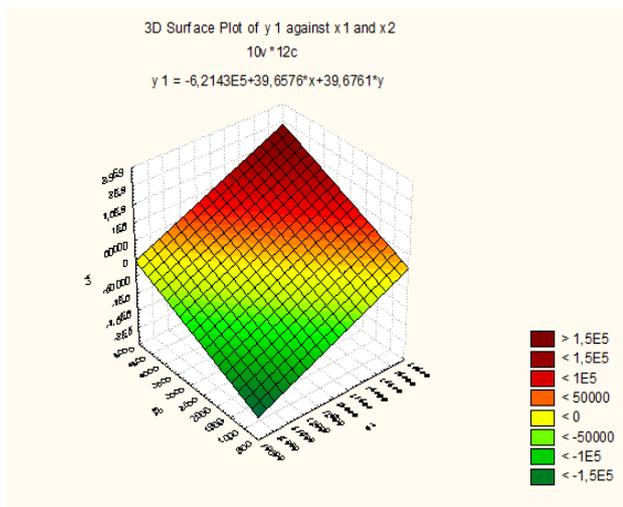


Рис. 1. Оптимальная концентрация компонентов кекса с порошком из выжимок ягод брусники по предельному напряжению сдвига

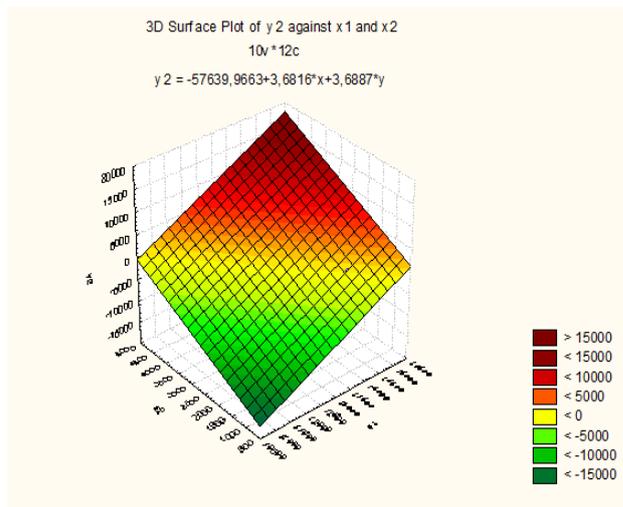


Рис. 2. Оптимальная концентрация компонентов кекса с порошком из выжимок ягод брусники по пластичности

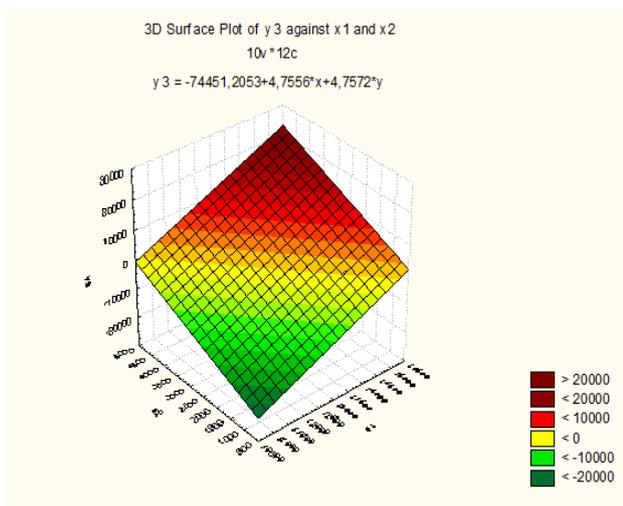


Рис. 3. Оптимальная концентрация компонентов кекса с порошком из выжимок ягод брусники по эластичности

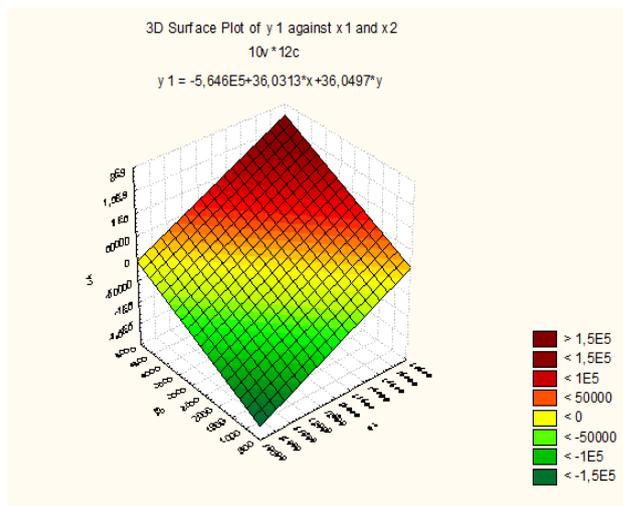


Рис. 4. Оптимальная концентрация компонентов кекса с порошком из выжимок ягод клюквы по предельному напряжению сдвига

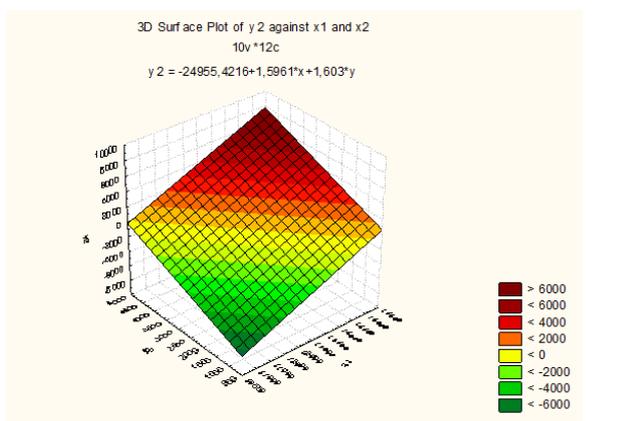


Рис. 5. Оптимальная концентрация компонентов кекса с порошком из выжимок ягод клюквы по пластичности

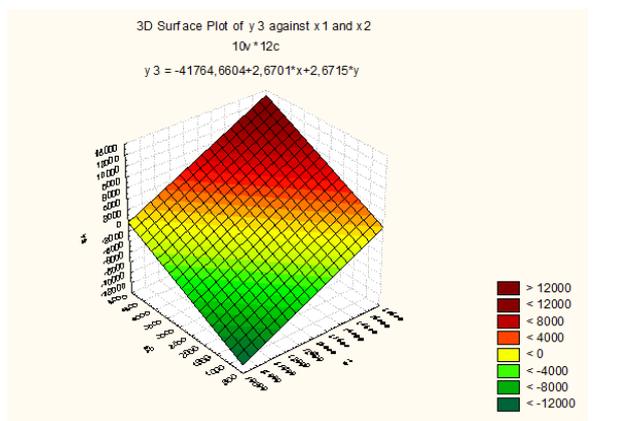


Рис. 6. Оптимальная концентрация компонентов кекса с порошком из выжимок ягод клюквы по эластичности

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что по сравнению с традиционными рецептурами кексов введение в рецептуру кекса пониженной калорийности порошка из сушеных выжимок из ягод (брусники, клюквы) позволяет, с одной стороны, увеличить содержание в них пищевых волокон в среднем на 5,83–6,26 %, минеральных веществ, а с другой стороны – снизить калорийность изделий в среднем на 39,27 ккал.

Литература

1. *Максимов А.С., Черных В.Я.* Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств. – М.: Изд. комплекс МГУПП, 2004. – 163 с.
2. *Николаев Б.А.* Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов. – М.: Экономика, 1964. – 295 с.
3. *Доугерти К.* Введение в эконометрику: пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 402 с.

