УДК: 663.674: 001.891.53 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.192

Оптимизация рецептуры мороженого методом симплекс-решетчатого планирования

Демина Екатерина Николаевна
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95
E-mail: tpp_oreluniver@mail.ru

Березина Наталья Александровна
Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина
Адрес: 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69
E-mail: jrdan@yandex.ru

Казаков Андрей Владимирович
Орловский государственный университет экономики и торговли
Адрес: 302028, г. Орел, ул. Октябрьская, д. 12
E-mail: andy.kazakov@yandex.ru

Мороженое является продуктом с многокомпонентным составом, технология его производства позволяет использовать разнообразные виды сырья – молочные компоненты, плодоовощные наполнители, стабилизаторы-эмульгаторы, вкусоароматические вещества и др. Создание рецептуры обогащенного мороженого с использованием традиционных математических методов является сложной задачей. Перспективным направлением служит использование компьютерных средств метаматематического моделирования, в частности метода симплекс-решетчатого планирования. В настоящей работе представлены исследования по оптимизации рецептуры мороженого с использованием белковых обогатителей – амарантового жмыха и сывороточного белка. На первом этапе работы было проведено симплекс-решетчатое планирование эксперимента, в соответствии с которым вырабатывали модельные композиции с различным сочетанием молочных ингредиентов и белкового обогатителя. Определение органолептических показателей качества выработанных образцов и взбитости модельных композиций осуществлялось на втором этапе. Полученные результаты послужили основой для построения математических зависимостей исследуемых параметров на третьем этапе работы. По результатам обработки графиков «состав-свойство» для органолептической оценки и физико-химических показателей и оптимизации с помощью Excel найдены оптимальные соотношения молока сухого, молока сгущенного, амарантового жмыха и белковой добавки в смеси для мороженого. Для мороженого с амарантовым жмыхом содержание молока сухого составило 4,4%, молока сгущенного 9,5%, белковой добавки – 1,5% к общей массе смеси. Смесь для мороженого обогащенного сывороточным белком включала 8,7% сухого молока, 5,1% сгущенного молока 1,3% белковой добавки. На четвертом этапе проведена комплексная оценка качества готовых продуктов, которая свидетельствует о том, что полученное мороженое характеризуется хорошими органолептическими показателями, имеет высокую взбитость и полноценный состав основных пищевых компонентов. Мороженое, обогащенное сывороточным белком и амарантовым жмыхом, обладает высокими показателями биологической ценности – 61,92% и 58,56 % соответственно, по сравнению с контрольным образцом. Полученные данные свидетельствуют о том, что оптимизация рецептуры мороженого с применением компьютерного моделирования позволяет получить готовый продукт стандартного качества. Симплекс-решетчатое планирование способствует проведению большого объема вычислений за короткий промежуток времени и получению рецептурной смеси с использованием различных сырьевых компонентов для обогащения традиционных молочных продуктов.

Ключевые слова: математическое моделирование рецептуры, симплекс-решетчатое планирование, мороженое, белковый обогатитель, амарантовый жмых, сывороточный белок

Введение

Многокомпонентность состава мороженого определяет его конкурентные преимущества по сравнению с другими видами молочных продуктов. Мороженое является продуктом с гибким сырьевым составом (Казаков и др., 2020). Ассортимент данного вида продукции довольно широк, так как технология позволяет использовать разнообразные виды сырья. Ценные питательные вещества молока, сливок, плодоовощных сиропов при производстве мороженого сохраняются практически без количественных и качественных изменений в течение длительного времени благодаря замораживанию и хранению при низких отрицательных температурах, которые предупреждают микробиологическую и замедляют окислительную порчу продукта (Яковлева & Арсеньева, 2012). Также мороженое может служить основой для создания обогащенных молочных продуктов повышенной пищевой и биологической ценности (Bavyko & Bondarchuk, 2019; Бобченко, Текутьева, Павлова, Сон, & Боцко, 2012; Субботина, 2009).

Разработка рецептур многокомпонентных продуктов в пищевой промышленности с использованием традиционных математических методов является довольно сложным и продолжительным по времени процессом (Лисин, 2007). Наиболее оптимальными для использования являются методы компьютерного моделирования (Остриков, Голубева, & Пожидаева, 2011). Используя математическую среду компьютерной техники можно просчитать большое число вариантов рецептур с различным содержанием пищевых компонентов (Зеленина & Зюзина, 2011). В дальнейшем, анализируя полученные данные, можно выбрать наиболее оптимальные соотношения в соответствии с основными показателями качества готового продукта. При математическом моделировании осуществляется возможность построения графиков «состав-свойство», на основании которых можно сделать вывод о зависимости между определенными компонентами и стандартными показателями качества продукта, что способствует созданию обогащенных продуктов (Березина, 2012).

Теоретическое обоснование

Целью работы является оптимизация рецептурной смеси для мороженого обогащенного белком. Потенциальным источником белка растительного происхождения являются жмыхи, которые образуются в процессе переработки семян масличных культур (Журавель, Чумакова, & Мартиросян, 2012). Перспективы использования жмыхов обусловлены их полноценным химическим составом и сырьевой доступностью (Симоненкова, Демина, & Казаков, 2016). Высокой пищевой ценностью обладает амарантовый жмых, который содержит около 20% белка, до 4% жиров и 67% углеводов (Derkanosova, Stakhurlova, & Pshenichnaya, 2020). Помимо этого, в нем содержится до 1,5% клетчатки, большое количество кальция, фосфора и железа (Магомедов, Олейникова, Шевякова, Плотникова, & Седых, 2014). Жмых содержит витамины группы B, D, фолиевую кислоту, минеральные вещества – цинк, фосфор, кальций, калий, магний, марганец, железо (Алексеева, 2013). В качестве дополнительного источника молочного белка можно рассматривать концентрат сывороточных белков, аминокислотный состав которых наиболее близок к аминокислотному составу белка мышечной ткани человека (Флоринская, 2016). Также сывороточные белки содержат наибольшее количество валина, лейцина, изолейцина, метионина по сравнению с другими видами белков (Мельникова & Станиславская, 2019). В состав сывороточных белков входят иммуноглобулины, обладающие активными защитными свойствами – они способны к аглютинации чужеродных клеток (Худяков, 2014).

Оптимизация рецептуры многокомпонентных пищевых продуктов является объектом научных исследований (Bbreus, Hrybkov, Polischuk, & Seidykh, 2019). Разработаны научно-практические предпосылки создания многокомпонентных пищевых продуктов с желательными качественными характеристиками и потребительскими свойствами (Chernysheva, Kalenik, & Chernysheva, 2013). С помощью математических методов проведено моделирование многокомпонентного продукта по выбранным параметрам адекватности и качества в зависимости от пищевой и биологической ценности сырья (Lisitsyn, Chernukha, Nikitina, & Gorbatov, 2020). Особенное внимание уделено аналитической оптимизации белковой составляющей рецептурной смеси, при этом критерием расчета является количественное содержание незаменимых аминокислот. Выбор окончательного варианта поликомпонентной смеси производится на основе графической интерпретации полученных поверхностей отклика (Golubeva, Pozhidaeva, Popov, & Golubeva, 2015). Недостатком данного метода является возможность варьирования небольшого диапазона параметров, а также большая погрешность при перенесении лабораторных исследований в промышленные масштабы обусловленная отсутствием в качества критерия оптимизации технологически формирующего параметра. При выработке обогащенного белком мо-

роженого основополагающими характеристиками являются органолептические показатели и взбитость, которые необходимо учитывать при оптимизации рецептуры.

Материалы и методы исследования

Материалы

Основные сырьевые компоненты подбирали в соответствии с традиционной рецептурой: молоко по ГОСТ 31449-2013[1] (нормализованное до массовой доли жира 3,2%), цельное сгущенное молоко с сахаром по ГОСТ 31688-2012[2], сухое цельное молоко с массовой долей жира 26% по ГОСТ Р 52791-2007[3], сахар-песок по ГОСТ 33222-2015[4], комплексная пищевая добавка «Стабилизатор – эмульгатор 456 Int». Дополнительные источники белка – амарантовый жмых по ТУ 9293-004-77872064-2011 (производитель ООО «Виктория») и концентрат сывороточного белка («100% Prostar Whey Protein», производитель «Ultimate Nutrition»). Согласно общим принципам составления смесей для молочного мороженого, исходные условия для расчета смеси для мороженого: суммарное количество дополнительных белковых обогатителей не должно превышать 15% от готовой смеси.[5] В соответствии с предварительными исследованиями органолептических показателей мороженого, количество амарантового жмыха в смеси ограничено рамками от 1% до 4% (Ивченко и др., 2014). Область значений для содержания сывороточного концентрата находится в диапазоне от 2 до 7%. Белковые обогатители вносили взамен молока сгущенного.

Оборудование

Выработку модельных композиций осуществляли по стандартной технологии с использованием фризера для мороженого COOLEQ IF-3, производительность которого составляет 20 л/час.

Инструменты

Программное обеспечение проводимого исследования включало программу для симлекс-решетчатого планирования и обработки результатов эксперимента Simplex, для оптимизации рецептуры – инструмент «Поиск решения» Microsoft Excel.

Методы

Для исследования влияния состава смеси на качество мороженого использовали симплекс-решетчатое планирование эксперимента. Суть симплекс-решетчатого метода состоит в том, что выбранные составы располагаются в определенных местах симплекса, обозначаемого диаграмму составов системы. Экспериментирование проводили не на всей симплексной решетке, а на триангулированных ее частях (после соответствующей перенормировки компонентов, чтобы выполнялось условие равенства единице суммы концентраций) (Березина, Хмелева, Артемова, Осипова, & Шведова, 2019). Для этого вводили кодовые переменные, которые сами по себе представляют собой уже не отдельные компоненты, а специально подобранные смеси.

Процедура исследования

В данном исследовании проводили определение выходных параметров (откликов) – взбитость и общую органолептическую оценку модельных композиций обогащенного мороженного. X_1, X_2, X_3, Z_1, Z_2, Z_3 – компоненты смеси: молоко сухое, молоко сгущенное, белковая добавка соответственно, в сумме должны составлять единицу и один шаг составляет 0,3. Пользуясь симплексно-решетчатым планированием получили полиноминальную модель, число коэффициентов регрессии в которой точно соответствует числу опытов в плане. Матрица планирования эксперимента для обогащенного мороженого представлена в Таблице 1.

В соответствии с матрицей планирования, для экспериментальных образцов мороженого были составлены рецептуры. В полученных образцах определяли органолептические показатели: консистенцию, вкус и запах, внешний вид, цвет и структуру по разработанной 25-ти балльной шкале (Литвинова, Богданова, & Гребенщиков, 2016). Взбитость мороженого определяли по ГОСТ 31457-2012[6].

[1] ГОСТ 31449-2013. Молоко коровье сырое. Технические условия. М.: Стандартинформ.
[2] ГОСТ 31688-2012. Молоко и сливки сгущенные с сахаром. М.: Стандартинформ.
[3] ГОСТ Р 52791-2007. Молоко сухое. М.: Стандартинформ.
[4] ГОСТ 33222-2015. Сахар белый. Технические условия. М.: Стандартинформ.
[5] Арсеньева, Т. П. (2002). Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Мороженое (Т. 4). СПб: ГИОРД.
[6] ГОСТ 31457-2012. Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия. М.: Стандартинформ.

Таблица 1
Матрица эксперимента для обогащенного мороженого

№ опыта	Индекс отклика	Кодированные значения факторов			Натуральные значения факторов					
					для обогатительной смеси с сывороточным концентратом			для обогатительной смеси с амарантовым жмыхом		
					X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
		Z_1	Z_2	Z_3	сывороточный концентрат	сгущенное молоко	сухое молоко	амарантовый жмых	сгущенное молоко	сухое молоко
1	1	1,0	0	0	10,0	3,0	2,0	9,0	5,0	1,0
2	2	0	1,0	0	5,0	8,0	2,0	6,0	8,0	1,0
3	3	0	0	1,0	5,0	3,0	7,0	6,0	5,0	4,0
4	112	0,7	0,3	0	8,3	4,7	2,0	8,0	6,0	1,0
5	113	0,7	0	0,3	8,3	3,0	3,7	8,0	5,0	2,0
6	122	0,3	0,7	0	6,7	6,3	2,0	7,0	7,0	1,0
7	123	0,3	0,3	0,3	6,7	4,7	3,7	7,0	6,0	2,0
8	133	0,3	0	0,7	5,7	3,0	5,3	7,0	5,0	3,0
9	223	0	0,7	0,3	5,0	6,3	3,7	6,0	7,0	2,0
10	233	0	0,3	0,7	5,0	4,7	5,3	6,0	6,0	3,0

Анализ данных

Расчет коэффициентов математических моделей осуществляли по формулам:

$$Y = \sum_{l \prec i \prec j} b_i x_i + \sum_{l \prec i \prec j \prec q} b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

где

$$b_i = Y_i, \quad (2)$$

$$b_{ij} = 4Y_{il} - 2Y_i - 2Y_j \quad (3)$$

Воспроизводимость результатов оценивали по критерию Кохрена $G_{(1;10;0,05)}$. Проверку адекватности осуществляли по критерию Стьюдента[7]. Расчет производили по формуле:

$$t_p = \Delta Y_n \sqrt{e} / S_{\hat{Y}} \sqrt{1+\xi}, \quad (4)$$

где $\Delta Y_n = \left| \overline{Y}э - Y_P \right|$ – разность между экспериментальными и теоретическими (рассчитанными по уравнению) значениями исходной переменной; e – число параллельных опытов в каждой точке симплекса; $S_{\bar{Y}} = \sqrt{S^2_{\bar{Y}}}$ – среднеквадратичное отклонение (погрешность) экспериментальных данных; ξ – ошибка предсказания выходной переменной в зависимости от расположения контрольной точки на симплексе.

Результаты

Результаты исследования представлены в Таблице 2. В качестве контрольного образца использовали мороженое, выработанное по традиционной рецептуре для молочного мороженого без дополнительного внесения белковых обогатителей. Содержание основных компонентов в контрольном образце (в процентном соотношении): нормализованная молочную смесь с массовой долей жира 3,2% – 50, цельное сгущенное молоко с сахаром – 5, сухое цельное молоко с массовой долей жира 26% – 10, сахар-песок – 15, стабилизатор -1,6, вода – 18,4.

[7] Дерканосова, Н. М. (2011). Моделирование и оптимизация технологических процессов пищевых производств. Практикум: учеб. пособие. Воронеж: Государственная технологическая академия.

Таблица 2

Результаты определения качественных показателей модельных композиций мороженого

Наименование показателя	**Модельные композиции мороженого**										**Контроль**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
Органолептические показатели (сумма баллов)	**с сывороточным концентратом**										
	25	23	22	24	19	23	18	20	19	24	21
	с амарантовым жмыхом										
	24	17	21	23	21	22	22	23	18	21	
Взбитость,%	**с сывороточным концентратом**										
	57,6	32,5	38,3	48,6	27,3	39,1	25,1	32,6	28,2	33,8	45,7
	с амарантовым жмыхом										
	64,4	27,3	29,4	55,3	34,1	38,3	42,6	47,7	28,5	29,3	

Средние значения откликов приняты по двум параллельным измерениям. Получены уравнения:

– влияние состава мороженого с амарантовым жмыхом на взбитость:

$$y_1 = 64{,}4\cdot Z_1 + 37{,}5\cdot Z_2 + 34{,}9\cdot Z_3 + 4{,}28\cdot Z_1\cdot Z_2 - 27\cdot Z_1\cdot Z_3 + 2{,}48\cdot Z_2\cdot Z_3 - 13{,}73\cdot Z_1\cdot Z_2\cdot (Z_1-Z_2) - 80{,}55\cdot Z_1\cdot Z_3\times (Z_1-Z_3) - 0{,}68\cdot Z_2\cdot Z_3\cdot(Z_2-Z_3) - 103{,}05\cdot Z_1\cdot Z_2\cdot Z_3;$$

– влияние состава мороженого с сывороточным концентратом на взбитость:

$$y_2 = 57{,}6\cdot Z_1 + 42{,}5\cdot Z_2 + 48{,}3\cdot Z_3 + 5{,}85\cdot Z_1\cdot Z_2 + (-58{,}5)\times Z_1\cdot Z_3 + 19{,}575\cdot Z_2\cdot Z_3 + (-3{,}6)\cdot Z_1\cdot Z_2\cdot (Z_1-Z_2) + (-56{,}7)\cdot Z_1\cdot Z_3\cdot(Z_1-Z_3) + (-25{,}425)\cdot Z_2\cdot Z_3\cdot (Z_2-Z_3) + (-171{,}22)\cdot Z_1\cdot Z_2\cdot Z_3;$$

– органолептическая оценка для мороженого с амарантовым жмыхом:

$$y_3 = 25\cdot Z_1 + 17\cdot Z_2 + 21\cdot Z_3 + 6{,}75\cdot Z_1\cdot Z_2 + (-4{,}5)\cdot Z_1\cdot Z_3 + 2{,}25\cdot Z_2\cdot Z_3 + (-11{,}25)\cdot Z_1\cdot Z_2\cdot (Z_1-Z_2) + (-22{,}5)\times Z_1\cdot Z_3\cdot (Z_1-Z_3) + (-11{,}25)\cdot Z_2\cdot Z_3\cdot(Z_2-Z_3) + 13{,}5\cdot Z_1\cdot Z_2\cdot Z_3;$$

– органолептическая оценка для мороженого с сывороточным концентратом:

$$y_4 = 25\cdot Z_1 + 23\cdot Z_2 + 22\cdot Z_3 + (-2{,}25)\cdot Z_1\cdot Z_2 + (-18)\cdot Z_1\cdot Z_3 + (-4{,}5)\cdot Z_2\cdot Z_3 + 2{,}25\cdot Z_1\cdot Z_2\cdot (Z_1-Z_2) + (-13{,}5)\times Z_1\cdot Z_3\cdot(Z_1-Z_3) + (-36)\cdot Z_2\cdot Z_3\cdot (Z_2-Z_3) + (-69{,}75)\times Z_1\cdot Z_2\cdot Z_3;$$

По полученным математическим моделям были построены сечения для взбитости (Рисунок 1) и суммарной органолептической оценки (Рисунок 2), показывающие влияние соответствующей белковой добавки на характеристики модельных композиций мороженого.

Определено, что максимальная взбитость в мороженом с амарантовым жмыхом составляет 54-56%, чему соответствует количество данного белкового обогатителя на уровне 1-1,3%, молока сухого – 5-6,2%, молока сгущенного – 8,7-9%. Взбитость продукта растет с увеличением в смеси молока сгущенного и снижением молока сухого, а также достигает своего максимума при количестве амарантового жмыха до 1,3%. Максимальная взбитость для мороженого с сывороточным концентратом составляет 52-56%. Данные показатели достигаются при количестве белкового концентрата 2-2,5%, молока сухого – 3-5,5% молока сгущенного – 9,5-10%. Невысокие показатели взбитости мороженого с сывороточным концентратом в образцах можно объяснить низким содержанием сухих компонентов в соответствии с матрицей эксперимента. Взбитость мороженого с сывороточным концентратом уменьшается с повышением концентрации молока сухого, а также достигает своего максимума при внесении белкового концентрата до 2,5% молока сгущенного – до 8%.

Наивысшая органолептическая оценка для мороженого с амарантовым жмыхом составляет 23-24 балла, что соответствует количеству вносимого амарантового жмыха – 1-1,3%, молока сухого – 5-6,2%, молока сгущенного – 8,7-9%. Исходя из полученных данных, органолептическая оценка мороженого повышается с увеличением в составе молока сгущенного и снижением молока сухого, а также при внесении амарантового жмыха до 1,3%. Максимальная сумма баллов (23-24) приходится на продукт с количеством белкового концентрата 2-2,5%, молока сухого – 3-6,5%, молока сгущенного – 9,5-10 г%.

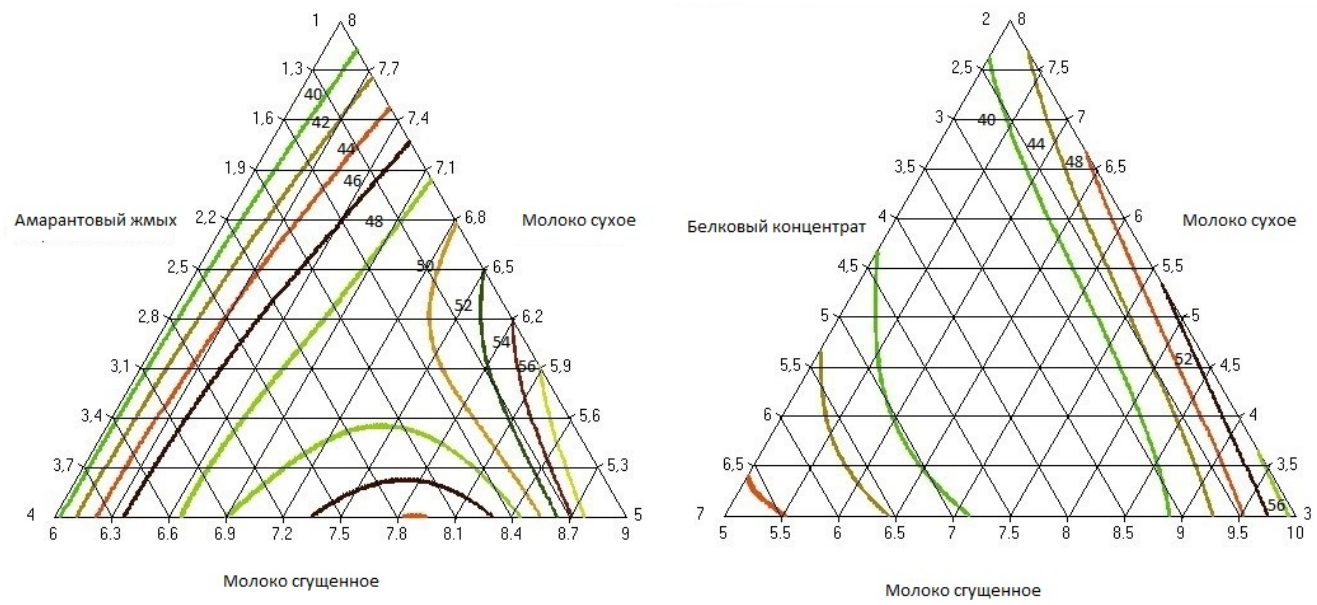

Рисунок 1. Влияние состава смеси на взбитость мороженого

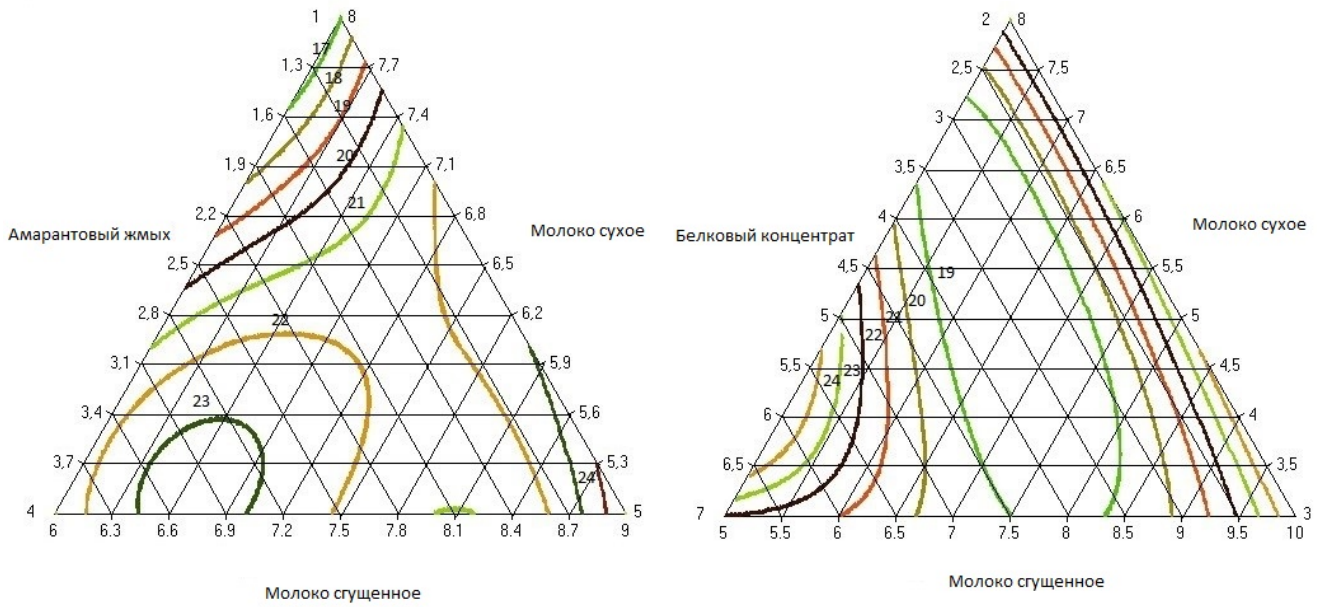

Рисунок 2. Влияние состава смеси на органолептические показатели модельных композиций мороженого

Органолептическая оценка мороженого с сывороточным концентратом повышается при увеличении количества молока сгущенного и снижении молока сухого, при этом доза вносимого сывороточного концентрата составляет до 2,5%. Полученные закономерности являются основными ограничениями для дальнейшего расчета рецептуры обогащенного мороженого. Данные, полученные в результате проведения экспериментов с помощью симплекс-планирования были обработаны с помощью инструмента «Поиск решения» программного обеспечения Microsoft Excel (Ядыкин, 2010).

При расчете был выбран алгебраический метод, основанный на решении системы уравнений с тремя неизвестными переменными. Количество составленных уравнений ведется по количеству неизвестных видов сырья в рецептуре[8]. Первое

[8] Захарова, Л. М., Мазеева, И. А., & Галстян, А. Г. (2008). Технология комбинированных молочных продуктов: лабораторный практикум. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.

уравнение составляется по массе готового продукта и сырья. Для составления остальных уравнений пользуются балансом составных частей[9]. При составлении смеси для мягкого мороженого обогащенного белком расчет рецептуры производился, исходя из требуемых показателей готового продукта и состава сырья (Симоненкова, Демина, & Казаков, 2019).

По результатам расчетов были найдены оптимальные значения искомых компонентов. Для мороженого с амарантовым жмыхом содержание молока сухого составило 4,4%, молока сгущенного 9,5%, белковой добавки – 1,5% к общей массе смеси. Смесь для мороженого обогащенного сывороточным белком включала 8,7% сухого молока, 5,1% сгущенного молока 1,3% белковой добавки. По рассчитанным рецептурам были выработаны готовые продукты, определены их физико-химические показатели. Полученные результаты представлены в Таблице 3.

Результаты расчета пищевой и энергетической ценности полученного мороженого с белковыми обогатителями питания представлены в Таблице 4. Расчет проводился с учетом пищевой ценности ос-

Таблица 3
Физико-химические показатели мороженого

Наименование показателя	Контроль	Мороженое с амарантовым жмыхом	Мороженое с сывороточным белком
Взбитость,%	45,7	57,6	64,4
Скорость таяния, мин	21	22	19
Титруемая кислотность, °Т	21	21	21
Массовая доля сухих веществ,%	31,4	31,5	32,6

Таблица 4
Пищевая ценность мороженого обогащенного растительным и животным белком (на 100 г продукта)

Наименование	Контроль	Мягкое мороженое с сывороточным концентратом	Мягкое мороженое с амарантовым жмыхом
Жиры, г	4,20	4,30	3,67
Белки, г	3,90	4,58	4,20
Углеводы, г	23,60	23,21	24,08
Пищевые волокна, г	-	-	1,005
Витамины, мг			
C	1,10	1,05	0,92
E	0,05	0,05	0,04
B_2	0,22	0,21	0,17
B_4	21,40	20,37	18,21
Макроэлементы, мг			
Ca	175,35	167,28	134,91
Mg	20,60	19,77	18,19
P	134,95	128,09	106,69
Микроэлементы, мкг			
Se	0,002	0,002	0,002
Zn	0,59	0,55	0,48
Fe	0,11	0,104	0,18
Энергетическая ценность, ккал	152,40	153,79	145,86

[9] Надточий, Л. А. & Орлова, О. Ю. (2015). Инновации в биотехнологии. Пищевая комбинаторика: учеб.-метод. пособие (Ч. 1). СПб.: Университет ИТМО.

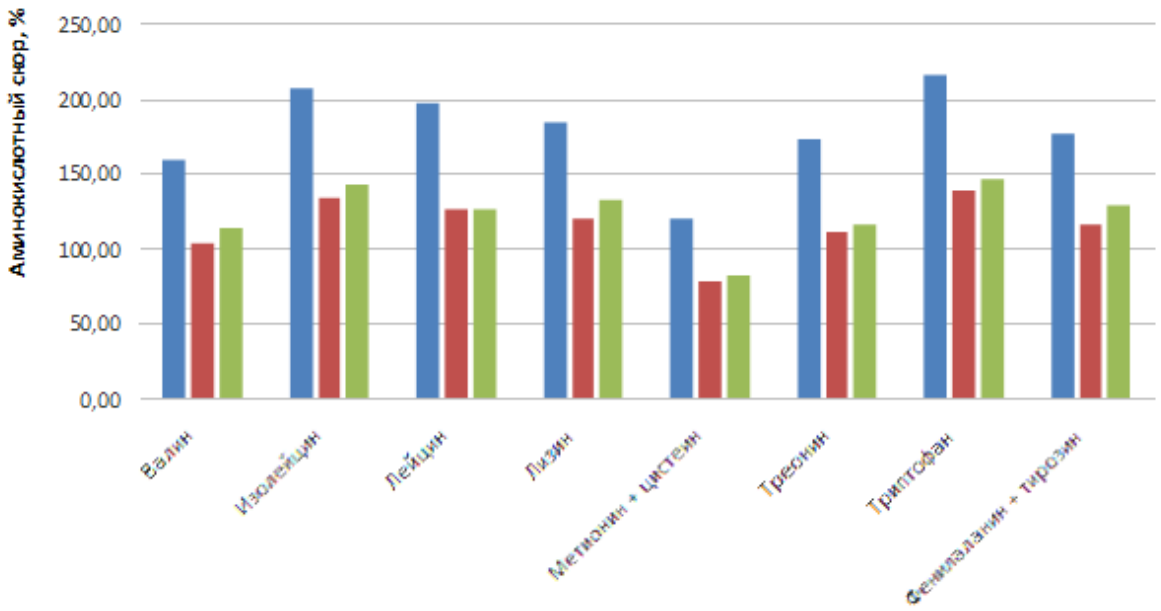

Рисунок 3. Результаты расчета аминокислотного скора

новных сырьевых компонентов с использованием Microsoft Excel[10].

Представленные в научной литературе данные по содержанию аминокислот в молочных компонентах (Оразов, Надточий, & Сафронова, 2019) и используемых белковых обогатителях (Высочина, 2013), позволили рассчитать биологическую ценность разработанных видов обогащенного мороженого. Результаты расчета аминокислотного скора представлены на Рисунке 3. Значительное превышение аминокислотного скора для контрольного образца обусловлено содержанием незаменимых аминокислот в составе сухого молока. Данные расчета скора для обогащенного мороженого приближены к значению 100%, что показывает полноценность белка в составе разрабатываемого продукта.

Биологическая ценность мороженого составила: контрольный образец – 41,05% (коэффициент различия аминокислотного скора КРАС – 58,94), продукт с амарантовым жмыхом – 58,56% (КРАС – 41,44)%, мороженое с сывороточным концентратом – 61,92 (КРАС -38,08%).

Обсуждение результатов исследования

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что дополнительное внесение белковых обогатителей не ухудшает качественные показатели готового мороженого (Серова, Горлов, Сложенкина, Мосолова, & Брехова, 2019). При этом содержание белка увеличилось на 1% для мороженого с сывороточным концентратом, на 0,3% для продукта с амарантовым жмыхом. Кроме того, в мороженом с амаратовым жмыхом содержится 1% пищевых волокон. Наиболее сбалансированным по своей пищевой ценности является мороженое с концентратом сывороточного белка. По содержанию основных пищевых компонентов, обогащенные виды мороженого не уступают контрольному образцу. Мороженое с амарантовым жмыхом отличается повышенным содержанием железа, а также содержит пищевые волокна. Наибольше энергетической ценностью обладает продукт с концентратом сывороточного белка, наименьшая калорийность у мороженого с амарантовым жмыхом за счет низкого содержания жира.

Наиболее сбалансированным аминокислотным составом обладает мороженое, обогащенное сывороточным белком. Коэффициент различия между лимитирующей аминокислотой и остальными наиболее низкий, что свидетельствует о большой биологической ценности этого продукта. Больше всего обогащенное мороженое содержит в своем составе таких незаменимых аминокислот, как триптофан и изолейцин. Биологическая ценность белка мороженого с амарантовым жмыхом выше, чем в контрольном образце на 17,51%, а биологическая ценность мороженого с сывороточным концентратом превышает данный показатель на

[10] Скурихина, И. М., & Тутельяна В. А. (Ред.) (2002). Химический состав российских пищевых продуктов: справочник. М.: ДеЛи принт.

20,87%, что свидетельствует о высокой пищевой ценности применяемых белковых обогатителей.

Выводы

Применение метода симплекс-решетчатого планирования позволило оперативно получить рецептуры модельных композиций обогащенного мороженого. Результаты определения основных показателей качества выработанных образцов легли в основу построения математических зависимостей для исследуемых параметров. По результатам обработки графиков «состав-свойство» для органолептической оценки и физико-химических показателей и оптимизации с помощью Excel найдены оптимальные соотношения молока сухого, молока сгущенного, амарантового жмыха и белковой добавки в смеси для мороженого. Для мороженого с амарантовым жмыхом содержание молока сухого составило 4,4%, молока сгущенного 9,5%, белковой добавки – 1,5% к общей массе смеси. Смесь для мороженого обогащенного сывороточным белком включала 8,7% сухого молока, 5,1% сгущенного молока 1,3% белковой добавки.

Комплексная оценка качества показала, что полученное мороженое характеризуется высокими органолептическими показателями, имеет хорошую взбитость, а также приемлемые показатели таяния. Мороженое, обогащенное сывороточным белком и амарантовым жмыхом обладает высокими показателями биологической ценности по сравнению с контрольным образцом.

Полученные данные свидетельствуют о том, что оптимизация рецептуры мороженого с применением компьютерного моделирования позволяет получить готовый продукт стандартного качества. Симплекс-решетчатчатое планирование способствует проведению большого объема вычислений за короткий промежуток времени и получению рецептурной смеси с использованием различных сырьевых компонентов для обогащения традиционных молочных продуктов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела ФГБОУ ВО Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева за помощь и поддержку при выполнении исследований.

Литература

Алексеева, Е. Н. (2013). Научные основы использования муки амарантовой экструдированной в пищевых продуктах. Труды БГУ, *8*(2), 38-42. URL: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/103582/1/2013-8-2-38-42.pdf (дата обращения: 13.01.2021).

Березина, Н. А. (2012). Моделирование состава готовых мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий методом симплекс-решетчатого планирования. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов, 2, 18-24.

Березина, Н. А., Хмелева, Е. В., Артемова, Е. Н., Осипова, Г. А., & Шведова, М. Н. (2019). Моделирование поликомпозитной смеси для хлебобулочных изделий. Ползуновский вестник, 1, 11-16. http://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.002

Бобченко, В. И., Текутьева, Л. А., Павлова, Ж. П., Сон, О. М., & Боцко, Ю. К. (2012). Влияние продуктов переработки плодов облепихи на формирование свойств молочной основы мороженого. Известия Высших учебных заведений. Пищевая технология, *329-330*(5-6), 60-62.

Высочина, Г. И. (2013). Амарант (*Amaranthus I.*): химический состав и перспективы использования (обзор). Химия растительного сырья, 2, 5-14.

Журавель, Н. В., Чумакова, В. В., & Мартиросян В. В. (2012). Зерновой амарант перспективная культура. Достижения науки и техники АПК, 10, 71-72.

Зеленина, Л. С., & Зюзина, О. В. (2011). Разработка поликомпонентных пищевых систем методами компьютерного моделирования. Вестник ТГТУ, 17(4), 992-1001.

Ивченко, В. В., & Бессонова, О. В. (2014). Дополнительное сырье в мороженом. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, *4*(9), 84-86.

Казаков, А. В., & Демина, Е. Н. (2020). Разработка рецептуры мороженого, обогащенного растительным белком. В Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых (с. 158-161). Краснодар: Кубанский государственный технологический университет.

Лисин, П. А. (2007). Компьютерные технологии в рецептурных расчетах молочных продуктов. М.: ДеЛи принт.

Литвинова, А. В. Богданова, Е. В., & Гребенщиков, А. В. (2016). Микроструктура кисломолочного мороженого с растительными компонентами. Молодой ученый, *9*, 200-202.

Магомедов, Г. О., Олейникова, А. Я., Шевякова, Т. А., Плотникова, И. В., & Седых, Д. В. (2014). Мучные композитные безглютеновые смеси. Хлебопродукты, *1*, 46-48.

Мельникова, Е. И., & Станиславская, Е. Б. (2019). Применение микропартикулята сывороточных белков в технологии полутвердых сыров. Хранение и переработка сельхозсырья, *4*, 129-140. https://doi.org/10.36107/spfp.2019.199

Оразов, А., Надточий, Л. А., & Сафронова, А. В. (2019). Оценка биологической ценности молока сельскохозяйственных животных. Техника и технология пищевых производств, 49(3), 447-453. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-447-453

Остриков, А. Н., Голубева, Л. В., & Пожидаева, Е. А. (2011). Математическое моделирование процесса фризерования смеси для мягкого мороженого. Вестник Воронежской государственной технологической академии, 1(47), 71-74.

Серова, О. П, Горлов, И. Ф., Сложенкина, М. И., Мосолова, Н. И., & Брехова, С. А. (2019). Исследование роли составных частей смеси мороженого в формировании и стабилизации структуры продукта. Пищевая промышленность, *12*, 81-85. https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10189.

Симоненкова, А. П., Демина, Е. Н., & Казаков, А. В. (2019). Инновационные подходы к проектированию рецептур молочных продуктов в рамках реализации программы «Три молочных продукта в день». Ползуновский вестник, *1*, 80-84. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.015

Симоненкова, А. П., Шалимова, А. А., & Толкунова, Н. Н. (2016). Жмыхи из растительного сырья – перспективы использования в технологии творожных продуктов. Биология в сельском хозяйстве, 1(10), 9-14.

Субботина, М. Л. (2009). Мороженое с наполнителями растительного происхождения. Достижения науки и техники АПК, 6, 69-71.

Флоринская, Е. Э. (2016). Функциональные молочные продукты с использованием концентрата сывороточных белков. Вопросы питания, 85(2), 217.

Худяков, М. С. (2014). Компонентный состав протеинов. Сибирский торгово-экономический журнал, 1, 118-120.

Ядыкин, Е. А. (2010). Моделирование объектов и процессов в пищевых производствах. Известия ТулГУ. Технические науки, *2*(1), 214-222.

Яковлева, Ю. А., & Арсеньева, Т. П. (2012). Разработка рецептуры мороженого с растительными компонентами для диабетического питания. Известия Высших учебных технологий. Пищевая технология, 1(325), 73-75.

Bavyko, O., & Bondarchuk, M. (2019). Ice-cream with functional properties as a means of commercial networks assortment extension and population feeding improving. *Journal Of Hygienic Engineering and Design, 26*, 127-133.

Bbreus, N., Hrybkov, S., Polischuk, G., & Seidykh, O. (2019). Development of mathematical apparatus of the expert system for modelling ice cream recipes with specified quality parameters. *Science and Innovation, 15*(5), 57-66. https://doi.org/10.15407/scine15.05.057

Chernysheva, I. V., Kalenik, T. K., & Chernysheva, V. V. (2013). Technique of the choice of quantity of the enriching additive on the basis of program calculations and research of organoleptic indicators. *Modern Scientific Research and Their Practical Application*, *11307*(4), 143-151. URL: https://www.sworld.com.ua/e-journal/j11307.pdf (дата обращения: 14.01.2021).

Derkanosova, N. M., Stakhurlova, A. A., & Pshenichnaya, I. A. (2020). Amaranth as a bread enriching ingredient. *Foods and Raw Materials, 8*(2), 223-231. http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-223-231

Golubeva, L. V., Pozhidaeva, Y. A., Popov, Y. S., & Golubeva, L. N. (2015). Optimization of blend composition of polycomponent dry mix for enriched soft ice cream. *Indian Journal of Science And Technology, 8*(29), 1-7.

Lisitsyn, A. B., Chernukha, I. M., Nikitina, M. A. & Gorbatov, V. M. (2020). Russian methodology for designing multicomponent foods in retrospect. *Foods and Raw Materials*, *8*(1), 2-11. http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-2-11

Optimization of the Formulation of Ice Cream by the Method of Simplex-lattice Planning

Ekaterina N. Demina
Orel state University named after I. S. Turgenev
95, Komsomolskaya street, Orel, 302026, Russian Federation
E-mail: tpp_oreluniver@mail.ru

Natalia A. Berezina
Orel state agrarian University named after N. V. Parakhin
69, General Rodina street, Orel, 302019, Russian Federation
E-mail: jrdan@yandex.ru

Andrey V. Kazakov
Orel state University of Economics and trade
12, October street, Orel, 302028, Russian Federation
E-mail: andy.kazakov@yandex.ru

Ice cream is a product with a multicomponent composition, the technology of its production allows the use of various types of raw materials – dairy components, fruit and vegetable fillers, emulsifier stabilizers, flavoring agents, etc. Creating a recipe for enriched ice cream using traditional mathematical methods is a challenging task. A promising direction is the use of computer tools for metamathematic modeling, in particular, the method of simplex-lattice planning. In the present work presents a study on optimization of the formulation of ice cream with the use of protein dressers – amaranth meal and whey protein. At the first stage of the work, a simplex-grid planning of the experiment was carried out, according to which model compositions with a different combination of milk ingredients and protein fortifier were developed. The determination of the organoleptic quality indicators of the developed samples and the whipping of the model compositions was carried out at the second stage. The obtained results served as the basis for constructing mathematical dependences of the studied parameters at the third stage of the work. Based on the results of processing the «composition-property» graphs for organoleptic evaluation and physico-chemical parameters and optimization using Excel, the optimal ratios of powdered milk, condensed milk, amaranth cake and protein additives in the ice cream mixture were found. For ice cream with amaranth cake, the content of dry milk was 4.4%, condensed milk was 9.5%, and the protein supplement was 1.5% of the total weight of the mixture. The mixture for ice cream enriched with whey protein included 8.7% milk powder, 5.1% condensed milk, 1.3% protein supplement. At the fourth stage, a comprehensive assessment of the quality of the finished products was carried out, which indicates that the resulting ice cream is characterized by good organoleptic characteristics, has a high whipping rate and a full composition of the main food components. Ice cream enriched with whey protein and amaranth cake has high biological values-61.92% and 58.56%, respectively, compared to the control sample. The obtained data indicate that the optimization of the ice cream recipe with the use of computer modeling allows you to get a finished product of standard quality. Simplex-grid planning facilitates a large amount of calculations in a short period of time and the production of a recipe mixture using various raw materials to enrich traditional dairy products.

Keywords: mathematical modeling of the recipe, simplex-lattice planning, ice cream, protein concentrator, amaranth cake, whey protein

References

Alekseeva, E. N. (2013). Nauchnye osnovy ispol'zovaniya muki amarantovoi ekstrudirovannoi v pishchevykh produktakh [Scientific basis for the use of extruded amaranth flour in food products]. *Trudy BGU* [*Proceedings of the Belarusian State University*], *8*(2), 38-42. URL: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/103582/1/2013-8-2-38-42.pdf (accessed: 13.01.2021).

Berezina, N. A. (2012). Modelirovanie sostava gotovykh muchnykh smesei dlya rzhano-pshenichnykh khlebobulochnykh izdelii metodom simpleks-reshetchatogo planirovaniya [Modeling of the composition of ready-made flour mixtures for rye-wheat bakery products by the meth-

od of simplex-lattice planning]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [*Technology and commodity science of innovative food products*], *2*, 18-24.

Berezina, N. A., Khmeleva, E. V., Artemova, E. N., Osipova, G. A., & Shvedova, M. N. (2019). Modelirovanie polikompozitnoi smesi dlya khlebobulochnykh izdelii [Modeling of a polycomposite mixture for bakery products]. *Polzunovskii vestnik* [*Polzunovsky Bulletin*], *1*, 11-16. http://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.002

Bobchenko, V. I., Tekut'eva, L. A., Pavlova, Zh. P., Son, O. M., & Botsko, Yu. K. (2012). Vliyanie produktov pererabotki plodov oblepikhi na formirovanie svoistv molochnoi osnovy morozhenogo [Influence of sea buckthorn fruit processing products on the formation of the properties of the milk base of ice cream Izvestia of higher educational institutions]. *Izvestiya Vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of Higher Educational Institutions. Food technology*], *329-330*(5-6), 60-62.

Florinskaya, E. E. (2016). Funktsional'nye molochnye produkty s ispol'zovaniem kontsentrata syvorotochnykh belkov [Functional dairy products using whey protein concentrate]. *Voprosy pitaniya* [*Nutrition issues*], *85*(2), 217.

Ivchenko, V. V., & Bessonova, O. V. (2014). Dopolnitel'noe syr'e v morozhenom [Additional raw materials in ice cream]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [*University news. Applied chemistry and biotechnology*], *4*(9), 84-86.

Kazakov, A. V., & Demina, E. N. (2020). Razrabotka retseptury morozhenogo, obogashchennogo rastitel'nym belkom [Development of a recipe for ice cream enriched with vegetable protein Youth science]. In *Molodezhnaya nauka. Sbornik luchshikh nauchnykh rabot molodykh uchenykh* [*Proceedings of the best scientific works of young scientists*] (p. 158-161). Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet.

Khudyakov, M. S. (2014). Komponentnyi sostav proteinov [Component composition of proteins]. *Sibirskii torgovo-ekonomicheskii zhurnal* [*Siberian Trade and Economic Journal*], *1*, 118-120.

Lisin, P. A. (2007). *Komp'yuternye tekhnologii v retsepturnykh raschetakh molochnykh produktov* [*Computer technologies in prescription calculations of dairy products*]. Moscow: DeLi print.

Litvinova, A. V. Bogdanova, E. V., & Grebenshchikov A. V. (2016). Mikrostruktura kislomolochnogo morozhenogo s rastitel'nymi komponentami [Microstructure of fermented milk ice cream with vegetable components]. *Molodoi uchenyi* [*Young scientist*], *9*, 200-202.

Magomedov, G. O., Oleinikova, A. Ya., Shevyakova, T. A., Plotnikova, I. V., & Sedykh, D. V. (2014). Muchnye kompozitnye bezglyutenovye smesi [Flour composite gluten-free mixtures]. *Khleboprodukty* [*Bread products*], *1*, 46-48.

Mel'nikova, E. I., & Stanislavskaya, E. B. (2019). Primenenie mikropartikulyata syvorotochnykh belkov v tekhnologii polutverdykh syrov [Application of whey protein microparticulate in the technology of semi-solid cheeses]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of agricultural raw materials*], *4*, 129-140. https://doi.org/10.36107/spfp.2019.199

Orazov, A., Nadtochii, L. A., & Safronova, A. V. (2019). Otsenka biologicheskoi tsennosti moloka sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Assessment of the biological value of milk of agricultural animals]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [*Machinery and technology of food industry*], *49*(3), 447-453. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-447-453

Ostrikov, A. N., Golubeva, L. V., & Pozhidaeva, E. A. (2011). Matematicheskoe modelirovanie protsessa frizerovaniya smesi dlya myagkogo morozhenogo [Mathematical modeling of the process of pisarovina mixtures for soft ice cream]. *Vestnik Voronezhskoi gosudarstvennoi tekhnologicheskoi akademii* [*Herald of the Voronezh state technological Academy*], *1*(47), 71-74.

Serova, O. P, Gorlov, I. F., Slozhenkina, M. I., Mosolova, N. I., & Brekhova, S. A. (2019). Issledovanie roli sostavnykh chastei smesi morozhenogo v formirovanii i stabilizatsii struktury produkta [Investigation of the role of the components of the ice cream mixture in the formation and stabilization of the product structure]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *12*, 81-85. https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10189.

Simonenkova, A. P., Demina, E. N., & Kazakov, A. V. (2019). Innovatsionnye podkhody k proektirovaniyu retseptur molochnykh produktov v ramkakh realizatsii programmy "Tri molochnykh produkta v den'" [Innovative approaches to the design of dairy product formulations in the framework of the implementation of the program "Three dairy products per day"]. *Polzunovskii vestnik* [*Polzunovsky Bulletin*], *1*, 80-84. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.015

Simonenkova, A. P., Shalimova, A. A., & Tolkunova, N. N. (2016). Zhmykhi iz rastitel'nogo syr'ya – perspektivy ispol'zovaniya v tekhnologii tvorozhnykh produktov [Cakes from vegetable raw materials – prospects for use in the technology of curd products]. *Biologiya v sel'skom khozyaistve* [*Biology in agriculture*], *1*(10), 9-14.

Subbotina, M. L. (2009). Morozhenoe s napolnitelyami rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Ice cream with fillers of plant origin]. *Dostizheniya nauki i tekhniki*

APK [*Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*], *6*, 69-71.

Vysochina, G. I. (2013). Amarant (Amaranthus I.): khimicheskii sostav i perspektivy ispol'zovaniya (obzor) [Amaranth (Amaranthus I.): chemical composition and prospects of use (review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [*Chemistry of plant raw materials*], *2*, 5-14.

Yadykin, E. A. (2010). Modelirovanie ob»ektov i protsessov v pishchevykh proizvodstvakh [Modeling of objects and processes in food production]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [*Bulletin of the Tula State University. Technical Sciences*], *2*(1), 214-222.

Yakovleva, Yu. A., & Arsen'eva, T. P. (2012). Razrabotka retseptury morozhenogo s rastitel'nymi komponentami dlya diabeticheskogo pitaniya [Development of ice cream recipes with plant components for diabetic nutrition]. *Izvestiya Vysshikh uchebnykh tekhnologii. Pishchevaya tekhnologiya* [*News of Higher Educational Technologies. Food Technology*], *1*(325), 73-75.

Zelenina, L. S., & Zyuzina, O. V. (2011). Razrabotka polikomponentnykh pishchevykh sistem metodami komp'yuternogo modelirovaniya [Development of multicomponent food systems by computer modeling methods]. *Vestnik TGTU* [*Bulletin of Tver State Technical University*], *17*(4), 992-1001.

Zhuravel', N. V., Chumakova, V. V., & Martirosyan V. V. (2012). Zernovoi amarant perspektivnaya kul'tura [Grain amaranth perspective culture]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [*Achievements of science and technology of agroindustrial complex*], *10*, 71-72.

Bavyko, O., & Bondarchuk, M. (2019). Ice-cream with functional properties as a means of commercial networks assortment extension and population feeding improving. *Journal Of Hygienic Engineering and Design, 26*, 127-133.

Bbreus, N., Hrybkov, S., Polischuk, G., & Seidykh, O. (2019). Development of mathematical apparatus of the expert system for modelling ice cream recipes with specified quality parameters. *Science and Innovation, 15*(5), 57-66. https://doi.org/10.15407/scine15.05.057

Chernysheva, I. V., Kalenik, T. K., & Chernysheva, V. V. (2013). Technique of the choice of quantity of the enriching additive on the basis of program calculations and research of organoleptic indicators. *Modern Scientific Research and Their Practical Application*, *11307*(4), 143-151. URL: https://www.sworld.com.ua/e-journal/j11307.pdf (дата обращения: 14.01.2021).

Derkanosova, N. M., Stakhurlova, A. A., & Pshenichnaya, I. A. (2020). Amaranth as a bread enriching ingredient. *Foods and Raw Materials, 8*(2), 223-231. http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-223-231

Golubeva, L. V., Pozhidaeva, Y. A., Popov, Y. S., & Golubeva, L. N. (2015). Optimization of blend composition of polycomponent dry mix for enriched soft ice cream. *Indian Journal of Science And Technology, 8*(29), 1-7.

Lisitsyn, A. B., Chernukha, I. M., Nikitina, M. A. & Gorbatov, V. M. (2020). Russian methodology for designing multicomponent foods in retrospect. *Foods and Raw Materials*, *8*(1), 2-11. http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-2-11