

Моделирование рецептурного состава пробиотического пищевого рыбного продукта с применением высокоуровневого языка программирования Python

Научная статья
УДК 664.953:004.432

DOI: 10.36038/0131-6184-2024-3-122-129

Лаврухина Елизавета Васильевна – старший специалист
E-mail: efrolenkova13@gmail.com

Зарубин Никита Юрьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
E-mail: zar.nickita@yandex.ru

Бредихина Ольга Валентиновна – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник
E-mail: bredihinaov@rambler.ru

Гриневич Александра Ивановна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник
E-mail: grinevich@vniro.ru

Адрес: Отдел инновационных технологий Департамента технического регулирования Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Москва, Россия – Россия, 105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. Среди элементов здорового питания, улучшающих работоспособность организма человека, выделяют пробиотики или пробиотические пищевые продукты, которые способствуют корректированию состава внутренней индигенной микрофлоры кишечной микробиоты. В соответствии с этим, в статье приведены исследования, посвящённые проектированию моделей рецептурного состава пробиотического пищевого рыбного продукта с применением высокоуровневого языка программирования Python, а также – разработке технологии полу-

чения данного вида продукции. Язык программирования Python с применением популярных библиотек, таких как SciPy и PuLP, позволяет реализовать метод линейного программирования, решающий подобные задачи, связанные с проектированием рецептурных составов многокомпонентных пищевых систем. В результате чего спроектировано 8 рецептурных составов пробиотического пищевого рыбного продукта группы полуконсервов рыбных, в частности, паштетов на основе биотрансформированного бактериальными заквасочными культурами (*L. acidophilus* и *S. thermophilus*) филе рыб (минтай (*Theragra chalcogramma*), треска (*Gadus macrocephalus*), макрурус малоглазый (*Albatrossia pectoralis*), полчешуйник Гилберта «Бычок» (*Hemilepidotus gilberti*)) с последующей разработкой технологической схемы получения данного вида продукта. Спроектированные рецептурные составы и разработанная технология способствуют получению рыбного продукта с наличием живых форм пробиотиков в количестве 10^6 - 10^9 КОЕ/г.

Ключевые слова: рецептурный состав, моделирование, пробиотический пищевой рыбный продукт, язык программирования Python, полуконсервы рыбные

Для цитирования: Лаврухина Е.В., Зарубин Н.Ю., Бредихина О.В., Гриневич А.И.

Моделирование рецептурного состава пробиотического пищевого рыбного продукта с применением высокоуровневого языка программирования Python // Рыбное хозяйство. 2024. № 3. С. 122-129. DOI: 10.36038/0131-6184-2024-3-122-129

MODELING OF THE COMPOSITION OF A PROBIOTIC FISH PRODUCT USING THE PYTHON

Elizaveta V. Lavrukhina – Senior Specialist

Nikita Yu. Zarubin – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher

Olga V. Bredikhina – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher

Alexandra I. Grinevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Address: Department of Innovative Technologies of the Department of Technical Regulation of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia – Russia, 105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 19

Annotation. Among the elements of a healthy diet that improve the performance of the human body, probiotics or probiotic foods are isolated, which contribute to correcting the composition of the internal indigenous microflora of the intestinal microbiota. In accordance with this, the article presents research on the design of models of the composition of a probiotic food fish product using the high-level Python programming language, as well as the development of technology for obtaining this type of product. The Python programming language using popular libraries such as SciPy and PuLP allows you to implement a linear programming method that solves similar problems related to the design of formulations of multicomponent food systems. As a result, 8 formulations of probiotic edible fish product of the group of semi-canned fish, in particular pates based on biotransformed bacterial starter cultures (*L. acidophilus* and *S. thermophilus*) fish fillets (pollock (*Theragra chalcogramma*), cod (*Gadus macrocephalus*), small-eyed macrurus (*Albatrossia pectoralis*), Gilbert's half-shelled Goby (*Hemilepidotus gilberti*)) with the subsequent development of a technological scheme for obtaining this type of product. The designed formulations and the developed technology contribute to the production of a fish product with the presence of live forms of probiotics in the amount of 10^6 - 10^9 CFU/g.

Keywords: composition, modeling, probiotic fish food product, Python programming language, semi-canned fish

For citation: Lavrukhina E.V., Zarubin N.Yu., Bredikhina O.V., Grinevich A.I. (2024). Modeling of the composition of a probiotic fish product using the Python // Fisheries. No. 3. Pp. 122-129. DOI: 10.36038/0131-6184-2024-3-122-129

Рисунки и таблицы – авторские / The drawings and tables were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

У населения РФ наблюдается интерес к пробиотическим пищевым продуктам, как к элементу здорового питания. Интегрированные в пищевую продукцию, в частности рыбную, живые формы пробиотических микроорганизмов будут способствовать корректированию состава внутренней индигенной микрофлоры кишечной микробиоты организма человека, и, как следствие, повышать иммунную защиту в частности и улучшать работоспособность в целом.

Кроме этого, инокуляция живых форм пробиотических микроорганизмов (бактериальных заквасочных культур) в рыбное сырье способна оказать положительное воздействие на органолептические, структурные свойства (коррекция консистенции и минимизация рыбного вкуса и запаха за счет мягкой деструкции белковых компонентов и снижения уровня образования азотистых летучих оснований в мышечной ткани рыб), питательную ценность (за счет накопления белковых и эссенциальных веществ) и сроки годности (защитные культуры, проявляющие антиоксидантные и антагонистические свойства, эффект био-консервирования за счет образования метаболитов (кислоты, бактериоцины)) [1].

В свою очередь следует отметить, что современное общество отличается ускоренным ритмом жизни. В связи с чем необходимо акцентироваться на разработке рецептурных составов и технологий пробиотических продуктов «быстрого питания» на основе гомогенизированных, фаршевых комбинированных пищевых матриц. В первую очередь рыбным пищевым матрицам можно придавать разнообразную структуру, вкус, запах, пищевую, в частности, биологическую ценность и создать различные вариации рецептурных составов с применением физиологически функциональных ингредиентов животного, растительного, микробиологического происхождения.

Для проектирования и оптимизации рецептурных составов пробиотических пищевых рыбных продуктов можно использовать методы линейного программирования, представляющее собой набор математических методов, используемых для решения задач математической оптимизации. Эти задачи включают в себя систему уравнений и/или неравенств, с приоритетом минимизации или максимизации определенной целевой функции [2].

Решение задач линейного программирования требует значительных ресурсов и обычно включает в себя использование автоматизированных вычислительных систем. Основные методы, применяемые в области

линейного программирования, включают в себя метод внутренней точки и симплекс-метод. Эти методы широко используются для решения разнообразных задач, связанных с оптимизацией.

Существует также множество других методов, например, метод ветвей и границ, которые решают более узкие и сложные модели. Однако метод внутренней точки и симплекс-метод охватывают основную долю задач в области линейного программирования [2].

Один из эффективных способов реализации таких решений предоставляется высокоуровневым языком программирования Python, обладающим развитой экосистемой инструментов для линейного программирования [3]. В языке программирования Python существуют популярные библиотеки, такие как SciPy и PuLP [4], которые предоставляют реализацию этих методов линейного программирования и облегчают решение подобных задач.

В результате чего, основываясь на теоретической и ранее полученной практической базе [5], целью исследований являлась разработка моделей рецептурного состава пробиотического пищевого рыбного продукта с применением высокоуровневого языка программирования Python, а также технологической схемы их производства.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для разработки рецептурных составов использовалось обработанное бактериальными заквасочными культурами (*L. acidophilus* и *S. thermophilus*) филе промысловых видов рыб – минтай (*Theragra chalcogramma*), треска (*Gadus macrocephalus*), макрорус малоглазый (*Albatrossia pectoralis*) и филе потенциально промысловый вид рыб – получешуйник Гилберта «Бычок» (*Hemilepidotus gilberti*).

На основе ранее полученных результатов исследований по биотрансформации филе рыб [6] и данных по обоснованию и подбору протекторов и технологических параметров для сохранения жизнедеятельности бактериальных заквасочных культур в процессе термической обработки, были спроектированы рецептурные составы и разработана технологическая схема получения пробиотического пищевого рыбного продукта. В качестве модельной группы продукта выбрана группа полуконсервов рыбных – паштеты из рыбы, обогащенные пробиотическими микроорганизмами.

Моделирование рецептурных составов, на основе практических данных, и формирование графиков производилось на языке программирования «Python» с применением библиотек «NumPy», «Matplotlib», «SciPy» и «Plotly».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Классическая система оптимизации рецептур основана на использовании электронных таблиц, таких как Excel (с функцией «поиск решения»). Эта система построена на минимизации и максимизации рецептурного состава таким образом, чтобы он соответствовал требуемым условиям, при этом показывал минимальную и максимальную стоимость разработанного продукта [7].

Несмотря на множество преимуществ, система оптимизации рецептур продуктов питания с использованием электронных таблиц также имеет свои минусы [7; 8]:

- ограниченность функционала. (Электронные таблицы, такие как Excel, могут быть ограничены в функционале по сравнению со специализированным программным обеспечением для управления рецептурами. Некоторые сложные процессы могут потребовать дополнительных инструментов);
- сложность анализа данных. (В случае больших объемов данных, анализ и интерпретация результатов может быть более сложным в электронных таблицах по сравнению со специализированным программным обеспечением);
- ограниченные возможности коллаборации. (Работа с рецептурами в электронных таблицах может ограничивать возможности совместной работы, особенно если несколько людей должны вносить изменения в один и тот же файл);
- неэффективность при сложных расчетах. (При выполнении сложных математических расчетов, особенно если требуется множество шагов, электронные таблицы могут быть не наилучшим инструментом);
- неудобство для крупных проектов. (В случае если у вас множество рецептов или проектов, сложность управления данными в электронных таблицах может затруднить общий контроль).

Использование программ на основе Python для расчетов рецептурных составов вместо электронных таблиц может минимизировать вышеописанные минусы и обоснованно по нескольким причинам [3]:

- Автоматизация. Python позволяет автоматизировать процессы расчета и анализа данных. Вы можете написать скрипты, которые выполнят расчеты автоматически, освобождая вас от необходимости ручного ввода данных в электронные таблицы.
- Гибкость и масштабируемость. Программы на Python предоставляют большую гибкость для реализации сложных расчетов и алгоритмов. Вы можете легко адаптировать

свой код под конкретные требования и масштабировать его при необходимости.

- Работа с базами данных. Python легко интегрируется с базами данных, что может быть полезным для хранения и управления рецептурами в более организованном формате, особенно при больших объемах данных.
- Контроль версий. Используя Python, вы можете реализовать систему контроля версий для отслеживания изменений в рецептурах и их истории.
- Совместная работа. Python также предоставляет инструменты для более эффективной совместной работы, особенно при использовании систем контроля версий и облачных хранилищ.
- Легкость тестирования. Программы на Python легко поддаются тестированию, что обеспечивает большую уверенность в правильности и надежности расчетов.
- Управление исключениями и обработка ошибок. Python предоставляет мощные средства для обработки исключений и управления ошибками, что помогает предотвратить возможные проблемы в данных или коде.
- Работа с API и внешними сервисами. Если у вас есть необходимость интегрировать ваши рецептуры с внешними сервисами или API, Python может быть более гибким и удобным средством для таких задач.

В связи с этим для проектирования рецептурных составов была разработана программа оптимизации на языке программирования Python с использованием различных библиотек, таких как SciPy и PuLP [4]. Общий вид написания программы для проектирования рецептурного состава через Python представлен на рисунке 1.

При разработке рецептурных составов было принято решение использовать морковь и тыкву в качестве дополнительных ингредиентов. Добавление моркови и тыквы, при разработке пищевых рыбных продуктов, представляет собой стратегически обоснованный подход, объединяя как визуальные, так и функциональные преимущества обоих ингредиентов. Технологические плюсы, которые обеспечивают морковь и тыква заключаются в том что [9; 10]:

- морковь содержит пектин, который может служить естественным стабилизатором и добавлять вязкость продукту;
- морковь и тыква обладают ярким оранжевым цветом, что может значительно улучшить внешний вид рыбных продуктов (эстетически приятный цвет создает положительное визуальное восприятие и может повысить привлекательность продукта для потребителей);

Таблица 1. Информационная матрица данных для проведения оптимизации рецептуры для полуконсервов рыбных «Паштет из минтая, обогащённый пробиотическими микроорганизмами» (*L. acidophilus*) / **Table 1.** Information matrix of data for optimizing the formulation for semi-canned fish «Pollock paste enriched with probiotic microorganisms» (*L. acidophilus*)

Ингредиенты	X _i	Массовая доля, %				Цена, руб.кг
		Белок	Жир	Углеводы	Вода	
Минтай	X ₁	17,66	0,04	0,09	81,34	120,00
Тыква	X ₂	1,00	0,10	6,40	91,80	20,00
Морковь	X ₃	1,30	0,10	8,30	88,00	18,00
Вода	X ₄	-	-	-	100	2,00
Соль (1,5 %)	X ₅	-	-	-	-	10,50
Альгинат натрия (1,6%)	X ₆	-	-	-	-	1871,45
Каппа-каррагинан (1,6%)	X ₇	-	-	-	-	1250,00
Глюкоза (1,5%)	X ₈	-	-	-	-	120,00
Специи (1%)	X ₉	-	-	-	-	1000,00
Желаемое количество		12,00			78,30	

```
import pulp
# Создаем задачу оптимизации
prob = pulp.LpProblem("Optimal_Recipe", pulp.LpMinimize)
# Определяем переменные рецептуры
x1 = pulp.LpVariable("Ingredient1", lowBound=0)
x2 = pulp.LpVariable("Ingredient2", lowBound=0)
# Определяем целевую функцию (минимизация стоимости)
cost_per_unit1 = 2.0 # Стоимость ингредиента 1 за единицу
cost_per_unit2 = 3.0 # Стоимость ингредиента 2 за единицу
prob += cost_per_unit1 * x1 + cost_per_unit2 * x2, "Total Cost"
# Определяем ограничения
# - Сумма ингредиентов должна быть равна 100 единицам
prob += x1 + x2 == 100, "Total Quantity"
# - Содержание ингредиента 1 не должно превышать 60%
prob += x1 <= 0.6 * (x1 + x2), "Ingredient1 Constraint"
# - Содержание ингредиента 2 не должно превышать 40%
prob += x2 <= 0.4 * (x1 + x2), "Ingredient2 Constraint"
# Решаем задачу оптимизации
prob.solve()
# Выводим результаты
print("Status:", pulp.LpStatus[prob.status])
print("Recipe type:")
for v in prob.variables():
    print(v.name, "=", v.varValue)
print("Общая стоимость производства =", pulp.value(prob.objective))
Status: Optimal
Recipe type:
Ingredient1 = 60.0
Ingredient2 = 40.0
Общая стоимость производства = 240.0
```

Рисунок 1. Общий вид программы для оптимизации рецептурных составов на базе Python

Figure 1. General view of the program for optimizing prescription formulations based on Python

- овощи содержат естественные сахара, придающие продукту легкую сладость (это может помочь смягчить вкус рыбы и добавить баланс к более интенсивным ароматам и вкусам);
- они считаются безопасными и биосовместимыми ингредиентами, что поддерживает высокую степень переносимости среди различных потребителей.

Дополнительно было принято решение внести в рецептуру 1,6% каппа-карагинан. Каппа-каррагенан и альгинат натрия часто ис-

пользуют в совместном применении из-за их синергетического эффекта и способности улучшать текстурные и структурные характеристики продуктов [11]. Комбинация этих двух ингредиентов связана с тем, что:

- каппа-каррагенан и альгинат натрия могут взаимодействовать таким образом, что улучшают текстурные свойства продукта. Каппа-каррагенан создает устойчивые гели с хорошей эластичностью, в то время как альгинат натрия может добавить вязкость и улучшить структуру [12];
- оба ингредиента могут дополнять друг друга в стабилизации продукта, предотвращая разделение фаз и сохраняя единообразную структуру [12];
- в совместном использовании каппа-каррагенан и альгинат натрия могут дать более сложные реологические характеристики продукта, такие как более точное управление вязкостью и текучестью [12];
- каппа-каррагенан и альгинат натрия можно использовать в различных пропорциях и комбинациях, что позволяет создавать разнообразные текстурные характеристики – от мягких и кремообразных до более упругих и желеобразных [12];
- оба ингредиента обладают разной чувствительностью к условиям производства, таким как pH и наличие ионов, что позволяет легче адаптировать их применение к различным видам продукции [13].

Далее было рассмотрено формирование и проектирование рецептурных составов пробиотического пищевого продукта с по-

мощью написанной программы через язык программирования Python. В качестве примера описан один из вариантов рецептурного состава паштета из минтая, обогащённого пробиотическими микроорганизмами» (*L. acidophilus*) (табл. 1-2). По аналогичной схеме проводилось моделирование и оптимизация остальных рецептов, разрабатываемого пищевого рыбного продукта, с различными видами филе рыб и бактериальных заквасочных культур.

На основании таблицы 1 составляется система линейных балансовых уравнений по белку и воде, соответственно:

$$\begin{cases} 0,1766 \times X_1 + 0,01 \times X_2 + 0,013 \times X_3 = 12 \\ 0,8134 \times X_1 + 0,918 \times X_2 + 0,88 \times X_3 + X_4 = 78,30 \\ X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 92,8 \end{cases}$$

Условия ограничения в рецептуре имеют вид: $X_1 \geq 0$; $X_2 \geq 3$; $X_2 \leq 6$; $X_3 \geq 0$; $X_4 \geq 0$

Функция цели – получение минимальной себестоимости продукции, которая записывается как сумма произведения единицы стоимости ингредиента на его рецептурную массу:

$$F = \min(120 \cdot X_1 + 20 \cdot X_2 + 18 \cdot X_3 + 2 \cdot X_4)$$

Варианты рецептов пробиотической рыбной пищевой продукции с минтаем, биотрансформированным *L. acidophilus* при минимальной и максимальной себестоимости, представлены в таблице 2.

С использованием языка программирования Python было спроектированное 8 рецептурных составов пробиотического пищевого рыбного продукта на основе биотрансформированного бактериальными заквасочными культурами (*L. acidophilus* и *S. thermophilus*) филе минтая, трески, макруруса и бычка в виде полуконсервов рыбных «Паштеты из рыбы, обогащённые пробиотическими микроорганизмами» (табл. 3).

Исходя из полученных данных по количественному составу в рецептурных составах, было принято решение использовать среднее значение между \max и \min , так как их себестоимости отличаются незначительно.

Разница в себестоимости между максимальным и минимальным значениями невелика, что делает использование среднего значения более экономически эффективным.

Среднее значение в данных рецептурных составах может обеспечивать оптимальное соотношение ингредиентов, которое соответствует целям и требованиям качества продукции.

На следующем этапе исследований была разработана технологическая схема получения Полуконсервов рыбных «Паштеты из рыбы, обогащённые пробиотическими микроорганизмами» с использованием бактерий *L. acidophilus* и *St. thermophilus* (рис. 2).

Разработанная технология полуконсервов рыбных «Паштеты из рыбы, обогащённые пробиотическими микроорганизмами» основана на гомогенизации компонентов рецептурно-

Таблица 2. Сводная таблица рецептурного состава полуконсервов рыбных «Паштет из минтая, обогащённый пробиотическими микроорганизмами» (*L. acidophilus*) при минимальной и максимальной себестоимости /

Table 2. Summary table of the formulation of semi-canned fish «Pollock paste enriched with probiotic microorganisms» (*L. acidophilus*) at minimum and maximum cost

Ингредиенты продукта), кг	Индексы, X_i	Рецептурный состав, при минимальной и максимальной себестоимости (без учета потерь)		Средние значения
Минтай	X_1	67,01	66,99	67,00
Тыква	X_2	3,00	6,00	4,50
Морковь	X_3	10,41	8,39	9,40
Вода	X_4	11,88	10,91	11,40
Массовая доля белка, %		12,00	11,99	11,99
Массовая доля жира, %		0,04	0,04	0,04
Массовая доля углеводов, %		1,11	1,13	1,12
Массовая доля влаги, %		78,30	78,29	78,29
Масса (без альгината натрия, каппа каррагинана, глюкозы и специй), кг		92,30	92,29	92,29
Себестоимость, руб. (без альгината натрия, каппа каррагинана, глюкозы и специй)		8312,81	8332,01	8322,41

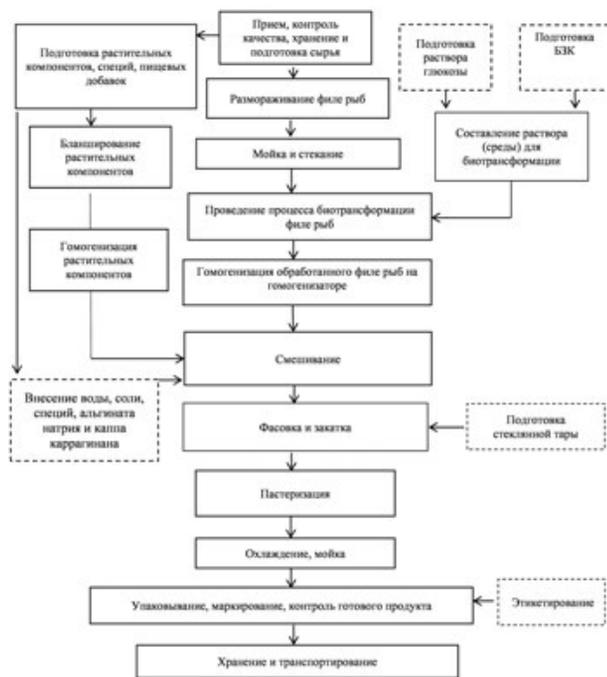


Рисунок 2. Технологическая схема получения полуконсервов рыбных «Паштеты из рыбы, обогащённые пробиотическими микроорганизмами»

Figure 2. Technological scheme for the production of semi-canned fish «Fish pates enriched with probiotic microorganisms»

го состава и пастеризации, при выбранных на основе исследований технологических режимов [6; 14]. Важным блоком технологической схемы является «проведение процесса биотрансформации филе рыб». Для этой цели, перед составлением раствора (среды) для биотрансформации, подготавливают 3,5%-й раствор глюкозы и концентрат бактериальных заквасочных культур. Для подготовки 3,5%-го раствора глюкозы, в дистиллированной воде растворяют глюкозу кристаллическую (из расчета 3,5 г на 100 мл воды). Сухие лиофилизированные бактериальные заквасочные культуры растворяют в дистиллированной воде в соотношении БЗК к воде 1:10 и выдерживают в течение 12 часов, при температуре 37 °С до достижения живых клеток в количестве $4,5 \times 10^{10}$ КОЕ/г. Далее в 3,5%-й раствор глюкозы вносят подготовленный концентрат БЗК в соотношении концентрата к раствору 1:100. Параметры данного процесса подобраны на основе ранее проведенных исследований, посвященных биотрансформации филе рыб бактериальными заквасочными культурами [6].

Также немаловажным блоком технологической схемы является пастеризация путем выдерживания (подогревания) укупоренных банок продукта в закрытой емкости – пастеризаторе с паровым или электрическим обогревом при температуре 90 °С в течение 90 мин.

Таблица 3. Спроектированные с применением языка программирования Python рецептурные составы полуконсервов рыбных «Паштеты из рыбы, обогащённые пробиотическими микроорганизмами», на порцию 100 г / **Table 3.** Prescription formulations of semi-canned fish «Fish pates enriched with probiotic microorganisms», designed using the Python programming language, per 100 g serving

Компоненты рецептурного состава	Содержание компонентов, г/100 г							
	<i>L. acidophilus</i>				<i>St. thermophilus</i>			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	No 8
минтай	67,00	-	-	-	65,29	-	-	-
треска	-	63,62	-	-	-	62,47	-	-
макрурус	-	-	77,77	-	-	-	67,65	-
бычок	-	-	-	63,73	-	-	-	60,13
вода	11,4	9,89	0,16	19,33	12,35	5,00	3,31	19,68
морковь	9,40	14,30	10,87	5,99	10,15	20,18	18,34	9,49
тыква	5,00	5,00	4,00	3,50	5,00	5,00	3,50	3,50
соль	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
альгинат натрия	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
каппа каррагинан (E407)	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
глюкоза мелкокристаллическая	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
специи	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Температурный режим и продолжительность процесса подобраны экспериментально. На основе ранее проведенных исследований было установлено, что при данном соотношении рецептурных компонентов, с использованием выбранного защитного протектора (альгинат натрия), бактериальные заквасочные культуры способны выживать на уровне 10^6 – 10^9 КОЕ/г, что соответствует пробиотическим пищевым продуктам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью линейного программирования через высокоуровневый язык Python спроектированы рецептурные составы пробиотических пищевых продуктов на основе филе минтая, трески, макруруса и бычка, обработанного в процессоре биотрансформации бактериальными заквасочными культурами – *L. acidophilus* и *St. thermophilus*. В рецептурные составы также включены растительные компоненты (морковь, тыква), протектор (альгинат натрия), глюкоза и специи с солью. Данные рецептурные составы предназначены для полукопченых рыбных паштетной группы с мажущей консистенцией. Также разработана техническая схема получения Полукопченых рыбных «Паштеты из рыбы, обогащённые пробиотическими микроорганизмами», основными процессами которой являются биотрансформация бактериальными заквасочными культурами и пастеризация при режимах, которые полностью не угнетают выживаемость клеток бактерий и позволяют их сохранить на уровне 10^6 – 10^9 КОЕ/г.

На данный момент проводятся исследования по изучению показателей качества и безопасности полученного пробиотического пищевого рыбного продукта для подтверждения положительной тенденции улучшения качества и эффективности использования, смоделированных через высокоуровневый язык Python, рецептурных составов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Вклад в работу авторов: **Е.В. Лаврухина** – идея работы, сбор, подготовка и анализ данных, подготовка статьи; **Н.Ю. Зарубин** – идея работы, анализ данных, подготовка введения, заключения, окончательная проверка статьи; **О.В. Бредихина** – окончательная проверка статьи; **А.И. Гриневиц** – сбор данных, подготовка статьи.

The authors declare that there is no conflict of interest.
Contribution to the work of the authors: **E.V. Lavrukina** – the idea of the work, collection, preparation and analysis of data, preparation of the article; **N.Yu. Zarubin** – data analysis, preparation of the introduction, conclusion, final verification of the article; **O.V. Bredikhina** – final verification of the article; **A.I. Grinevich** – data collection, preparation of the article.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ / LITERATURE AND SOURCES

- Rathod N., Phadke G., Tabanelli G., Mane A., Ranveer D., Pagarkar A., Ozogul F. (2021). Recent advances in bio-preservatives impacts of lactic acid bacteria and their metabolites on aquatic food products // Food Biosci. T. 44. P. 101440.
- Giorgi G., Jiménez B., Novo V. (2023). «Linear Programming and Quadratic Programming». Pp. 275-316. doi: 10.1007/978-3-031-30324-1_9.
- Parab J., Lanjewar M., Sequeira M., Naik G., Shaikh A. (2023). Python Programming Recipes for IoT Applications. // Singapore: Springer Nature Singapore.
- Downey A.B. (2015). Think Python: How to Think Like a Computer Scientist. // Published by O'Reilly Media, Inc. Pp 447.
- Lavrukina E., Zarubin N., Bredikhina O., Grinevich A. (2022). Integration of bacterial starter cultures with raw fish: selection and justification // Fisheries (Bethesda). 2022. T. № 6. С. 107-114.
- Lavrukina E., Zarubin N., Bredikhina O., Grinevich A., Mezhonov A. (2023). Optimal conditions and parameters verification of fish fillets muscle tissue biotransformation by bacterial starter cultures // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. T. 2023. № 4. Pp. 127-138.
- Baranenko D., Lu W., Golovinskaia O., Lepeshkin A., Iliina V. (2020). Optimization of baby food formulations using spreadsheets // IOP Conf Ser Mater Sci Eng. T. 940. № 1. P. 012085.
- Barlow E. (2023). Integer Linear Programming: Spreadsheet Solver Excellence Without Excel // INFORMS Transactions on Education.
- Singh T., Pandey V., Dash K., Zanwar S., Singh R. (2023). Natural bio-colorant and pigments: Sources and applications in food processing // J Agric Food Res. P. 100628.
- Nabi B., Mukhtar K., Ahmed W., Manzoor M., Ranjha M., Kieliszek M., Bhat Z. (2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products // Food Biosci. P. 102403.
- Brenner T., Tuvikene R., Parker A., Matsukawa S., Nishinari K. (2014). Rheology and structure of mixed kappa-carrageenan/iota-carrageenan gels // Food Hydrocoll. T. 39. P. 272-279.
- Phillips G. O., Williams P. A. (2009). Handbook of Hydrocolloids // Woodhead Publishing. P. 924.
- Saryer S., Duranoğlu D., Doğan Ö., Küçük İ. (2020). pH-responsive double network alginate/kappa-carrageenan hydrogel beads for controlled protein release: Effect of pH and crosslinking agent // J Drug Deliv Sci Technol. T. 56. С. 101551.
- Прогнозирование параметров биотрансформации рыбного сырья бактериальными заквасочными культурами с применением математических моделей / Н. Ю. Зарубин, Е. В. Лаврухина, О. В. Бредихина, А. И. Гриневиц // Пищевая промышленность. – 2023. – № 3. – С. 92-96. – DOI 10.52653/PPI.2023.3.3.019.
- Zarubin N.Yu., Lavrukina E.V., Bredikhina O.V., Grinevich A.I. (2023). Prognostirovanie parametrov biotransformacii rybnogo syr'ya bakterial'nymi zakvasochnymi kul'turami s primeneniem matematicheskikh modelej // Pishchevaya promyshlennost. № 3. Pp. 92-96. DOI 10.52653/PPI.2023.3.3.019. (In Russ.).

Материал поступил в редакцию/ Received 09.02.2024
Принят к публикации / Accepted for publication 31.05.2024