

К вопросу разработки и адаптации прогностической модели полнофакторной оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности, г. Москва,
Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: С учетом быстрого развития рынков и растущих потребностей в продуктах с длительным сроком годности, необходимо расширять ассортимент, улучшать качество и биологическую ценность продукции, а также модернизировать традиционные технологии. Для этого важно повышать эффективность научных исследований и ускорять внедрение научных разработок в производство. В частности, применение системного математического моделирования для оптимизации технологических процессов сократит время разработки новых видов молочных продуктов.

Цель: Статья посвящена разработке и адаптации прогностической математической модели оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта. Модель позволит обеспечить возможность конструирования ряда рецептур пробиотического кисломолочного продукта, для которых относительная биологическая ценность (ОБЦ) будет соответствовать максимальному значению при удовлетворительных заданных параметрах процесса.

Материалы и методы: Образцы пробиотического кисломолочного продукта с варьированием жирно-белкового индекса в диапазоне от 0 до 1,5 и массовой доли сахарозы — от 0 до 10%, а также образцы с постоянной массовой долей сахарозы 7,3% и жиробелковым индексом 1,24 при массовой доле жира 3,48, 3,97, 4,09 и 4,21% выступили в качестве объектов исследования. В каждом варианте исследовали значение относительной биологической ценности (ОБЦ). Все исследования проводили в 3–5 кратной повторности.

Результаты: Разработана математическая модель для оптимизации процесса производства пробиотического кисломолочного продукта. В рамках полнофакторного эксперимента (ПФЭ) в качестве переменных были выбраны массовая доля сахарозы (до 10%) и жирно-белковый индекс (до 1,5%). Определяющим показателем служила общая бактериальная численность (ОБЦ). Исследования показали, что ОБЦ максимально (244,866%) при массовой доле сахарозы 7,31% и жирно-белковом индексе 1,241. Для достижения максимальной ОБЦ, минимальное содержание жира должно быть 3,475%. Проведенный анализ ПФЭ выявил влияние дополнительных факторов на зависимость ОБЦ от массовой доли жира. В модель был введен корректирующий коэффициент (Q). Комплексный анализ зависимости Q от массовой доли жира обеспечил получение интервальных оценок этого коэффициента для различных фиксированных уровней ОБЦ.

Выводы: Апробированная модель для оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта и выведенные математические зависимости могут быть использованы для создания разнообразных рецептур сахаросодержащих кисломолочных продуктов с высокой относительной биологической ценностью. Модель ограничивается диапазонами массовой доли жира (0,06–4,84%) и белка (2,8–3,9%). Этот метод позволяет анализировать перспективные режимы процесса, которые не всегда достижимы на практике. Применение модели значительно ускорит исследования, направленные на улучшение технологического процесса.

Ключевые слова: прогностическая модель процесса, пробиотический кисломолочный продукт, относительная биологическая ценность, полнофакторный эксперимент

Корреспонденция:

Зинаида Семеновна Зобкова,
E-mail: z_zobkova@vnimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 22.07.2023

Принята: 15.12.2023

Опубликована: 30.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Зобкова, З.С., Кондратенко, В.В., Пряничникова, Н.С., Зенина, Д.В., & Коровина, Н.С. (2023). Разработка и адаптация прогностической модели полнофакторной оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 48-56. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.30>

On the development and adaptation of a predictive model of full-factor optimization of the basic probiotic fermented dairy product technological process

Zinaida S. Zobkova, Vladimir V. Kondratenko, Natalia S. Pryanichnikova, Daria V. Zenina, Natalia S. Korovina

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Considering the rapid market development and the growing demand for long shelf-life products, it is necessary to expand the range, improve the quality and biological value of products, and modernize traditional technologies. This requires enhancing the efficiency of scientific research and accelerating the implementation of scientific developments in production. Specifically, the application of systematic mathematical modeling to optimize technological processes will reduce the time to develop new types of dairy products.

Purpose: This article is dedicated to the development and adaptation of a predictive mathematical model for optimizing the technological process of producing probiotic fermented milk products. The model will enable the construction of a range of recipes for probiotic fermented milk products, for which the relative biological value (RBV) will correspond to the maximum value with satisfactory given process parameters.

Materials and Methods: Samples of probiotic fermented milk product with varying fat-protein index ranging from 0 to 1.5 and mass fraction of sucrose — from 0 to 10%, as well as samples with a constant mass fraction of sucrose of 7.3% and fat-protein index of 1.24 with a mass fraction of fat 3.48, 3.97, 4.09, and 4.21% served as research objects. The relative biological value (RBV) was investigated in each variant. All studies were conducted with 3–5 repetitions.

Results: A mathematical model for optimizing the production process of probiotic fermented milk products was developed. In the full factorial experiment (FFE), the variables chosen were the mass fraction of sucrose (up to 10%) and the fat-protein index (up to 1.5%). The determining indicator was the total bacterial count (TBC). Studies showed that TBC was maximal (244.866%) at a mass fraction of sucrose of 7.31% and a fat-protein index of 1.241. To achieve maximum TBC, the minimum fat content must be 3.475%. The analysis of FFE revealed the influence of additional factors on the dependence of TBC on the mass fraction of fat. A corrective coefficient (Q) was introduced into the model. A comprehensive analysis of the dependence of Q on the mass fraction of fat provided interval estimates of this coefficient for different fixed levels of TBC.

Conclusion: The tested model for optimizing the production process of probiotic fermented milk products and the derived mathematical dependencies can be used to create a variety of recipes for sugary fermented milk products with high relative biological value. The model is limited to ranges of fat mass fraction (0.06–4.84%) and protein (2.8–3.9%). This method allows for the analysis of prospective process regimes, which are not always achievable in practice. The application of the model will significantly accelerate research aimed at improving the technological process.

Keywords: predictive process model, probiotic fermented dairy product, relative biological value, full-factorial experiment

Correspondence:

Ekaterina G. Lazareva,

E-mail: e_lazareva@vnimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 22.07.2023

Accepted: 15.12.2023

Published: 30.01.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Zobkova, Z.S., Kondratenko, V.V., Pryanichnikova, N.S., Zenina, D.V., & Korovina, N.S. (2023). The development and adaptation of a predictive model of full-factor optimisation of the basic probiotic fermented dairy product technological process. *FOOD METAENGINEERING*, 1(4), 48-56. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.30>

И. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

ВВЕДЕНИЕ

По данным ФАО/ВОЗ население мира к 2050 году увеличится до 9,7 млрд человек¹. В условиях быстроразвивающихся рынков пищевых продуктов и возрастающих потребностей населения в новых видах продуктов с увеличенными сроками годности, возникает необходимость в расширении ассортимента новых видов продуктов, повышении их качества и, следовательно, в модернизации традиционных технологий^{2,3}. Основными средствами достижения этих целей является повышение эффективности и качества научных исследований, ускорение внедрения научных достижений в промышленность. Последнее внесет коррективы в ускорение разработки эффективных технологий кисломолочных продуктов. Использование новых методов планирования эксперимента с целью оптимизации технологических процессов позволит сократить продолжительность исследований по созданию новых видов продуктов. Одним из научных достижений последних лет является быстрое развитие экспериментально статистических методов исследования в различных отраслях, включая молочную⁴. По данным автора нахождение моделей методом полного факторного эксперимента состоит из планирования собственного эксперимента, проверки воспроизводимости, получения математической модели объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии и проверке адекватности математического описания⁵. При таком подходе (разработка моделей) возможен анализ перспективных режимов для изучаемого процесса, которые в реальных условиях на стадии эксперимента не всегда удается получить.

Эти процессы определяют необходимость расширения области оценочных критериев качества продукции. При этом основным критерием оптимальности ко-

личественного и качественного состава несомненно должна являться биологическая ценность и безвредность продукта. Наиболее достоверным интегральным методом оценки качества продукта является биологический метод с использованием высших животных, применение которого весьма затруднительно для постоянного контроля продуктов, оценки сырья, различных способов обработки и новых технологий. Поэтому во всем мире наблюдается тенденция к максимальной замене высших животных альтернативными живыми моделями (культурами тканей, беспозвоночными, микроорганизмами и др.), среди которых несомненный интерес представляют простейшие — инфузории *Tetrahymena* и *Paramecium* (Zobkova et al., 2022). Большое число методических разработок и публикаций по данной тематике свидетельствует о том, что биотестирование с использованием простейших очень популярно (Zobkova et al., 2022; Evans, (1978); Лисицкая, 2007; Долгов, 1992; Зиганшина, 2015; Карпова, 2011; Журихина, 2015; Левчук, 2016; Шульгин, 2004; Зобкова, 2015; Зобкова, 2022)^{6,7}.

Авторами в (Zobkova et al., 2022) были разработаны методические аспекты и практические рекомендации по применению ускоренной биологической оценки кормов и продуктов животноводства. В качестве тестируемых функций исследователи использовали совокупность различных проявлений жизнедеятельности пресноводных ресничных инфузорий рода тетрахимен (*Tetrahymena*), таких как: выживаемость, поведенческая ростовая реакция, длительность лаг-фазы, размер клеток, количество выросшей биомассы и т.д.

Цель настоящего исследования — разработка и адаптация прогностической модели полнофакторной оптимизации производства пробиотического кисломолочного продукта.

¹ ФАО/WHO. (27.08.2023). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/common-pages/search/ru/?q=демография>.

² Тутельян, В. А., Вялков, А. И., Разумов, А. Н., Михайлов, В. И., Москаленко, К. А., Одинец, А. Г., Снежная, В. Г., Сергеев, В. Н. (2010). *Научные основы здорового питания*. Издательский дом «Панорама», с. 816.

³ Покровский, А. А. (1981). *Разработка новых продуктов повышенной биологической ценности — важнейшая задача науки о питании*. Медицина, с. 14–20.

⁴ Федоров, В. Г., Плесконос, А. К. (1980). *Планирование и реализация экспериментов: в пищевой промышленности*. Пищевая промышленность, с. 240.

⁵ Там же.

⁶ Council of Europe.(1986). *European Convention for the Protection of Vertebrates Strasbourg Animals Used for Experiments or Other Scientific Purposes*. Council of Europe.

⁷ Бондарук, А. М., Свинтилова, Т. Н., Журихина, Л. Н., Долгина, Н. А., Цыганков, В. Г. *Биологическая ценность и безвредность каш быстрорасторжимых для детского питания по результатам оценки на Tetrahymena pyriformis*. Научно-практический центр гигиены, с. 118–122.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Образцы пробиотического кисломолочного продукта с варьированием жирно-белкового индекса в диапазоне от 0 до 1,5 и массовой доли сахарозы — от 0 до 10%, изготовленные в соответствии технологическим регламентом производства опытного продукта, а также образцы с постоянной массовой долей сахарозы 7,3% и жирно-белковым индексом 1,24 при массовой доле жира 3,48, 3,97, 4,09 и 4,21% с ожидаемым максимальным значением относительной биологической ценности (ОБЦ) для готового продукта, близкие к 244,86%; при принятом ограничении по минимальной массовой доле белка цельного сырого молока — 2,8%. Для ферментирования использовали закваску на термофильных стрептококках, болгарской палочке и ацидофильной палочке.

Процедура исследования

Оценку относительной биологической ценности опытного продукта осуществляли экспресс-методом биотестирования в соответствии с методикой, разработанной авторами (Zobkova et al., 2022). В качестве контроля был использован пробиотический кисломолочный продукт, изготовленный в соответствии с актуальными нормативными документами без учёта жирно-белкового индекса. Все исследования проводили в 3–5 кратной повторяемости.

Математическую обработку данных проводили с использованием табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Ink.) с установленной надстройкой «Поиск решения», а также — специализированных пакетов программного обеспечения TableCurve 2D v.5.01 (SYSTAT Software, Ink.) и Wolfram Mathematica 10.2 (Wolfram Research, Ink.), учебного пособия.¹

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет прогностической модели осуществляли на примере пробиотического кисломолочного продукта при выбранных технологических режимах производства (температура пастеризации исходного молока — 90–92 °С, гомогенизация — 45–80 °С, давление гомогенизации — 12,5 МПа, охлаждение до температуры

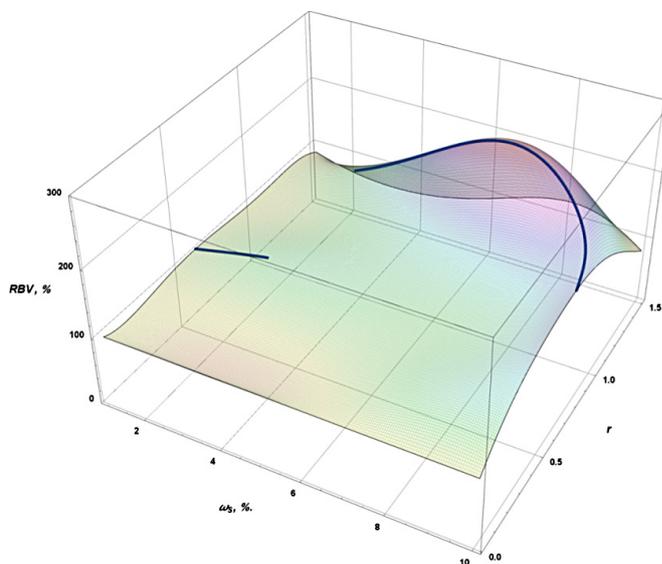
заквашивания и сквашивание — 37–40 °С, продолжительность сквашивания — 4–6 ч, охлаждение до 2–6 °С). В качестве независимых факторов были приняты массовая доля сахарозы (%) и жирно-белковый индекс (r) — отношение массовой доли жира к массовой доле белка в нормализованной смеси — в интервалах от 0 до 10 и от 0 до 1,5%, соответственно. В качестве результирующего фактора была принята ОБЦ (RBV). На основании результатов исследований было получено уточнённое математическое описание зависимости показателя ОБЦ от массовой доли сахарозы и жирно-белкового индекса, адекватно описывающее эмпирическую взаимосвязь результирующего и независимых факторов.

Все коэффициенты имели сходственное математическое описание, адекватно отражающее искомую зависимость.

В силу того, что каждое дискретное значение жирно-белкового индекса, теоретически, может соответствовать бесконечному сочетанию массовых долей жира и белка в нормализованной смеси, при определении максимумов в качестве фиксируемого показателя была принята массовая доля сахарозы, как однозначно задаваемая. Местоположение рассчитанных максимумов на поверхности отклика математического описания представлено на рисунке 1.

Рисунок 1

Поверхность отклика влияния жирно-белкового индекса и массовой доли сахарозы на ОБЦ с максимумами (синие линии) при фиксированной массовой доле сахарозы



¹ Фетисов, Е. А., Семипятный, В. К., Петров, А. Н., Галстян, А. Г. (2015). *Планирование и анализ результатов технологических экспериментов*. Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, с. 98, ISBN 978–5–90656565–21–1.

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

Анализ полученных результатов показал, что в местоположении локальных максимумов при фиксированной массовой доле сахарозы имела место динамика по значению как ОБЦ, так и жиρο-белкового индекса. Поскольку определяющим фактором обеих динамик являлась массовая доля сахарозы, была проведена их сравнительная оценка (Рисунок 2).

В пределах рассматриваемой области определения значений массовой доли сахарозы, каждая из динамик демонстрирует наличие разрыва при значении переменной — 2,96%. Сравнительный анализ левой части динамик от точки разрыва показывает нарастание ОБЦ при практически почти неизменном жиρο-белковом индексе, что, предположительно указывает на доминирование влияния фактора присутствия сахарозы в кисломолочном продукте на величину ОБЦ. Этот вывод подтверждает также продолжение нарастания ОБЦ при дальнейшем увеличении присутствия сахарозы вплоть до некоторого максимального значения. При этом некоторое фиксированное соотношение жира и белка являлось своего рода фоном для проявления положительных свойств сахарозы. В силу малого шага дискретизации массовой доли сахарозы при определении множества локальных максимумов ОБЦ, динамики, представленные на Рисунке 2, являются множествами дискретных значений. Таким образом, для нахождения локального максимума динамики ОБЦ в пределах рассматриваемой области определения массовой доли

сахарозы с технологически приемлемой точностью достаточно ранжировать элементы множества без необходимости аппроксимации их значений. Анализ значений множества показал, что максимуму ОБЦ (244,866 %) соответствовала массовая доля сахарозы — 7,31%, при оптимуме жиρο-белкового индекса, равном 1,241.

Найденные оптимальные решения теоретически позволяют быть оптимальными с точки зрения относительной биологической ценности и рассчитывать любые рецептуры кисломолочного продукта, в которых при оптимальной массовой доле сахарозы и любых значениях массовой доли жира или белка обеспечивается соответствие жиρο-белкового индекса его оптимальному значению. Однако, преломление данного подхода в практическую плоскость накладывало на потенциальное множество рецептур определённое ограничение, связанное с химическим составом исходного сырья, используемого при создании нормализованной смеси. Так, если массовая доля жира могла варьировать в широких пределах вследствие сепарирования или концентрирования молока, то нижняя граница возможных значений массовой доли белка в сырье не могла быть менее 2,8%. Но для соблюдения оптимума жиρο-белкового индекса (1,241) нижняя граница массовой доли жира должна была соответствовать — 3,475%. Таким образом, конечный вариант практически реализуемого множества рецептур в части массовых долей жира и белка соответствовал прямой в незакрашенной области Рисунка 3.

Рисунок 2

Влияние массовой доли сахарозы на динамику локальных максимумов ОБЦ и динамику соответствующих им значений массовой доли жира

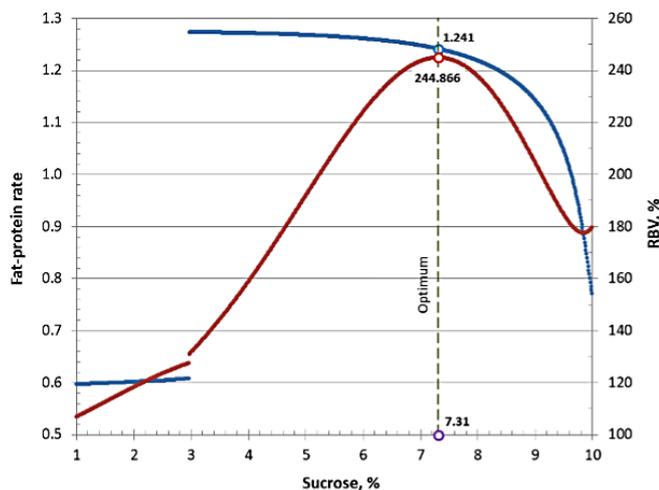
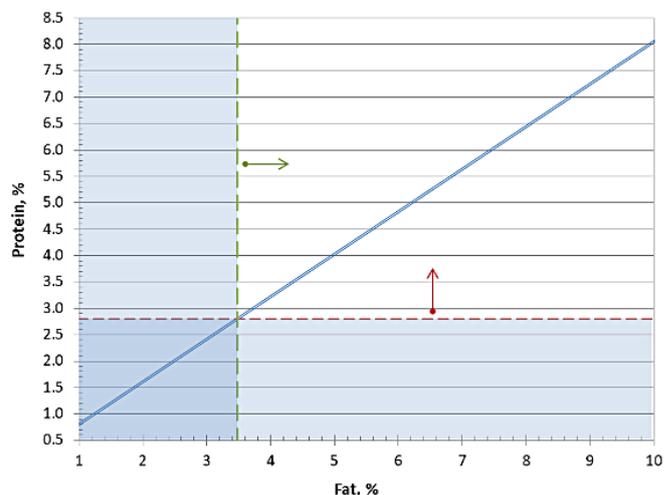


Рисунок 3

Область практически реализуемых сочетаний массовых долей жира и белка при максимуме ОБЦ



И. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

Высокая допустимая степень вариативности рецептур пробиотического кисломолочного продукта по массовой доле жира или белка в широком интервале значений при равенстве установленных основных условий обеспечения максимума ОБЦ позволило выдвинуть гипотезу о возможности существования дополнительных ограничений, сужающих допустимый интервал значений массовых долей жира или белка. Для подтверждения или опровержения данной гипотезы была проведена апробация разработанной модели на образцах с разными концентрациями массовых долей жира и белка при соблюдении условий оптимума — максимизации ОБЦ. Полученные результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные по апробации модели

Входные показатели нормализованной смеси				
массовая доля жира, %	массовая доля белка, %	массовая доля сахара, %	жиро-белковый индекс	ОБЦ, %
3,48	2,80	7,3	1,24	240 ± 16,8
3,48	2,80	7,3	1,24	242 ± 18,1
3,48	2,80	7,3	1,24	237 ± 16,6
3,48	2,80	7,3	1,24	234 ± 16,4
3,97	3,20	7,3	1,24	210 ± 14,7
3,97	3,20	7,3	1,24	202 ± 14,1
3,97	3,20	7,3	1,24	190 ± 13,3
3,97	3,20	7,3	1,24	197 ± 13,8
4,09	3,30	7,3	1,24	184 ± 12,9
4,21	3,39	7,3	1,24	172 ± 12,9
4,21	3,39	7,3	1,24	165 ± 11,5
4,21	3,39	7,3	1,24	158 ± 11,0
4,21	3,39	7,3	1,24	180 ± 12,6

Поскольку во всех образцах соблюдали постоянство жиро-белкового индекса, значения массовых долей жира и белка в составе нормализованной смеси между собой были жёстко связаны.

Таблица 2

Статистические характеристики математического описания зависимостей Q и ΔQ от массовой доли жира

Показатели	Статистические характеристики				
	коэффициенты	значения	t-значимость	R ²	F-адекватность
Q	a	0.287623	< 0.00002	0.944064	< 0.00001
	b	-0.009550	< 0.00001		
ΔQ	a	-2.347034	< 0.00001	0.907574	< 0.00001
	b	-0.009811	< 0.00001		

Анализ данных Таблицы 1 позволил сделать предварительный вывод о наличии некоторой обратной корреляции между массовой долей жира и значением ОБЦ. Следовательно, гипотеза о наличии дополнительных корректирующих факторов нашла своё подтверждение. Для уточнения разработанной модели с учётом корректирующих факторов в неё был введён корректирующий коэффициент $Q = \frac{RBV}{RBV_{ref}}$, где RBV_{ref} — референтное значение ОБЦ, равное 244,863%. Для определения функциональной зависимости данного показателя от массовой доли жира, экспериментальные данные были аппроксимированы, в результате чего было получено математическое описание вида $Q = f_Q(\omega_F)$:

$$RBV = \exp[a + b \cdot \exp(\omega_F)],$$

где a и b — коэффициенты.

Анализ данных таблицы 1 показал также, что экспериментальная погрешность определения ОБЦ (ΔRBV) обратно коррелировала со значениями массовой доли жира. В соответствии с этим данная величина была преобразована в погрешность корректирующего коэффициента — $\Delta Q = \frac{\Delta RBV}{RBV_{ref}}$. Аппроксимация полученных значений показала, что функциональная зависимость вида $\Delta Q = f_{\Delta Q}(\omega_F)$ по форме идентична формуле (3), отличаясь лишь коэффициентами. Статистические показатели обеих зависимостей приведены в Таблице 2.

Было установлено минимально приемлемое значение коэффициента Q , соответствующее условию $RBV = 100$, то есть — $Q_{min} = 0.40839$. В этом случае функциональная зависимость корректирующего коэффициента Q от массовой доли жира представляла некоторый коридор варьирования, для которого каждому значению массовой доли жира при принятой доверительной вероятности 0,95 должен был соответствовать некоторый интервал

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

значений $Q \in [Q - \Delta Q; Q + \Delta Q]$. Графическое отображение коридора варьирования коэффициента Q и рассчитанных интервалов значений массовой доли жира представлено на Рисунке 4.

Анализ полученных данных показал, что при фиксированных значениях массовой доли сахарозы и жирно-белкового индекса уменьшение массовой доли жира и белка одновременно способствовало нелинейному увеличению ОБЦ, достигая референтного значения Q при $\omega_F = 3,405\%$.

С целью максимального использования доступного диапазона массовых долей жира и нивелирования эффекта минимальной массовой доли белка в нормализованной смеси при значениях ω_F , меньше 3,476% (что соответствовало массовой доле белка в исходном молоке — 2,8%), условно разделили область определения ω_F по этому значению на два глобальных интервала — *A* и *B*. На интервале *A* смягчили требования к оптимизации состава нормализованной смеси: оставили постоянной только массовую долю сахарозы. В этом случае, при постоянстве минимальной массовой доли белка и уменьшении массовой доли жира жирно-белковый индекс должен был непрерывно уменьшаться. Определили кривую изменения ОБЦ на интервале *A* на основании формул (1) и (2). В свою очередь на интервале *B* определили кривую изменения ОБЦ с учётом корректирующего коэффициента: $RBV = RBV_{ref} \cdot Q$. Преобразовали реперные значения Q_{rep} в реперные значения ОБЦ: $RBV_{rep} = RBV_{ref} \cdot Q_{rep}$. Таким образом, зависимость

Рисунок 4

Коридор варьирования корректирующего коэффициента Q и интервалы варьирования

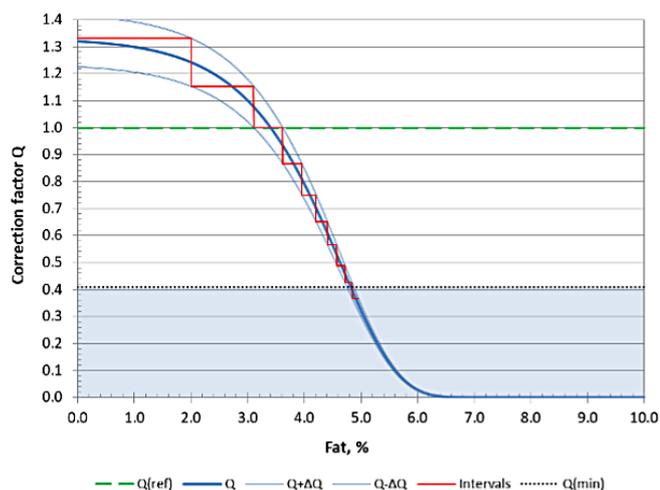
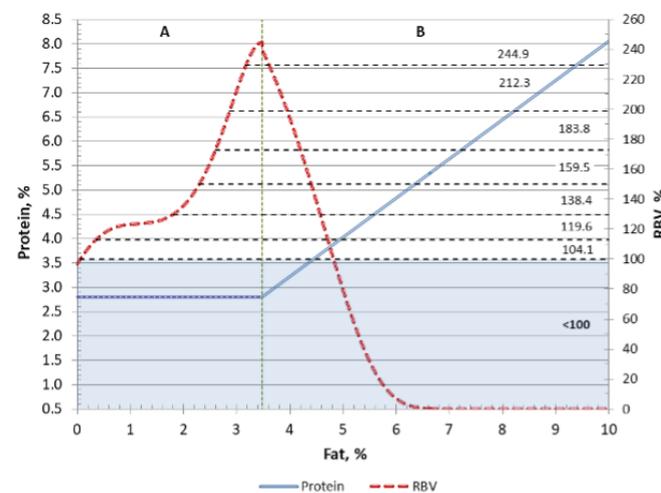


Рисунок 5

Влияние массовой доли жира на ОБЦ и рациональное множество сочетаний «жир–белок» в рецептуре



ОБЦ от массовой доли жира с делением на интервалы и финальный вариант рационального множества сочетаний «жир — белок» представлена на Рисунке 5.

По своей специфике интервалы массовой доли жира оказались вложенными друг в друга по мере увеличения реперного значения ОБЦ. Вычитая значения

Таблица 3

Интервалы массовой доли жира, соответствующие реперным значениям ОБЦ

RBV	Показатель	Интервалы			
		A		B	
		начало	конец	начало	конец
244.86	жир	3.17	3.47	3.48	3.61
	белок	2.8	2.8	2.8	2.91
212.31	жир	2.87	3.17	3.61	3.95
	белок	2.8	2.8	2.91	3.18
183.82	жир	2.6	2.87	3.95	4.2
	белок	2.8	2.8	3.18	3.38
159.49	жир	2.29	2.6	4.2	4.4
	белок	2.8	2.8	3.38	3.54
138.36	жир	1.8	2.29	4.4	4.57
	белок	2.8	2.8	3.54	3.68
119.65	жир	0.35	1.8	4.57	4.71
	белок	2.8	2.8	3.68	3.79
104.05	жир	0.06	0.35	4.71	4.84
	белок	2.8	2.8	3.79	3.9
<100	жир	<0.06		>4.84	
	белок	2.8		>3.9	

И. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

вложенных интервалов из внешних, были получены рациональные интервалы массовой доли жира, соответствующие реперным значениям ОБЦ, дифференцированно для каждого из интервалов *A* и *B*. Результаты представлены в Таблице 3.

Полученные значения могут служить критерием формирования множества рецептур для производства сахаросодержащих пробиотических кисломолочных продуктов с высоким потенциалом относительной биологической ценности. При этом следует учитывать, что область определения данного подхода ограничена в части массовой доли жира в диапазоне от 0,06 до 4,84 % и массовой доли белка — от 2,8 до 3,9 %.

ВЫВОДЫ

Апробация модели оптимизации технологического процесса производства пробиотического кисломолочного продукта и полученные математические зависимости могут служить критерием формирования множества рецептур для производства сахаросодержащих кисломолочных продуктов с высоким потенциалом относительной биологической ценности. При этом следует учитывать, что область определения данного подхода ограничена в части массовой доли жира в диапазоне от 0,06 до 4,84 % и массовой доли белка — от 2,8 до 3,9 %.

При таком подходе (разработка моделей) возможен анализ перспективных режимов для изучаемого процесса, которые в реальных условиях на стадии эксперимента не всегда удается получить.

Применение данной модели позволило значительно сократить продолжительность исследований по оптимизации технологического процесса.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Зобкова Зинаида: формулирование идеи, исследовательских целей и задач; создание рукописи; администрирование данных; руководство исследованием; верификация данных.

Кондратенко Владимир: применение статистических и математических методов для анализа данных исследования; визуализация данных.

Пряничникова Наталия: ответственность за управление и координацию планирования и осуществления научно-исследовательской деятельности.

Зенина Дарья: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов.

Коровина Наталья: подготовка рукописи и ее редактирование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Лисицкая, Т. Б. (2007). *Биотестирование с использованием инфузорий* [Дисс. д. биол. н.]. СПбГТИ.

Lisitskaya, T. B. (2007). *Biotesting using infusoria* [Unpublished doctoral dissertation]. SPbSTU. (In Russ.)

Долгов, В. А. (1992). *Методологические аспекты и практическое применение ускоренной биологической оценки кормов, продуктов животноводства и других объектов ветеринарно-санитарного и экологического контроля* [Дисс. д. биол. н.]. Российская сельскохозяйственная академия.

Dolgov, V. A. (1992). *Methodological aspects and practical application of accelerated biological assessment of feeds, livestock products, and other objects of veterinary-sanitary and environmental control* [Unpublished doctoral dissertation]. Russian Agricultural Academy. (In Russ.)

Зиганшина, Г. А., Баданова, Е. А., Гаринова, Э. Р., Азизова, А. И., Щербаклова, Ю. В., & Ахмадулина, Ф. Ю. (2015). Метод биотестирования — альтернативный метод оценки

изменения качества молока при его термообработке. *Буттлеровские сообщения*, 41(3), 156–159.

Ziganshina, G. A., Badanova, E. A., Garinova, E. R., Azizova, A. I., Shcherbakova, Y. V., & Akhmadullina, F. Y. (2015). Biotesting method — An alternative method for assessing changes in the quality of milk during thermal processing. *Butlerov Communications*, 41(3), 156–159. (In Russ.)

Карпова, М. В., Фролова, О. А. (2011). Использование *Tetrahymena pyriformis* для оценки относительной биологической ценности и токсичности молока. Материалы Всероссийского XIII конгресса нутрициологов и диетологов с международным участием «Персонафицированная диетология: настоящее и будущее». *Вопросы диетологии*, 1(2), 46–47.

Karpova, M. V., & Frolova, O. A. (2011). Use of *Tetrahymena pyriformis* for Assessing the Relative Biological Value and Toxicity of Milk. Proceedings of the All-Russian XIII Congress of Nutritionists and Dietitians with International Participation

З. С. Зобкова, В. В. Кондратенко, Н. С. Пряничникова, Д. В. Зенина, Н. С. Коровина

- «Personalized Dietetics: Present and Future». *Dietetics Issues*, 1(2), 46–47. (In Russ.)
- Журихина, Л. Н., Бондарук, А. М., & Осипова, Т. С. (2015). Определение биологической ценности ферментативного гидролизата сывороточных белков коровьего молока на *Tetrahymena pyriformis*. *Здоровье и окружающая среда*, 25(1), 202–209.
- Zhurikhina, L. N., Bondaruk, A. M., & Osipova, T. S. (2015). Determination of the biological value of the enzymatic hydrolysate of whey proteins from cow's milk on *tetrahymena pyriformis*. *Health and Environment*, 25(1), 202–209. (In Russ.)
- Левчук, Т. В., Чеснокова, Н. Ю., & Левочкина, Л. В. (2016). Исследование безопасности и относительной биологической ценности напитков на основе экстракта околплодника ореха маньчжурского. *Техника и технология пищевых производств*, 1(40), 96–102.
- Levchuk, T. V., Chesnokova, N. Y., & Levochkina, L. V. (2016). Study of safety and relative biological value of beverages based on extract of manchurian walnut pericarp. *Food Production Engineering and Technology*, 1(40), 96–102. (In Russ.)
- Шульгин, Ю. П., Блинов, Ю. Г., & Шульгина, Л. В. (2004). Биологическая экспресс-оценка мышечной ткани гидробионтов с использованием *Tetrahymena pyriformis*. *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*, 136, 294–303.
- Shulgin, Y. P., Blinov, Y. G., & Shulgina, L. V. (2004). Biological express assessment of muscle tissue of hydrobionts using *Tetrahymena pyriformis*. *Proceedings of TINRO (Pacific Scientific Research Fisheries Center)*, 136, 294–303. (In Russ.)
- Зобкова, З. С., Зенина, Д. В., Фурсова, Т. П. (2015). Критерии оценки безопасности молочных продуктов с транsgлутаминой. *Молочная промышленность*, 3, 48–51.
- Zobkova, Z. S., Zenina, D. V., Fursova, T. P. (2015). Criteria for Evaluating the Safety of Dairy Products with Transglutaminase. *Dairy Industry*, 3, 48–51. (In Russ.)
- Зобкова, З. С., Методологические аспекты проектирования цельномолочных продуктов с повышенной относительной биологической ценностью. *Пищевая промышленность*, 3, 68–71.
- Zobkova, Z. S., Methodological aspects of designing whole milk products with increased relative biological value. *Food Industry*, 3, 68–71. (In Russ.)
- Zobkova, Z. S., Yurova, E. A., Semipyatniy, V. K., Lazareva, E. G., Zenina, D. V., & Shelaginova, I. R. (2022). Modification of biotesting-based fermented dairy product design for curd and curd products. *Foods*, 11(20), 3166.
- Evans, E., & Carruthers, S. (1978). Comparisons of methods used for estimating the growth of *Tetrahymena pyriformis*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29, 703–707.