

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTION

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-15-23>
УДК 663.674:663.15



Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ СИНБИОТИЧЕСКОГО МОРОЖЕНОГО

Мария А. Вавилова

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»;
Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация*

Аннотация. Расширение ассортимента продуктов лечебно-профилактической направленности является определяющим фактором концепции государственной политики в области здорового питания. Продукты, обогащенные функциональными компонентами, улучшают общее состояние организма, обладают высокими органолептическими показателями в сочетании с повышенной биологической ценностью. Производство синбиотического мороженого является одним из перспективных направлений развития в сегменте молочной промышленности. Благодаря своему уникальному составу и особенностям технологического процесса, мороженое сохраняет заданные органолептические и функциональные свойства. Про- и пребиотические компоненты в нем законсервированы замораживанием и активизируются только при попадании в организм. Экспериментально было установлено, что высокие концентрации моносахаридов оказывают ингибирующее действие на развитие пробиотических культур, поэтому целью исследования являлось моделирование процесса ферментации мороженого, обогащенного пребиотическими компонентами, для определения оптимальных характеристик и установления рациональных концентраций сиропа. В качестве компонентов, обеспечивающих функциональность продукта, были использованы лактобактерии вида *Lactobacillus acidophilus*, сохраняющие свою активность в широком температурном диапазоне и подавляющие развитие патогенной микрофлоры, а также сироп из плодов ягод, характеризующийся высокой концентрацией витаминов и минеральных веществ. Для проведения эксперимента было рекомендовано поэтапное внесение сиропа. В результате исследования была разработана модельная рецептура синбиотического мороженого, определены количественные закономерности влияния различных концентраций фруктозного сиропа на процесс ферментации смесей, исследованы

органолептические характеристики мягкого мороженого, получена степенная модель зависимости продолжительности ферментации от массовой доли фруктозного сиропа. Установлено, что уменьшение начальной концентрации позволяет сократить технологический цикл, регулировать показатель кислотности.

Ключевые слова: кисломолочное мороженое, моделирование, синбиотики, пробиотики, пребиотики, ферментация, оптимизация, функциональные продукты

Для цитирования: Вавилова М.А. Моделирование процесса ферментации синбиотического мороженого // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 3. С. 15–23. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-15-23>

SIMULATION OF SYNBIOTIC ICE CREAM FERMENTATION PROCESS

Maria A. Vavilova

FSBEI HE «Ural State Forestry University»,
37 Sibirsky Tract, Yekaterinburg, 620100, the Russian Federation

Abstract. Expanding the range of products of therapeutic and prophylactic orientation is a priority direction of the state policy in the field of healthy nutrition. Products enriched with functional components improve the general state of the body, have high organoleptic characteristics in combination with increased biological value. The production of synbiotic ice cream is one of the promising trends in the dairy industry. Due to its unique composition and technological peculiarities, the ice cream retains the desired organoleptic and functional properties. Pro- and prebiotic components in it are conserved by freezing, and activated only when they enter the organism. It has been established experimentally, that high concentrations of monosaccharides have an inhibitory effect on the development of probiotic cultures, therefore, the purpose of the research is to simulate the fermentation process of the ice cream enriched with prebiotic components, in order to determine optimal characteristics and establish rational syrup concentrations. Lactic bacteria of *Lactobacillus acidophilus* species that remain active in a wide temperature range and suppressing pathogenic microflora, as well as berry syrup with a high concentration of vitamins and minerals have been used as components that ensure the functionality of the product. Phased addition of syrup has been recommended for the experiment. As a result of the research, a model recipe for synbiotic ice cream has been developed, the quantitative regularities of the influence of various concentrations of fructose syrup on the process of fermentation of compound have been determined, organoleptic characteristics of soft-serve ice cream have been investigated, a power-law model of the dependence of the duration of fermentation on the mass fraction of fructose syrup has been obtained. It has been found that a decrease in the initial concentration makes it possible to shorten the technological cycle and regulate the acidity index.

Keywords: fermented milk ice cream, modeling, synbiotics, probiotics, prebiotics, fermentation, optimization, functional products

For citation: Vavilova M.A. Simulation of synbiotic ice cream fermentation process // New technologies. 2021. V. 17. № 3. P. 15–23. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-15-23>

Введение

Одна из основных задач пищевой промышленности заключается в разработке функциональных продуктов питания, содержащих синбиотический комплекс, в

состав которого входят про- и пребиотические компоненты, положительно влияющие на организм за счет стабилизации нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта [1–4].

Пробиотики – живые микроорганизмы, оказывающие стимулирующее воздействие на иммунную систему, катализирующие процесс метаболизма питательных веществ, а также способствующие снижению риска развития сахарного диабета, сердечно-сосудистых, раковых заболеваний и улучшающие общее состояние организма. В качестве пробиотических культур используют *Lactobacillus casei shirota*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus gasseri*, *Bifidobacterium lactis*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Pediococcus pentosaceus*, *Bifidobacterium breve*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus acidophilus* [5–7].

Пребиотики – химические соединения, входящие в состав растительного сырья, служащие субстратом для микробиоты желудочно-кишечного тракта, ингибирующие рост патогенной микрофлоры, оказывающие иммуномодулирующее и стабилизирующее действие. К пребиотикам относят: инулин, фруктоолигосахариды, галактоолигосахариды, ксилолигосахариды, флавоноиды, минеральные добавки, полиненасыщенные жирные кислоты, антоцианы,

проантоцианидины, лигнаны, фенольные кислоты, стильбены [5; 8].

Согласно анализу патентной документации в базе данных рефератов российских изобретений за период с 01.01.2011 г. по 31.12.2020 г. были определены категории и процентное соотношение функциональных молочных продуктов (рис. 1).

Функциональные продукты питания представлены – молочными напитками: йогуртовыми, ацидофильными, ягодно-сывороточными, молочными коктейлями; десертами: фруктово-овощными, фруктово-ягодными, сливочными, творожными; мороженым: кисломолочным, йогуртовым, творожным, протеиновым; маслом: закусочным, кислосливочным, сладкосливочным, десертным; сметаной, сметанными продуктами; творожными продуктами; сырными продуктами, сыром: мягким, плавленым, рассольным.

Основную долю рынка лечебно-профилактических продуктов составляют молочные напитки, характеризующиеся непродолжительным сроком хранения и высоким уровнем постокисления, что негативно сказывается на жизнеспособности микроорганизмов. Поэтому в качестве матрицы-носителя для функциональных

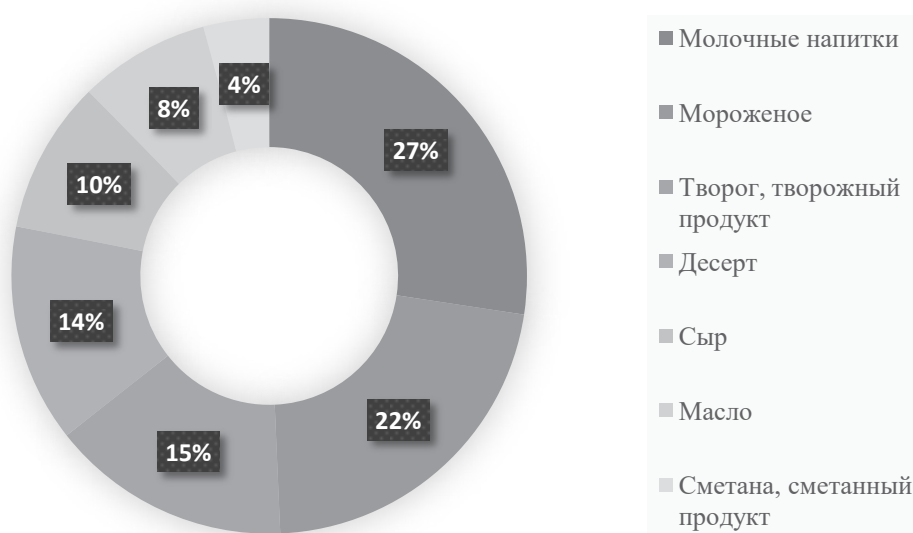


Рис. 1. Распределение патентов по категориям молочных продуктов функционального назначения

Fig. 1. Distribution of patents by categories of functional dairy products

компонентов было предложено использовать синбиотическое мороженое, многофазная сложная система которого состоит из пузырьков воздуха, частично скоагулированных жировых шариков, кристаллов льда, водной среды, в которой диспергируются растворенные и взвешенные вещества. Особенности состава и технологии позволяют сохранить жизнеспособность и специфическую активность про- и пребиотиков на протяжении всего срока годности [9–12].

Целью данного исследования являлось моделирование рецептуры и обоснование рациональных технологических параметров процесса ферментации синбиотического мороженого.

Объекты и методы исследований

В качестве пробиотической культуры использовались микроорганизмы *Lactobacillus Acidophilus*, грамположительные бактерии, клетки имеют форму палочек, молочнокислое брожение гомо- и гетероферментативное, монокультура характеризуется высокой антиоксидантной активностью, способностью к ингибированию патогенной микрофлоры. Условия ферментации и технологические характеристики *Lactobacillus Acidophilus* представлены в табл. 1 [13; 14].

Фрукты и ягоды являются природным источником антиоксидантов, пищевых волокон, витаминов, микро- и

Таблица 1

Технологическая характеристика *Lactobacillus Acidophilus*

Technological characteristics of <i>Lactobacillus Acidophilus</i>	
Температура, °С	35...38
Продолжительность, ч	5...7
Кислотообразующая активность, °Т	90
Консистенция	однородная, вязкая
Количество жизнеспособных клеток, КОЕ/г	109

Table 1

макроэлементов элементов, поэтому в качестве пребиотической добавки было предложено использовать промышленно выпускаемые сиропы, обогащенные биологически активными соединениями ягод клюквы и шиповника (см. табл. 2). Благодаря уникальному химическому составу плоды обладают высокой биологической ценностью и ярко выраженным профилактическим действием [15; 16].

В работе для характеристик объектов и процессов исследований были использованы стандартные методы.

Отбор проб и проведение анализа по ГОСТ 32901-2014, определение кислотности по ГОСТ 3624-92. Органолептическая оценка проведена по 5-балльной системе.

Разработка рецептуры синбиотического мороженого с применением симплекс-метода реализована в табличном процессоре Microsoft Excel с надстройкой «Поиск решения» [17].

Для аппроксимации экспериментальных данных использована программа Table Curve 2D, реализующая метод наименьших квадратов [18; 19].

Результаты и их обсуждение

Проведено моделирование рецептуры синбиотического мороженого (см. табл. 3), за опорные значения приняты физико-химические показатели в соответствии с ГОСТ 32929-2014, однокритериальная оптимизация проведена в соответствии с биологической ценностью компонентов.

Таблица 2

Компонентный состав плодов

Table 2

Composition of fruits

Наименование веществ, мг/100 г	плоды клюквы	плоды шиповника
аскорбиновая кислота	120	144
ретинол	0,7	0,7
токоферолы	15	15
тиамин	1	1
рибофлавин	1	2,1
пантотеновая кислота	7,8	7,5
пиридоксин	1,1	1,1
цианокобаламин, мкг /100 г	3,6	3,6
эргокальциферол, мкг /100 г	11	11
биофлавоноиды, полифенолы	30,9	31
биотин	0,1	0,1
фолиевая кислота	0,4	0,4
железо (Fe)	0,6	7,8
кальций (Ca)	1,4	1,5
магний (Mg)	1,5	1,3
фосфор (P)	11	4,4

Экспериментально было установлено, что высокие начальные концентрации фруктозного сиропа оказывают ингибирующее действие на развитие пробиотических культур (рис. 2), поэтому внесение сиропа осуществлялось в два этапа: 7,5/22; 15/14,5; 22,5/7; 29,5/0.

На следующем этапе была проведена оптимизация, задача которой заключалась в определении массовой доли сиропа (w) в смесях при минимальной длительности процесса (τ), титруемая кислотность (Q), в соответствии с требованиями ГОСТ 32929-2014 – 70...80 °С. Для каждого значения w определялась минимальная и максимальная продолжительность ферментации, скоррелированная с минимальным и максимальным значениями Q смеси.

В результате аппроксимации экспериментальных данных была получена степенная функция: $Q = a + b \cdot \tau^{1,5}$, достоверность составляет 0,996.

Зависимость τ_{min} и τ_{max} от массовой доли сиропа в смеси (w) была описана уравнением: $\tau_{min/max} = a + b \cdot w^{1,5} + c \cdot e^{-w}$. Зная коэффициенты a , b , c и указав значения концентрации сиропа, можно рассчитать продолжительность ферментации смеси синбиотического мороженого.

Изучены органолептические показатели мягкого синбиотического мороженого (рис. 3), при значении титруемой кислотности 70...80 °С.

Полученный продукт обладает приятным кисломолочным вкусом и

Таблица 3

Модельный состав смеси мороженого

Table 3

Model composition of ice cream mix

Наименование компонента	Содержание, %
Молоко цельное (массовая доля жира 4,0%)	28,1
Сливки (массовая доля жира 20%)	31,8
Сливки (массовая доля жира 10%)	0,1
Сухое обезжиренное молоко (массовая доля сухих веществ 95%)	5
Сироп	29,5
Стабилизатор	0,5
Заквасочная культура	5
Характеристика смеси	
Массовая доля сухих веществ, не менее	33
В том числе:	
молочного жира	7,5
СОМО	9,5
Общего сахара, не менее	17
Кислотность, °T	80±5

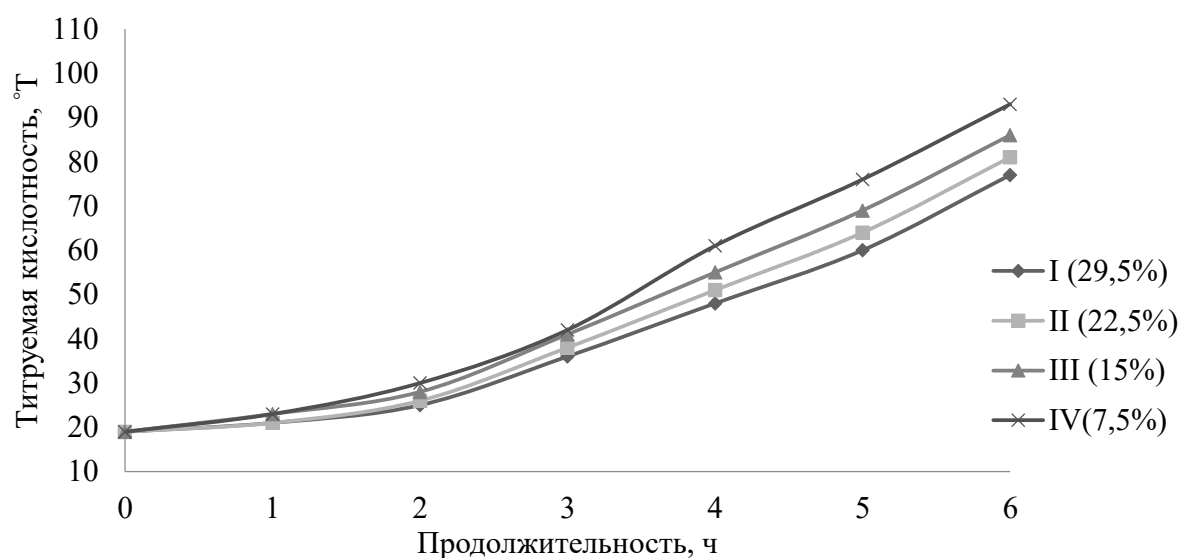


Рис. 2. Изменение титруемой кислотности смесей с различной начальной концентрацией фруктозного сиропа

Fig. 2. Change in titratable acidity of mixtures with different initial concentration of fructose syrup

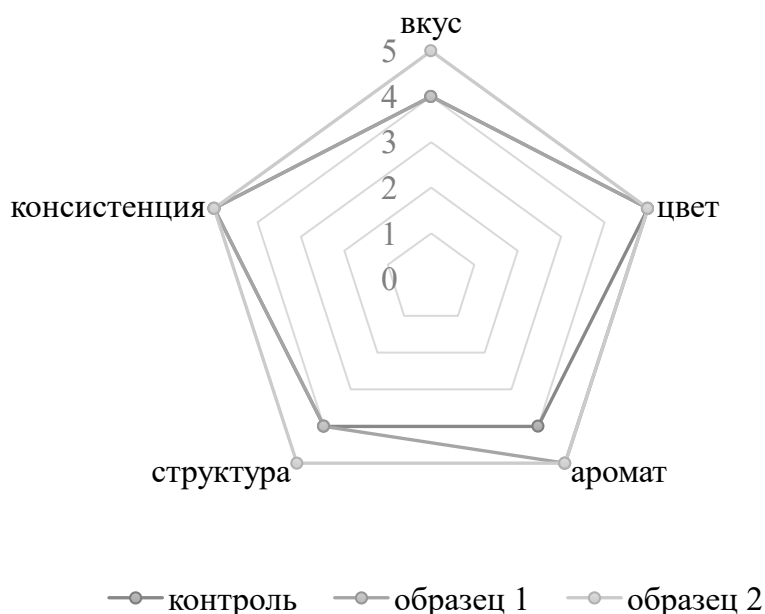


Рис. 3. Органолептическая балловая оценка образцов

Fig. 3. Organoleptic scoring of samples

ароматом, равномерно окрашен, имеет характерную для данного вида мороженого структуру, однородную консистенцию.

Заключение

Установлено, что функциональные компоненты, входящие в состав мороженого, способствуют повышению его органолептических и структурно-механических показателей. На основании полученного модельного уравнения рекомендованы следующие параметры процесса:

продолжительность ферментации монокультурой *L. Acidophilus* 4,3...5 часов, титруемая кислотность 70...80 °Т, начальная концентрация фруктозного сиропа – 6...9%. Полученное синбиотическое мороженое позволит расширить ассортимент продуктов лечебно-профилактической направленности. Использование комплекса про- и пребиотиков способствует повышению биологической ценности, улучшению органолептических и физико-химических показателей готового продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams / Di Criscio T. [et al.] // Journal of Dairy Science. 2010. V. 93. P. 10.
2. Ice cream as a probiotic food carrier / Cruz A. G. [et al.] // Food Research International. 2009. V. 42. P. 1233–1239.
3. Prebiotics and synbiotics: Recent concepts in nutrition / Mohanty D. [et al.] // Food Bioscience. 2018. V. 26. P. 152–160.
4. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams / Di Criscio T. [et al.] // Journal of Dairy Science. 2010. V. 93. P. 4555–4564.
5. Shaping the Future of Probiotics and Prebiotics [Electronic resource] / Cunningham M. [et. al.] // Trends in Microbiology. 2021. V. 4. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.01.003>.
6. Koirala S., Kumar A. Probiotics-based foods and beverages as future foods and their overall safety and regulatory claims [Electronic resource] // Future Foods. 2021. V. 3. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100013>.

7. Effects of Taraxacum and Astragalus extracts combined with probiotic *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus* on *Escherichia coli*-infected broiler chickens [Electronic resource] / Liang W. [et al.] // *Poultry Science*. 2021. V. 100. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.030>.
8. Innovative technologies for the production of food ingredients with prebiotic potential: Modifications, applications, and validation methods. / Hurtado-Romero A. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. V. 104. P. 117–131.
9. Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability / Akalin A.S. [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2018. V. 101. P. 37–46.
10. Chaikham P., Rattanasena P. Combined effects of low-fat ice cream supplemented with probiotics on colon microfloral communities and their metabolites during fermentation in a human gut reactor // *Food Bioscience*. 2017. V. 17. P. 35–41.
11. Microencapsulation of probiotics in multi-polysaccharide microcapsules by electrohydrodynamic atomization and incorporation into ice-cream formulation / Zaeim D. [et al.] // *Food Structure*. 2020. V. 25.
12. Bultosa G. Functional Foods: Dietary Fibers, Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics // *Encyclopedia of Food Grains*. 2016. P. 11–16.
13. Ozogul F., Hamed I. Lactic Acid Bacteria: *Lactobacillus* spp.: *Lactobacillus acidophilus* // *Reference Module in Food Science*. 2016.
14. Selle K.M., Klaenhammer T.R., Russell W.M. *Lactobacillus acidophilus* // *Encyclopedia of Food Microbiology*. 2014. P. 412–417.
15. Cesonienė L., Daubaras R. Phytochemical Composition of the Large Cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) and the Small Cranberry (*Vaccinium oxycoccos*) // *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. 2016. P. 173–194.
16. Qadir R., Anwar F. Cold pressed rosehip seed oil. *Cold Pressed Oils*, 2020. P. 315–322.
17. Лисин П.А. Компьютерные технологии в рецептурных расчетах молочных продуктов. М.: ДеЛи принт, 2007. 101 с.
18. Бородин А.В. Статистические методы исследования в прикладной биотехнологии. М.: МГУПБ, 2000. 69 с.
19. Панфилов Г.В., Черняев А.В. Статистически обоснованное построение двумерных графических зависимостей // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. Вып. 11. С. 184–193.

REFERENCES:

1. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams / Di Criscio T. [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2010. V. 93. P. 10.
2. Ice cream as a probiotic food carrier. / Cruz A.G. [et al.] // *Food Research International*. 2009. V. 42. P. 1233–1239.
3. Prebiotics and synbiotics: Recent concepts in nutrition. / Mohanty D. [et al.] // *Food Bioscience*. 2018. V. 26. P. 152–160.
4. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams / Di Criscio T. [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2010. V. 93. P. 4555–4564.
5. Shaping the Future of Probiotics and Prebiotics [Electronic resource] / Cunningham M [et al.] // *Trends in Microbiology*. 2021. V. 4. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.01.003>.
6. Koirala S., Kumar A. Probiotics-based foods and beverages as future foods and their overall safety and regulatory claims [Electronic resource] // *Future Foods*. 2021. V. 3. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100013>.
7. Effects of Taraxacum and Astragalus extracts combined with probiotic *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus* on *Escherichia coli*-infected broiler chickens [Electronic resource] / Liang W. [et al.] // *Poultry Science*. 2021. V. 100. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.030>.

8. Innovative technologies for the production of food ingredients with prebiotic potential: Modifications, applications, and validation methods / Hurtado-Romero A. [et al.] // Trends in Food Science & Technology. 2020. V. 104. P. 117–131.
9. Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability / Akalin A.S. [et al.] // Journal of Dairy Science. 2018. V. 101. P. 37–46.
10. Chaikham P., Rattanasena P. Combined effects of low-fat ice cream supplemented with probiotics on colon microfloral communities and their metabolites during fermentation in a human gut reactor // Food Bioscience. 2017. V. 17. P. 35–41.
11. Microencapsulation of probiotics in multi-polysaccharide microcapsules by electrohydrodynamic atomization and incorporation into ice-cream formulation / Zaeim D. [et al.] // Food Structure. 2020. V. 25.
12. Bultosa G. Functional Foods: Dietary Fibers, Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics // Encyclopedia of Food Grains. 2016. P. 11–16.
13. Ozogul F., Hamed I. Lactic Acid Bacteria: Lactobacillus spp.: Lactobacillus acidophilus // Reference Module in Food Science. 2016.
14. Selle K.M., Klaenhammer, T.R., Russell W.M. Lactobacillus acidophilus // Encyclopedia of Food Microbiology. 2014. P. 412–417.
15. Cesonienė L., Daubaras R. Phytochemical Composition of the Large Cranberry (Vaccinium macrocarpon) and the Small Cranberry (Vaccinium oxycoccos) // Nutritional Composition of Fruit Cultivars. 2016. P. 173–194.
16. Qadir R., Anwar F. Cold pressed rosehip seed oil // Cold Pressed Oils. 2020. P. 315–322.
17. Lisin P.A. Computer technologies in prescription calculations of dairy products. M.: DeLi print, 2007. 101 p. (In Russian)
18. Borodin A.V. Statistical methods of research in applied Biotechnology. M.: MGUPB. 2000. 69 p. (In Russian)
19. Panfilov G.V., Chernyaev A.V. Statistically sound construction of two-dimensional graphical dependencies // Bulletin of the Tula State University. Technical science. 2017. Vol. 11. P. 184–193. (In Russian)

Информация об авторе / Information about the author

Мария Александровна Вавилова, магистрант кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
mariiya.vavilova@gmail.com

Maria A. Vavilova, a post graduate student of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, FSBEI HE «Ural State Forestry University»
mariiya.vavilova@gmail.com

Поступила 22.03.2021
Received 22.03.2021

Принята в печать 12.05.2021
Accepted 12.05.2021