



ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Обзорная статья/Review Article

УДК 663.18

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-144-151

Мария Сергеевна Ашихмина¹, Тигран Гарриевич Амбарцумов^{2✉},
Анастасия Олеговна Иванова³, Ольга Юрьевна Орлова⁴

^{1,2,3,4}Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

¹ashikhmina@infochemistry.ru

²tambartcumov@itmo.ru

³nya8kis@gmail.com

⁴oousova@itmo.ru

УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КУЛЬТИВИРОВАНИЕ И ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПРИ ЛИОФИЛИЗАЦИИ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ: ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ БАЗЫ ДАННЫХ

Цель – обзор отечественного и зарубежного опыта изучения и производства заквасочных культур методом сублимационной сушки. Молочнокислые бактерии являются одними из наиболее распространенных микроорганизмов, используемых в пищевой промышленности. Они играют важную роль в производстве кисломолочных продуктов, сыров, творога и других молочных продуктов. Однако для их использования необходимо культивировать и сохранять заквасочные культуры, что требует определенных технологических процессов. Существует несколько методов культивирования и хранения молочнокислых бактерий, одним из которых является метод сублимационной сушки. Этот метод позволяет сохранять заквасочные культуры в течение длительного времени без потери их жизнеспособности и активности. Основная задача исследования заключается в анализе научных статей, публикаций и отчетов о применении метода сублимационной сушки для производства заквасочных культур. В ходе исследования выявлены основные преимущества и недостатки данного метода, а также определены условия культивирования и сублимации заквасочных культур. Важным результатом исследования является создание базы данных, которая поможет оптимизировать производство заквасочных культур и создать новые логистические сети в пищевой промышленности. База данных будет содержать информацию о применении метода сублимационной сушки для производства различных видов заквасочных культур, а также о режимах культивирования и сублимации. Результаты исследования могут быть использованы в пищевой промышленности для создания новых продуктов на основе заквасочных культур, а также для оптимизации производства существующих продуктов. Кроме того, исследование может быть полезным для научных работников, занимающихся изучением заквасочных культур и методов их производства.

Ключевые слова: закваски, криоконсервация, молочнокислые бактерии, криопротектор

Для цитирования: Условия, влияющие на культивирование и выживаемость при лиофилизации молочнокислых бактерий: подход к формированию базы данных / М.С. Ашихмина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 4. С. 144–151. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-144-151.

Благодарности: работа выполнена при поддержке РФФ № 23-16-00224.

Maria Sergeevna Ashikhmina¹, Tigran Garrievich Ambartsumov^{2✉}, Anastasia Olegovna Ivanova³, Olga Yurievna Orlova⁴

1,2,3,4National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia

¹ashikhmina@infochemistry.ru

²tambartcumov@itmo.ru

³nya8kis@gmail.com

⁴oousova@itmo.ru

CONDITIONS AFFECTING CULTIVATION AND SURVIVAL DURING LACTIC ACID BACTERIA LYOPHILIZATION: AN APPROACH TO CREATING A DATABASE

The goal is to review domestic and foreign experience in the study and production of starter cultures using the freeze-drying method. Lactic acid bacteria are one of the most common microorganisms used in the food industry. They play an important role in the production of fermented milk products, cheeses, cottage cheese and other dairy products. However, to use them, it is necessary to cultivate and preserve starter cultures, which requires certain technological processes. There are several methods for cultivating and storing lactic acid bacteria, one of which is the freeze-drying method. This method makes it possible to preserve starter cultures for a long time without losing their viability and activity. The main objective of the study is to analyze scientific papers, publications and reports on the application of the freeze-drying method for the production of starter cultures. The study revealed the main advantages and disadvantages of this method, and also determined the conditions for the cultivation and sublimation of starter cultures. An important result of the study is the creation of a database that will help optimize the production of starter cultures and create new logistics networks in the food industry. The database will contain information on the application of the freeze-drying method for the production of various types of starter cultures, as well as on cultivation and freeze-drying regimes. The results of the study can be used in the food industry to create new products based on starter cultures, as well as to optimize the production of existing products. In addition, the study may be useful for researchers studying starter cultures and their production methods.

Keywords: starters, cryopreservation, lactic acid bacteria, cryoprotector

For citation: Conditions affecting cultivation and survival during lactic acid bacteria lyophilization: an approach to creating a database / M.S. Ashikhmina [at al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(4): 144–151 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-144-151.

Acknowledgments: this work has been supported by the Russian Science Foundation № 23-16-00224.

Введение. Пищевые продукты и биологически активные вещества производятся с помощью таких микроорганизмов, как вирусы, бактерии, дрожжи, споры грибов и простейшие. В свою очередь, молочнокислые бактерии используются для производства кисломолочных продуктов, таких как сыры, творог и многие другие. Совершенствование технологий для организации производства культур – одно из наиболее перспективных направлений пищевой промышленности [1–5].

В последнее время в российском пищевом бизнесе наблюдается множество технологических изменений. Нарушение сложившихся цепочек поставок заквасок, реагентов, оборудования

в результате пандемии коронавируса в 2019 г. оказало существенное влияние на развитие отрасли.

Недостаточность отечественной технологии производства заквасочных культур и производителей оборудования, необходимость развития технологических процессов, создание новых логистических сетей – актуальные проблемы пищевой отрасли [6]. Несмотря на текущие трудности, отечественный продовольственный бизнес продолжает расширяться и развиваться.

Цель исследования – обзор отечественного и зарубежного опыта изучения и производства заквасочных культур методом сублимационной сушки.

Задачи: изучение технологии и методики лиофилизации заквасочных культур, используемых в различных странах; определение основных параметров и условий лиофилизации, которые влияют на качество заквасочных культур.

Объекты. Объектом настоящего обзора является технология культивирования и лиофилизации молочнокислых бактерий, применяемых в пищевой промышленности.

Результаты и их обсуждение

Накопление бактериальной массы

Накопление бактериальной массы является важным этапом культивирования бактерий и является необходимым для получения достаточного количества бактерий для дальнейших исследований или производства биологических продуктов. Факторы, влияющие на накопление бактериальной массы при культивировании, могут быть различными и зависят от условий, в которых происходит культивирование.

Один из основных факторов, влияющих на накопление бактериальной массы, – это тип и состав питательной среды [7]. Различные виды бактерий могут требовать разных компонентов питательной среды для роста и размножения. Некоторые бактерии могут производить экзотоксины, которые убивают другие виды бактерий [8],

что может привести к низкому накоплению бактериальной массы. В промышленности существует риск контаминации и поражения заквасочных культур бактериофагами, способными привести к гибели молочнокислых бактерий [9].

Температура также является важным фактором, влияющим на накопление бактериальной массы. Различные виды бактерий имеют оптимальные температуры для роста и размножения. Если температура слишком высокая или низкая, это может привести к замедлению роста бактерий и низкому накоплению бактериальной массы.

К другим факторам, влияющим на накопление бактериальной массы, относятся pH питательной среды, содержание кислорода в среде, наличие антибиотиков или других ингибиторов роста, а также интенсивность перемешивания и аэрации в культуре. Все эти факторы могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на накопление бактериальной массы. Анализ открытых источников литературы выявил 15 наиболее важных факторов, представленных на рисунке 1, способных повлиять как на накопление биомассы, так и на конечный результат лиофилизации – выживаемость бактерий [10–13].



Рис. 1. Факторы, влияющие на накопление бактериальной массы при культивировании

Кроме вышеперечисленных факторов, при культивировании бактерий также необходимо учитывать состав мембраны бактерий, поскольку он может влиять на проницаемость и способность бактерий к поглощению питательных веществ. Также важен выбор правильного метода пассажа, который позволяет сохранить стабильность генетического материала бактерий при последовательных пересевах. Вид и штамм бактерий также могут влиять на эффективность культивирования, поскольку различные виды и штаммы могут иметь разные требования к условиям культивирования и чувствительность к антибиотикам и ингибиторам роста [14].

При культивировании бактерий необходимо учитывать все эти факторы для достижения максимального эффекта и получения качественной бактериальной массы.

Известно, что при снижении температуры большинство биологических и химических реакций замедляется, что и приводит к консервации процессов. Анабиотическое состояние, в которое возможно искусственно ввести микроорганизмы, является основой всех эффективных методов хранения образцов [11, 15–23]. Однако процесс заморозки зачастую губителен для клеток, оргanelл и других структур ввиду образования интра- и экстраклеточных кристаллов воды [15].

Лиофилизация бактериальной массы

Для сохранения видового состава и разнообразия, стабилизации бактериальных клеток, уменьшения энергозатрат при хранении проводят лиофильную сушку. Лиофильная сушка является наиболее распространенным методом сохранения биологических объектов, в том числе молочнокислых бактерий, что облегчает их хранение и транспортировку без трудоемкой и дорогостоящей холодильной цепи. В основе лиофильного высушивания лежит двойной фазовый переход: вода–лед (замораживание) и лед–пар (сублимация) [11, 16, 20]. На процесс лиофилизации влияет множество факторов: скорость заморозки, тип криопротектора, начальная концентрация микроорганизмов и другие, представленные на рисунке 2. В рамках работы было изучено более трехсот публикаций отечественных и зарубежных исследовательских групп, из которых было отобрано 16 наиболее важных факторов, влияющих на выживаемость бактерий при лиофилизации. Для успешной выживаемости бактерий следует не только учитывать вышеупомянутые факторы, но также условия хранения высушенных образцов, например температуру хранения. Более того, следует принять во внимание степень обезвоживания образцов [18, 24–26].



Рис. 2. Факторы, влияющие на выживаемость бактерий при лиофилизации

В основе низкотемпературного хранения образцов лежит процесс замерзания воды и концентрации растворенных веществ в незамерзшей жидкой фазе. Считается, что механическое повреждение вызвано кристаллами льда, обра-

зованными при снижении температуры [18]. Ввиду этого необходимым является использование веществ, предотвращающих формирование льда, – антифризов или криопротекторов. Процесс криозащиты заключается в способно-

сти реагента предотвращать нуклеацию. Это необходимо, поскольку нуклеация вызывает разрушение таких структур, как лизосомы. Более того, нуклеация часто приводит к летальному исходу [24]. Криоконсервация является эффективным методом долгосрочного хранения образцов. Благодаря данному методу не только снижаются временные и финансовые затраты, но также обеспечивается стабильность образцов, поскольку риски генетических изменений снижаются [12].

В качестве лиопротекторов могут выступать многие вещества: углеводы (трегалоза, сахароза), полисахариды, спирты (глицерин), натуральные биополимеры (белки, полисахариды) и другие [12, 14, 15, 18, 27, 28]. Однако не все традиционно используемые криопротекторы (например, ДМСО) могут быть применены в пищевой промышленности ввиду их токсичности. Зачастую для лиофилизации создают многокомпонентный криопротектор, используя комбинацию соединений с различными защитными свойствами [7, 10, 12].

Действие криопротектора обусловлено предотвращением физико-химических и фазовых превращений вследствие осмотического обезвоживания бактериальных клеток – предупреждением образования внутриклеточных кристаллов льда, органических и минеральных солей, которые вызывают разрыв клеточной стенки. Наличие криопротектора также определяет процесс оттаивания, который может сопровождаться перекристаллизацией [23]. При медленном подводе тепла меньшие по размеру кристаллы льда могут перекристаллизовываться в более крупные, неоднородные по форме, что может вызвать разрыв клеточных структур и повреждение клеточной стенки.

Разработка композиций криопротекторов и изучение взаимодействия их молекул с клеточной стенкой бактерий позволит оптимизировать разработку криозащитных добавок для заквасок молочнокислых бактерий, применяемых в пищевой промышленности, а также создание базы данных для дальнейшего изучения данной области с применением алгоритмов и методов машинного обучения [29].

Заключение. В рамках данной работы был проведен обширный анализ отечественной и зарубежной литературы по культивированию молочнокислых бактерий и их дальнейшей лиофилизации. Целью данного анализа явля-

лось определение параметров для создания базы данных, которая будет способствовать развитию цифровой модели процесса лиофилизации бактерий. Для достижения цели были изучены различные источники информации, включая научные статьи, книги, патенты и другие материалы. Были проанализированы различные аспекты процесса культивирования молочнокислых бактерий, такие как условия роста, состав среды, температура, pH и другие факторы. Также были изучены факторы, влияющие на дальнейшую лиофилизацию молочнокислых бактерий, такие как методы замораживания, тип сушки, скорость замораживания и другие параметры. В результате анализа была создана база данных, которая включала информацию о наиболее эффективных методах культивирования молочнокислых бактерий и их последующей лиофилизации. Эта база данных может быть использована для разработки новых методов культивирования молочнокислых бактерий и их дальнейшей обработки, а также для оптимизации существующих процессов. Кроме того, она может быть полезна для исследователей, занимающихся различными аспектами молочнокислых бактерий, включая их использование в пищевой промышленности, медицине и других областях.

Список источников

1. Изучение влияния БАВ лекарственных растений на рост и развитие молочнокислых микроорганизмов и бифидобактерий / Т.В. Герасимова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1 (24). С. 26–30.
2. Ноговицина Е.М. Использование бактерий для получения биологически активных соединений на основе растительных стеролов // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2013. № 2. С. 4–12.
3. Носов А.М. Использование клеточных технологий для промышленного получения биологически активных веществ растительного происхождения // Биотехнология. 2010. № 5. С. 8–28.
4. Biologically active metabolites of *Bacillus subtilis* and their role in the control of phytopathogenic microorganisms / T.M. Sidorova [et al.] // Agricultural biology. 2018. Т. 53, № 1. P. 29–37.

5. A review of the microbial production of bioactive natural products and biologics / J.V. Pham [et al.] // *Frontiers in microbiology*. 2019. Т. 10. P. 449147.
6. Трифонова Е.Н. Взаимосвязь темпов роста отечественной пищевой и перерабатывающей промышленности и тенденций развития государственной денежно-кредитной политики // *International agricultural journal*. 2020. № 2. С. 25–35.
7. David P.R. Cryocrystallography: basic theory and methods // *Practical protein crystallography*, 2nd edn. Academic Press, San Diego, CA. 1999. P. 409–443.
8. Effects of lyoprotectant and encapsulated *Lactobacillus acidophilus* KBL409 on freeze-drying and storage stability / J. Lee [et al.] // *LWT*. 2023. Т. 182. P. 114846.
9. Сорокина Н.П., Перфильев Г.Д. Активность заквасочной микрофлоры: причины снижения и способы повышения. Методы предотвращения поражения молочнокислых бактерий бактериофагами // *Молочная промышленность*. 2013. № 11. С. 32–35.
10. Pegg D.E. Principles of Cryopreservation // *Preservation of Human oocytes*. 2009. С. 34–46.
11. Кириленко М.А., Кузнецов О.Ю., Дмитриева Ж.М. Влияние криоконсервации на выживаемость комплекса аутоштаммов лактобактерий при хранении и процессах биотехнологического масштабирования // *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова*. 2019. Т. 15, № 2. С. 5.
12. Cryopreservation: A review article / A.N. Jaiswal [et al.] // *Cureus*. 2022. Т. 14, №. 11.
13. Харитонова И., Просеков А.Ю., Шрамко М.И. Изучение качественных характеристик концентратов лактобактерий в процессе крио-замораживания и сублимационной сушки // *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*. 2015. № 2. С. 87–90.
14. Wolkers W.F., Tablin F., Crowe J.H. From anhydrobiosis to freeze-drying of eukaryotic cells // *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2002. Т. 131, № 3. P. 535–543.
15. C18: 1 improves the freeze-drying resistance of *Lactobacillus plantarum* by maintaining the cell membrane / G. Wang [et al.] // *ACS Applied Bio Materials*. 2020. Т. 3, № 8. P. 4933–4940.
16. Влияние добавления маннозы и фукозы в защитную среду на физиологическую активность лиофилизированных молочнокислых микроорганизмов / А.А. Толкачева [и др.] // *Актуальная биотехнология*. 2012. № 2. С. 7–11.
17. Подбор параметров стабилизации (замораживание и сушка) симбиотического консорциума с целью получения закваски прямого внесения / В.Ю. Крумликов [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. Т. 42, № 3. С. 25–30.
18. Моделирование кристаллизации влаги при замораживании бактериальных заквасок / Е.В. Короткая [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50, № 2. С. 252–260.
19. Пойманов В.В., Яценко С.М., Барыкин Р.А. Исследование процесса вакуум-сублимационной сушки бактериальных концентратов для мясной отрасли с использованием крио-замораживания // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2016. № 1 (67). С. 25–30.
20. Занданова Т.Н. Выбор криопротекторов для замораживания бактериального концентрата симбиотической закваски // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 3 (168). С. 163–168.
21. Макаренко Н. Криоконсервация бифидобактерий // *Наука и инновации*. 2010. Т. 9, № 91. С. 53–54.
22. Криоконсервация: перспективный метод хранения промышленно ценных штаммов молочнокислых бактерий и дрожжей / О.А. Савкина [и др.] // *Сельскохозяйственная биология*. 2014. № 4. С. 112–119.
23. Effect of physical properties on the stability of *Lactobacillus bulgaricus* in a freeze-dried galacto-oligosaccharides matrix / E.E. Tymczyn [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. 2012. Т. 155, № 3. С. 217–221.
24. Оханкина В.Ю. Методы поддержания микробных культур. Ч. 2. Лиофилизация // *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. № 4. С. 21–32.
25. Вакуумная сушка бактериальных концентратов и заквасок молочнокислых бактерий / Н.Э. Каухчешвили [и др.] // *Молочная промышленность*. 2011. № 5. С. 30–31.

26. Effect of ginseng polysaccharide on the stability of lactic acid bacteria during freeze-drying process and storage / S.H. Yang [et al.] // Archives of pharmacal research. 2006. T. 29. P. 735–740.
27. Богданов В.Д., Панкина А.В. Криопротекторы в холодильных технологиях продуктов питания // Труды ВНИРО. 2023. Т. 191. С. 142–155.
28. Грачева И.В., Осин А.В. Механизмы повреждений бактерий при лиофилизации и протективное действие защитных сред // Проблемы особо опасных инфекций. 2016. №. 3. С. 5–12.
29. The trehalose myth revisited: introduction to a symposium on stabilization of cells in the dry state / J.H. Crowe [et al.] // Cryobiology. 2001. T. 43, № 2. P. 89–105.
7. David P.R. Cryocrystallography: basic theory and methods // Practical protein crystallography, 2nd edn. Academic Press, San Diego, CA. 1999. P. 409–443.
8. Effects of lyoprotectant and encapsulated *Lactobacillus acidophilus* KBL409 on freeze-drying and storage stability / J. Lee [et al.] // LWT. 2023. T. 182. S. 114846.
9. Sorokina N.P., Perfil'ev G.D. Aktivnost' zakvasochnoj mikroflory: prichiny snizheniya i sposoby povysheniya. Metody predotvrascheniya porazheniya molochnokislyh bakterij bakteriofagami // Molochnaya promyshlennost'. 2013. № 11. S. 32–35.
10. Pegg D.E. Principles of Cryopreservation // Preservation of Human oocytes. 2009. P. 34–46.
11. Kirilenko M.A., Kuznecov O.Yu., Dmitrieva Zh.M. Vliyanie kriokonservacii na vyzhivaemost' kompleksa autoshtammov laktobakterij pri hranenii i processah biotekhnologicheskogo masshtabirovaniya // Vestnik biotekhnologii i fiziko-himicheskoy biologii im. Yu.A. Ovchinnikova. 2019. T. 15, № 2. S. 5.

References

1. Izuchenie vliyaniya BAV lekarstvennyh rastenij na rost i razvitie molochnokislyh mikroorganizmov i bifidobakterij / T.V. Gerasimova [i dr.] // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2012. № 1 (24). S. 26–30.
2. Nogovicina E.M. Ispol'zovanie bakterij dlya polucheniya biologicheski aktivnyh soedinenij na osnove rastitel'nyh sterolov // Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo centra. 2013. № 2. S. 4–12.
3. Nosov A.M. Ispol'zovanie kletochnyh tehnologij dlya promyshlennogo polucheniya biologicheski aktivnyh veschestv rastitel'nogo proishozhdeniya // Biotekhnologiya. 2010. № 5. S. 8–28.
4. Biologically active metabolites of *Bacillus subtilis* and their role in the control of phytopathogenic microorganisms / T.M. Sidorova [et al.] // Agricultural biology. 2018. T. 53, № 1. P. 29–37.
5. A review of the microbial production of bioactive natural products and biologics / J.V. Pham [et al.] // Frontiers in microbiology. 2019. T. 10. P. 449147.
6. Trifonova E.N. Vzaimosvyaz' tempov rosta otechestvennoj pischevoj i pererabatyvayuschej promyshlennosti i tendencij razvitiya gosudarstvennoj denezhno-kreditnoj politiki // International agricultural journal. 2020. № 2. S. 25–35.
12. Cryopreservation: A review article / A.N. Jaiswal [et al.] // Cureus. 2022. T. 14, № 11.
13. Haritonova I., Prosekov A.Yu., Shramko M.I. Izuchenie kachestvennyh karakteristik koncentratov laktobakterij v processe kriozamorazhivaniya i sublimacionnoj sushki // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. 2015. № 2. S. 87–90.
14. Wolkers W.F., Tablin F., Crowe J.H. From anhydrobiosis to freeze-drying of eukaryotic cells // Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. 2002. T. 131, № 3. P. 535–543.
15. C18: 1 improves the freeze-drying resistance of *Lactobacillus plantarum* by maintaining the cell membrane / G. Wang [et al.] // ACS Applied Bio Materials. 2020. T. 3, № 8. P. 4933–4940.
16. Vliyanie dobavleniya mannozy i fukozy v zaschitnyuyu sredu na fiziologicheskuyu aktivnost' liofilizirovannyh molochnokislyh mikroorganizmov / A.A. Tolkacheva [i dr.] // Aktual'naya biotekhnologiya. 2012. № 2. S. 7–11.
17. Podbor parametrov stabilizacii (zamorazhivanie i sushka) simbioticheskogo konsorciuma s cel'yu polucheniya zakvaski pryamogo vnese-niya / V.Yu. Krumlikov [i dr.] // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2016. T. 42, № 3. S. 25–30.

18. Modelirovanie kristallizacii vlagi pri zamorazhivanii bakterial'nyh zakvasok / E.V. Korotkaya [i dr.] // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2020. T. 50, № 2. S. 252–260.
19. Pojmanov V.V., Yaschenko S.M., Barykin R.A. Issledovanie processa vakuum-sublacionnoj sushki bakterial'nyh koncentratov dlya myasnoj otrasli s ispol'zovaniem kriezamorazhivaniya // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij. 2016. № 1 (67). S. 25–30.
20. Zandanova T.N. Vybor krioprotektorov dlya zamorazhivaniya bakterial'nogo koncentrata simbioticheskoj zakvaski // Vestnik KrasGAU. 2021. № 3 (168). S. 163–168.
21. Makarenko N. Kriokonservaciya bifidobakterij // Nauka i innovacii. 2010. T. 9, № 91. S. 53–54.
22. Kriokonservaciya: perspektivnyj metod hraniya promyshlennno cennyh shtammov molochnokislyh bakterij i drozhzhej / O.A. Savkina [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2014. № 4. S. 112–119.
23. Effect of physical properties on the stability of *Lactobacillus bulgaricus* in a freeze-dried galacto-oligosaccharides matrix / E.E. Tymczyszyn [et al.] // International Journal of Food Microbiology. 2012. T. 155, № 3. P. 217–221.
24. Ohapkina V.Yu. Metody podderzhaniya mikrobnym kul'tur. Ch. 2. Liofilizaciya // Teoreticheskaya i prikladnaya `ekologiya. 2009. № 4. S. 21–32.
25. Vakuumnaya sushka bakterial'nyh koncentratov i zakvasok molochnokislyh bakterij / N.E. Kauhcheshvili [i dr.] // Molochnaya promyshlennost'. 2011. № 5. S. 30–31.
26. Effect of ginseng polysaccharide on the stability of lactic acid bacteria during freeze-drying process and storage / S.H. Yang [et al.] // Archives of pharmacal research. 2006. T. 29. P. 735–740.
27. Bogdanov V.D., Pankina A.V. Krioprotektory v holodil'nyh tehnologiyah produktov pitaniya // Trudy VNIRO. 2023. T. 191. S. 142–155.
28. Gracheva I.V., Osin A.V. Mehanizmy povrezhdenij bakterij pri liofilizacii i protektivnoe dejstvie zaschitnyh sred // Problemy osobo opasnyh infekcij. 2016. № 3. S. 5–12.
29. The trehalose myth revisited: introduction to a symposium on stabilization of cells in the dry state / J.H. Crowe [et al.] // Cryobiology. 2001. T. 43, № 2. P. 89–105.

Статья принята к публикации 09.10.2023 / The article accepted for publication 09.10.2023.

Информация об авторах:

Мария Сергеевна Ашихмина¹, инженер научно-образовательного центра инфохимии
Тигран Гарриевич Амбарцумов², инженер учебного центра студенческой науки, конференции и выставок
Анастасия Олеговна Иванова³, инженер факультета технологического менеджмента и инновации
Ольга Юрьевна Орлова⁴, доцент факультета технологического менеджмента и инновации, кандидат технических наук

Information about the authors:

Maria Sergeevna Ashikhmina¹, Engineer at the Scientific and Educational Center of Infochemistry
Tigran Garrievich Ambartsumov², Engineer at the Student Science Training Center, Conference and Exhibitions
Anastasia Olegovna Ivanova³, Engineer, Faculty of Technological Management and Innovation
Olga Yurievna Orlova⁴, Associate Professor, Faculty of Technological Management and Innovation, Candidate of Technical Sciences

