

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-598-604>



Поступила 12.10.2024

Поступила после рецензирования 23.12.2024

Принята в печать 25.12.2024

© Неверова О. П., Зинина О. В., Ли Ч., Лян Ч., Ребезов М. Б.,
Вишнякова Е. А., Барыкина Е. С., 2025

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНКАПСУЛЯЦИИ БИФИДОБАКТЕРИЙ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПРОБИОТИКАМИ СОКОСОДЕРЖАЩИХ НАПИТКОВ

Неверова О. П.¹, Зинина О. В.^{1*}, Ли Ч.², Лян Ч.², Ребезов М. Б.³, Вишнякова Е. А.⁴, Барыкина Е. С.¹

¹Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

²Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Китай

³Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

⁴Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

альгинат натрия,
микрокапсула,
яблочный сок,
стабильность,
сокосодержащий
напиток

Напитки — один из наиболее популярных видов продукции, привлекающий внимание исследователей для обогащения функциональными ингредиентами. Введение пробиотиков в пищевую матрицу может повысить полезность продуктов питания, в том числе напитков. Однако пробиотики чрезвычайно чувствительны к экстремальным условиям окружающей среды, что существенно ограничивает их жизнеспособность в пищевых продуктах. Целью исследований является установление влияния инкапсуляции на сохранность бифидобактерий в обогащенном сокосодержащем напитке. Для защиты пробиотических микроорганизмов, бифидобактерий шести штаммов, входящих в симбиотическую закваску, от воздействия неблагоприятных условий пищевой среды и желудочно-кишечного тракта были использованы капсулы из альгината натрия. Капсулы получали капельным методом. Стабильность капсул оценивали в различных условиях. Исследовали их растворимость в воде, а также при pH, характерных для желудка (1,1–1,6), тонкого (7,8–8,2) и толстого (8,0–8,5) отделов кишечника. Испытания проводили при выдержке в буферных растворах в течение 15 и 30 минут. Кроме того, оценивали стабильность капсул в яблочном соке с pH 3,82 в процессе хранения при температуре 4 ± 1 °C в течение 7, 14, 21 и 28 суток, а также анализировали потери капсул при тепловой обработке. Также в процессе хранения сока контролировали количество бифидобактерий, извлеченных из капсул после их механического разрушения с последующим посевом на среду ГМК-1. Результаты исследований показали, что наибольший разрушающий эффект наблюдается при кислой среде, характерной для желудка, где потери составили 47,4% через 30 мин. Потери капсул при pH, характерных для разных отделов кишечника, составили от 25,3 до 30,9%. Менее агрессивной средой для капсул оказалась выбранная пищевая система — яблочный сок, в которой разрушение капсул через 28 суток хранения составило 8,7%. Потери капсул при выбранных режимах пастеризации сока составили от 60,17% (10 минут при 85 °C) до 67,42% (30 минут при 98 °C). Различия статистически значимы (p < 0,05). Таким образом, используя полученные данные, можно спрогнозировать общие потери капсул и пробиотических микроорганизмов в процессе переваривания и хранения продукта и инокулировать необходимое количество для придания продукту пробиотических свойств. Исследования имеют перспективы развития с учетом возможности варьирования вкусоароматических свойств как пищевой системы, так и капсул.

Received 12.10.2024

Accepted in revised 23.12.2024

Accepted for publication 25.12.2024

© Neverova O. P., Zinina O. V., Li Ch., Liang Z., Rebezov M. B.,
Vishnyakova E. A., Barykina E. S., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF THE BIFIDOBACTERIA ENCAPSULATION WHEN ENRICHING JUICE-CONTAINING BEVERAGES WITH PROBIOTICS

Olga P. Neverova¹, Oksana V. Zinina^{1*}, Chun Li², Zhiqiang Liang², Maksim B. Rebezov^{1,3},
Elena A. Vishnyakova⁴, Ekaterina S. Barykina¹

¹Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

²Northeast Agricultural University, China

³V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

⁴South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

KEY WORDS:

sodium alginate,
microcapsule, apple
juice, stability, juice-
containing beverage

ABSTRACT

Beverages are among the most popular types of products that attract attention of researchers for enrichment with functional ingredients. The introduction of probiotics into the food matrix can increase the usefulness of food products, including beverages. However, probiotics are extremely sensitive to extreme environmental conditions, which significantly limits their ability to survive in food. The aim of the research is to establish an effect of encapsulation on the preservation of bifidobacteria in an enriched juice-containing beverage. Capsules from sodium alginate were used to protect probiotic microorganisms (bifidobacteria of six strains in the symbiotic starter) from unfavorable conditions of the environment of the food system and the gastrointestinal tract. The capsules were obtained by the drip method. The stability of the capsules was determined under different conditions. Their solubility in water and at pH values typical for the stomach (1.1–1.6), small intestine (7.8–8.2), and large intestine (8.0–8.5) were studied. The tests were carried out upon keeping in buffer solutions for 15 and 30 min. In addition, the stability of the capsules in apple juice with a pH of 3.82 when stored at 4 ± 1 °C for 7, 14, 21, and 28 days was assessed. Capsule losses during heat treatment were analyzed. The amount of bifidobacteria extracted from the capsules after mechanical

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Неверова, О. П., Зинина, О. В., Ли, Ч., Лян, Ч., Ребезов, М. Б., Вишнякова, Е. А., Барыкина, Е. С. (2024). Оценка эффективности инкапсуляции бифидобактерий при обогащении пробиотиками сокосодержащих напитков. *Пищевые системы*, 7(4), 598–604. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-598-604>

FOR CITATION: Neverova, O. P., Zinina, O. V., Li, Ch., Liang, Z., Rebezov, M. B., Vishnyakova, E. A., Barykina, E. S. (2024). Effectiveness assessment of the bifidobacteria encapsulation when enriching juice-containing beverages with probiotics. *Food Systems*, 7(4), 598–604. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-598-604>

destruction with their subsequent inoculation on the GMK-1 medium was also monitored during juice storage. The results of the studies showed that the greatest destructive effect was observed in an acidic environment typical for the stomach, where losses amounted to 47.4% after 30 min. Capsule losses at pH values typical for different parts of the intestine ranged from 25.3 to 30.9%. The selected food system, apple juice, turned out to be a less aggressive environment for the capsules, in which the destruction of capsules was 8.7% after 28 days of storage. Capsule losses under the selected juice pasteurization modes ranged from 60.17% during processing for 10 minutes at 85 °C to 67.42% during juice processing for 30 minutes at 98 °C. The differences were statistically significant ($p < 0.05$). Thus, using the obtained data, it is possible to predict the total loss of capsules and probiotic microorganisms during the digestion and storage of the product and inoculate the required amount to impart probiotic properties to the product. The research has development prospects taking into account the possibility of varying the taste and aroma properties of both the food system and the capsules.

1. Введение

С улучшением качества жизни люди уделяют все больше внимания ведению здорового образа жизни и сохранению здоровья, что привело к расширению ассортимента функциональных и специализированных продуктов питания. Так, появляются в более широком ассортименте специализированные продукты для спортивного питания [1,2], безглютеновые продукты [3], обогащенные функциональными ингредиентами, например, пищевыми волокнами [4].

Одним из важных функциональных ингредиентов, добавляемых в различные продукты питания, являются пробиотики [5].

В 2001 году Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определили пробиотики как живые микроорганизмы (бактерии или дрожжи), которые положительно влияют на здоровье человека при попадании в организм в достаточных количествах [6]. После многолетних исследований пробиотики можно определить как тип активных микроорганизмов, которые приносят пользу организму, поддерживая баланс кишечной микрофлоры после колонизации желудочно-кишечного тракта [7]. Исследования показывают, что для адсорбции пробиотиков клетками кишечника их количество в организме человека должно достигать не менее 10^6 – 10^7 КОЕ/г (КОЕ/мл). При таких концентрациях полезные микроорганизмы оказывают пробиотическое действие, модулируя активность микробиоты кишечника, ингибируя патогены, облегчая желудочно-кишечные расстройства и способствуя повышению иммунитета [8,9].

На сегодняшний день пробиотики можно условно разделить на несколько категорий: лактобактерии, бифидобактерии, стрептококки, энтерококки и сахаромшеты [10,11].

Пробиотики обладают множеством полезных для организма свойств и все чаще исследуются учеными в различных прикладных направлениях [12,13]. Они обладают огромным исследовательским потенциалом и рыночной ценностью. В пищевой индустрии пробиотики в основном используют в производстве кисломолочных продуктов, сыра, вина, уксуса и солений [14]. Однако в качестве функционального ингредиента их добавляют в продукты более широкого ассортимента [15].

Напитки являются одним из наиболее популярных среди населения сегментов продукции, вызывая все больший интерес исследователей как основа для обогащения функциональными ингредиентами. Известны многочисленные разработки напитков с добавлением микро- и макронутриентов, биологически активных веществ, пищевых волокон, экстрактов лекарственных растений [18–20]. При этом ограничен ассортимент сокодержательных фруктовых напитков, обогащенных пробиотиками.

Введение пробиотиков в пищевую матрицу может повысить полезность продуктов питания [21,22]. Однако пробиотики чрезвычайно чувствительны к экстремальным условиям окружающей среды, что существенно ограничивает их жизнеспособность в пищевых продуктах. В процессе выращивания, обработки, консервации и вплоть до конечного использования на активность полезных бактерий влияют многие факторы, такие как значение pH, желудочный сок, соли желчных кислот, температура и др.

Следовательно, для ученых многие годы остается актуальной проблема сохранения активности пробиотиков во время обработки, хранения и потребления обогащенных продуктов питания [23,24].

Для проявления пробиотического эффекта важно, чтобы полезные микроорганизмы достигли кишечника и колонизировали его в достаточном количестве [23]. В последние годы для обеспечения выживаемости пробиотиков после попадания в организм хозяина используют различные технологии инкапсулирования, такие как эмульгирование, экструзия, распылительная и сублимационная сушка, межфазная полимеризация и полимеризация *in-situ* [25,26].

Процесс инкапсулирования пробиотиков основан на создании полимерных систем в форме гидрогелевых матриц и микрокапсул с иммобилизованными микробными клетками [27].

Внутреннее содержимое с активными формами микроорганизмов заключено в капсулы с плотной оболочкой, представляющей собой полупроницаемую мембрану [28].

Микрокапсулы могут решить проблемы слабой жизнеспособности пробиотиков и трудностей с целевым высвобождением, тем самым реализуя пользу пробиотиков для здоровья человеческого организма.

Существует несколько технологий инкапсуляции пробиотиков, рассмотрим подробнее наиболее простые и распространенные.

Метод эмульгирования

Эмульсия — это дисперсная система, обычно включающая две несмешивающиеся фазы (масляную фазу и водную фазу) или многофазную композицию. Метод эмульгирования основан на добавлении дисперсной фазы к большому количеству непрерывных фаз и на гомогенизации смеси до образования однородной системы [29]. Преимущество метода эмульгирования заключается в получении частиц с меньшим размером, однако его недостатком является относительно слабое защитное действие на пробиотики. Объясняется это большим содержанием воды в системе, что крайне неблагоприятно для длительного сохранения пробиотической активности. Кроме того, проблемой является обеспечение стабильности эмульсии при хранении. Флокуляция, коалесценция, слияние, созревание по Оствальду, инверсия фаз и т. д. влияют на стабильность эмульсии и одновременно на свойства продукта [30].

Однако по сравнению с традиционными методами приготовления эмульсий и с используемыми капсульными материалами природные биологические макромолекулы с природными амфипатическими свойствами могут заменить синтетические низкомолекулярные эмульгаторы, тем самым лучше стабилизируя эмульсии «вода/масло». Например, при получении эмульсий «масло/вода» и эмульсий «вода/масло/вода» Qin и др. использовали изолят сывороточного белка (WPI) и (–)-эпигаллокатехин-3-галлат (EGCG). Ковалентный комплекс WPI-EGCG вводили в качестве эмульгатора при приготовлении эмульсии Пикеринга O/W для капсулирования порошка бактерий *Lactobacillus plantarum*, что значительно повысило сохранность микроорганизмов при хранении [31].

В другом исследовании концентрат сывороточного белка или казеинат натрия использовался в качестве гидрофильного эмульгатора для создания эмульсии Пикеринга S/O/W для улавливания *Lactobacillus salivarius* NRRL B-30514 в пектиновую основу. Инкапсулированные *Lactobacillus salivarius* обладали более высокой жизнеспособностью во время обработки, хранения и желудочно-кишечного переваривания [32].

Некоторые ученые использовали эмульсию «вода/масло/вода» в качестве стабильного носителя для доставки пробиотиков при производстве йогурта. В частности, бактерии *Lactobacillus paracasei* DC412 суспендировали в молоке для приготовления эмульсии В/М, содержащей пробиотики во внутренней водной фазе, а затем использовали молоко в качестве внешней водной фазы для приготовления эмульсии «вода/масло/вода» при получении йогурта.

Исследования показали, что *Lactobacillus paracasei*, внедренная в эмульсию «вода/масло/вода», не вызывает значимых изменений основных характеристик йогурта и не влияет на процесс ферментации йогурта, а также значительно повышает эффективность при хранении и воздействует на активность желудочно-кишечного пищеварения *in vitro*.

Также показано, что присутствие полисахаридов во внутренней водной фазе повышает стабильность эмульсий «вода/масло», что в основном связано с гелеобразующими и загущающими свойствами полисахаридов, в определенной степени снижающими агрегацию капель [33].

Капельная технология

Данную технологию также называют методом экструзии. Ученые смешивают пробиотики с подходящим материалом оболочки (обычно с гидрофильным коллоидом) и с помощью шприца или насадки

вводят смесь в сшивающий агент (обычно раствор хлорида кальция). В результате происходят реакции поперечной сшивки с получением микрокапсул. Капельная технология проста в эксплуатации и недорога при приготовлении пробиотических микрокапсул, а процесс обработки является щадящим и исключает использование вредных реагентов, что делает ее широко используемой для инкапсулирования пробиотиков [34].

Наиболее изученным в качестве материала капсульной оболочки является альгинат натрия. Помимо альгината натрия часто используют желатин, каррагинан, пектин или их композиции. На размер, форму, структуру и стабильность сформированных микрокапсул влияет множество факторов, таких как диаметр иглы, расстояние между раствором внедренного материала и раствором хлорида кальция, концентрация и вязкость раствора внедренного материала, а также концентрация раствора хлорида кальция [35]. Авторы Liu и др. использовали рыбий желатин, альгинат натрия в сочетании с ионами кальция и термическую обработку для получения гидрогеля с двойной сеткой. По сравнению со свободными бактериями группы *Bifidobacterium longum*, инкапсулированные бактерии показали лучшую устойчивость в желудочном соке и термостойкость. Авторы связывают этот эффект со свойствами желатина и его концентрацией [36].

В другой серии исследований альгинат натрия и пектин использовались для приготовления гидрогелевых микросфер для инкапсулирования бактерий *Lactobacillus bulgaricus*, которые показали хорошую пищеварительную стабильность. Инкапсулированный пробиотик вводили в йогурты. Исследования продукта, обогащенного пробиотиком, показали улучшение качества, хорошие сенсорные и текстурные свойства йогурта [37].

Silva и др. оценили влияние подсолнечного масла и шеллака в составе микрокапсул из альгината на сохранность бактерий *Lactobacillus acidophilus* LA3. Результаты показали, что присутствие подсолнечного масла может обеспечить дополнительный защитный барьер для *Lactobacillus acidophilus*, а добавление шеллака может уменьшить пористость микрокапсул и улучшить видимую структуру микрокапсул.

Микрокапсулы, полученные путем инкапсулирования *Lactobacillus acidophilus* LA3 в подсолнечном масле и смеси альгината и шеллака, показали хорошую стабильность при хранении и переваривании. После 2 месяцев хранения при температуре 25 °C количество жизнеспособных бактерий уменьшилось всего на 10% от инокулированного количества и составило 7 log КОЕ/г [38].

Описанные исследования показали, что микрокапсулы на основе альгината являются потенциальным способом защиты пробиотиков.

Целью исследований является установление влияния физических и химических факторов на микрокапсулы с пробиотической закваской бифидобактерий в обогащенном сокодержателем напитке.

2. Объекты и методы

Исследования проводили в лаборатории кафедры биотехнологии и пищевых продуктов.

Объектом исследования являлись инкапсулированные пробиотические микроорганизмы, включенные в состав яблочного сока. В качестве источника бифидобактерий использовали пробиотическую закваску «Бифидо Плюс» («БакЗдрав», Москва, Россия), содержащую 6 штаммов бифидобактерий: *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium longum* ssp. *longum*, *Bifidobacterium longum* ssp. *infantis*, *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*.

Капсулы получали следующим образом: в подогретой до температуры 39±1 °C дистиллированной воде растворяли закваску бифидобактерий. Параллельно растворяли альгинат натрия в воде (3 г на 100 мл) при постоянном перемешивании на магнитной мешалке Stegler HS (Shanghai Jingke Scientific Instrument Co, Ltd, Китай) при той же температуре воды в течение 30 мин. После получения вязкого раствора альгината натрия в него вводили активизированную в воде закваску (3 г на 100 мл дистиллированной подогретой до 38±1 °C воды) в количестве 10% от массы раствора альгината натрия, при этом начальное количество микроорганизмов составило 1·10⁹ КОЕ/мл. Смесь тщательно перемешивали, затем жидкую диспергированную матрицу стабилизировали в 0,15M растворе хлорида кальция с использованием шприца и иглы диаметром 0,7 мм. Расстояние между поверхностью раствора и иглой — 10 см. Образующиеся капсулы оставляли для отвердевания в растворе хлорида кальция в течение 30 мин, затем извлекали из раствора фильтрацией.

Поставщик реактивов и расходных материалов для лабораторных исследований — ООО «ГРАНАДА» (Москва, Россия) при поставке продукции представил удостоверения (паспорта и или сертификаты) качества.

После получения капсул определяли эффективность инкапсуляции по формуле (1):

$$ЭИ(\%) = \frac{N \cdot M}{N_0} \cdot 100, \quad (1)$$

где N — количество жизнеспособных клеток, высвобожденных из 1,0 г капсул; M — общая масса собранных капсул; N_0 — количество свободных клеток перед капсулированием.

Морфологию полученных капсул определяли под микроскопом «Микмед-5» (АО «Ломо», Россия) при увеличении ×40. Изображение получали через видеоокуляр «Микромед Эврика 1.3 МР» (ООО «Наблюдательные приборы», Россия) с помощью программного обеспечения «Микромед View (ИП Трубников М. В., торговое наименование «Микромед», Россия). Средний диаметр капсул измеряли с помощью программы ImageJ (разработчик Wayne Rasband (NIH), репозиторий: github.com/imagej/ImageJ).

Полученные капсулы вносили в яблочный сок торговой марки «Сады Придонья» (ОАО «Сады Придонья», Россия) с pH 3,82, измеренной с помощью цифрового pH-метра PH-98108 (RCYAGO, Китай), в количестве 10% от массы сока.

Стабильность капсул определяли в разных условиях:

- растворимость в воде: 10 г капсул помещали в 50 мл воды комнатной температуры и выдерживали в течение 1 ч при периодическом перемешивании, затем отфильтровывали не растворившиеся капсулы, обсушивали фильтровальной бумагой и взвешивали. По соотношению масс капсул до и после растворения определяли процент растворимых капсул;
- растворимость при pH, характерных для желудка (1,1–1,6), тонкого (7,8–8,2) и толстого (8,0–8,5) отделов кишечника при выдержке в буферных растворах в течение 15 и 30 мин;
- стабильность капсул в соке при хранении его при температуре 4±1 °C в течение 7, 14, 21 и 28 суток;
- стабильность капсул при тепловой обработке в течение 10, 20 и 30 мин при температурах 75 °C, 85 °C и 98 °C (выбраны с учетом используемых режимов тепловой обработки соков).

Также в процессе хранения сока контролировали количество бифидобактерий, извлеченных из капсул после их механического разрушения с последующим посевом на среду ГМК-1 «Кукурузно-лактозная среда для учета бифидобактерий» (НПЦ «Биокомпас-С», Россия). Подготовленную кукурузно-лактозную среду разливали в пробирку высоким столбиком по 10 см³ («МиниМед», Россия) и стерилизовали в стерилизаторе ПП-10 СПУ («Смоленское СКТБ СПУ», Россия) при 112±1 °C в течение 30 мин. Для посева в среду вносили по 1 см³ подготовленных разведений содержимого капсул в физрастворе («Обновление ПФК», Россия) при интенсивном перемешивании. Пробирки с посевами выдерживали в термостате суховоздушном ТВ-20-ПЗ-К (Рязанский приборный завод, Россия) при температуре 37±1 °C в течение 72±1 ч. Для подтверждения наличия бифидобактерий готовили мазки из типичных колоний последнего разведения, окрашенные метиленовым голубым (Россия), и микроскопировали на биологическом микроскопе «Микмед-5» (АО «Ломо», Россия) при увеличении ×100.

Каждое измерение проводили трехкратно. Значения вероятности $p \leq 0,05$ приняты для указания статистической значимости. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали однофакторный дисперсионный анализ и тест Тьюки.

3. Результаты и обсуждение

Физико-химические свойства капсул влияют на жизнеспособность инкапсулированных пробиотических микроорганизмов, поэтому важными параметрами инкапсуляции являются тип и концентрация материала капсулы, размер частиц, инокулированное количество микробных клеток и штаммов бактерий [39,40].

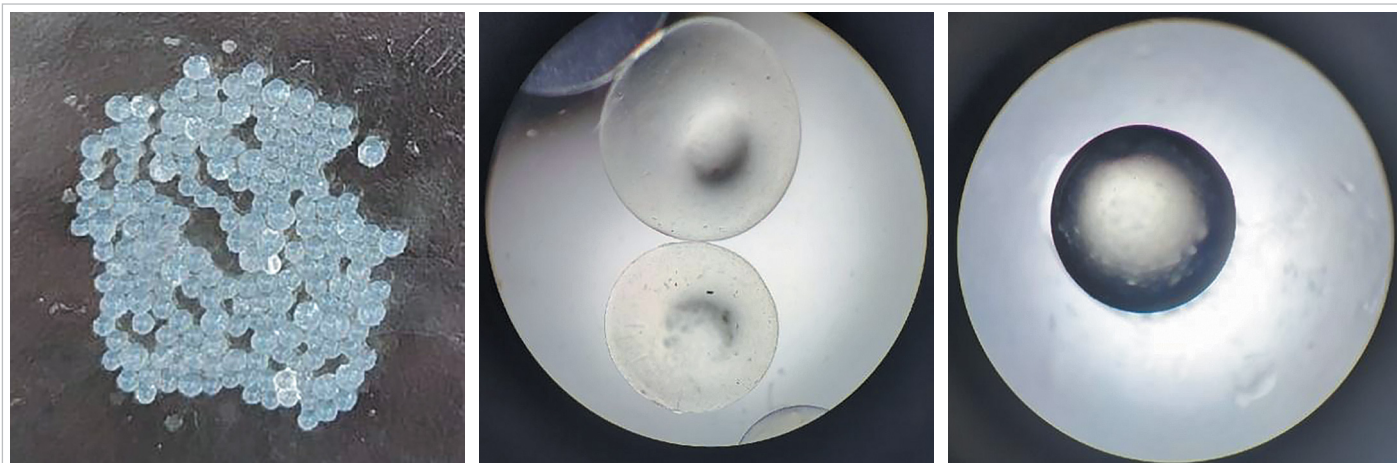
Капсулы должны обеспечить не только защиту клеток от неблагоприятных условий, но и сохранить их жизнеспособность в условиях желудочно-кишечного тракта; быть нерастворимыми в воде и стабильными в пищевой системе [39,41].

Внешний вид капсул представлен на Рисунке 1, а результаты определения их сохранности при разных значениях pH — на Рисунке 2.

Полученные капсулы плотные, мягкие на ощупь, с гладкой поверхностью, сферической формы, со средним диаметром (2,535±0,435)×10⁻³ м.

Эффективность инкапсуляции составила 87,2%, а количество микроорганизмов в капсулах — 0,9·10⁸ КОЕ/мл.

Как показывают результаты на Рисунке 2, альгинатные капсулы обладают высокой устойчивостью при pH, характерных для разных отделов желудочно-кишечного тракта, в отличие, например, от пектиновых, которые при pH 7,2 полностью растворялись через 30 мин [28].



Вид капсул на темном фоне

Вид капсул под микроскопом при увеличении ×40

Рисунок 1. Внешний вид альгинатных капсул

Figure 1. Appearance of the alginate capsules

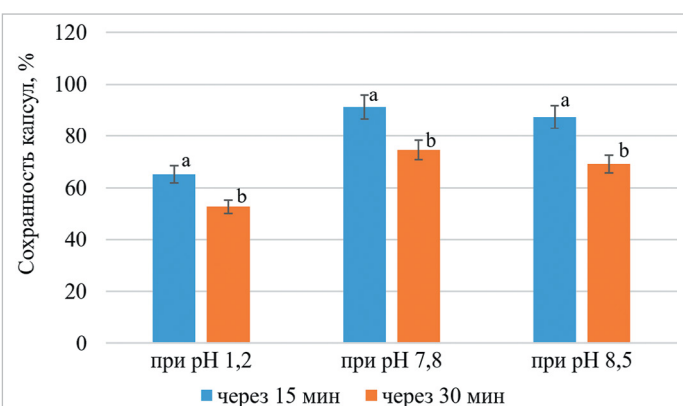


Рисунок 2. Сохранность капсул при выдержке в буферных растворах при разных значениях pH (по отношению к начальному количеству введенных капсул). Данные представляют собой усредненные значения трехкратного повторения (\pm стандартное отклонение); a, b — значения с разными буквами в одном и том же исходном материале различаются при $p \leq 0,05$

Figure 2. Preservation of capsules upon keeping in buffer solutions at different pH values (relative to the initial quantity of the introduced capsules). Data are the average values of triplicate repetition (\pm standard deviation); a, b — values with different letters in the same initial material are different at $p \leq 0,05$

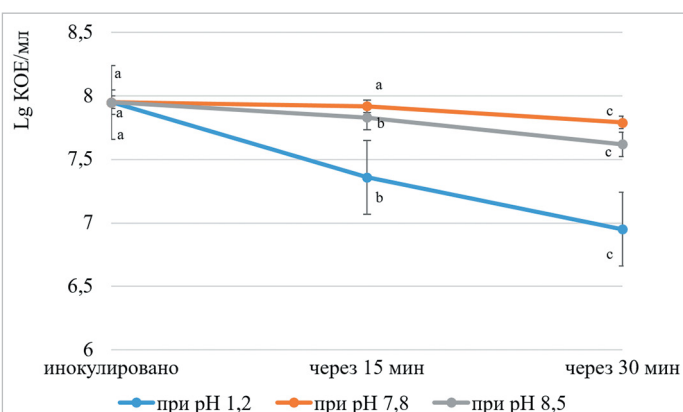


Рисунок 3. Изменение количества бифидобактерий при выдержке капсул в буферных растворах. Данные представляют собой усредненные значения трехкратного повторения (\pm стандартное отклонение); a, b, c — значения с разными буквами в одном и том же исходном материале различаются при $p \leq 0,05$

Figure 3. Changes in the numbers of bifidobacteria upon keeping capsules in buffer solutions. Data are the average values of triplicate repetition (\pm standard deviation); a, b, c — values with different letters in the same initial material are different at $p \leq 0,05$

Пробиотические микроорганизмы наиболее чувствительны к кислой среде желудка [42], поэтому важным является определение не только стойкости капсул в кислой среде, но и выживаемости бактерий.

Результаты количественного определения бифидобактерий в капсулах после выдержки в буферных растворах с разным значением pH приведены на Рисунке 3.

Представленные данные показывают, что после 30 мин в кислой среде количество бактерий снижается на 1,05 Lg КОЕ/мл, что существенно отличается от потерь при выдержке в щелочной среде независимо от уровня pH. Через 30 минут при pH 7,8 и 8,5 снижение количества бактерий было схожим и составило 0,21–0,38 Lg КОЕ/мл.

Потери капсул в кислой среде установлены и зарубежными учеными при исследовании сохранности бактерий *L. Paracasei*, в микрокапсулах количество бактерий снизилось на 1,00 log КОЕ/г при выдержке в растворе с pH 2,0 в течение 3 ч и не изменилось после 3 ч воздействия при pH 3,0 [43].

Многие ученые отмечают лучшую выживаемость пробиотических микроорганизмов в капсулированной форме по сравнению со свободными клетками после прохождения желудочно-кишечного тракта.

Например, группа ученых отметила выживаемость более 80% инкапсулированных хитозаном и альгинатом клеток *L. acidophilus* KVL409 после переваривания [44].

Как упоминалось выше, капсулы должны обеспечить не только выживаемость пробиотических микроорганизмов при прохождении через разные отделы желудочно-кишечного тракта, но и стабильность в выбранной пищевой системе, в том числе при тепловой обработке.

Результаты исследований сохранности/потери капсул в яблочном соке, представленные на Рисунке 4, показывают, что с повышением

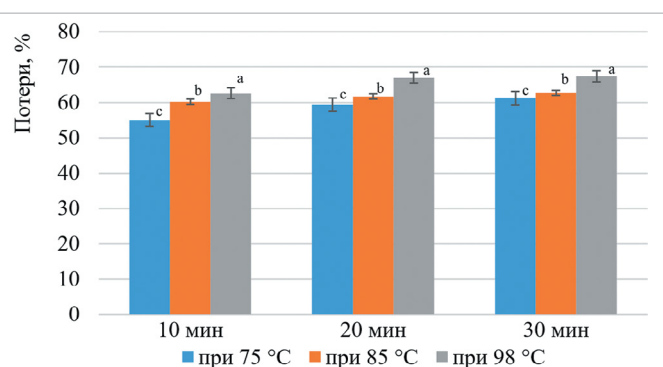


Рисунок 4. Потери капсул в яблочном соке при тепловой обработке (по отношению к начальному количеству введенных капсул). Данные представляют собой усредненные значения трехкратного повторения (\pm стандартное отклонение); a, b, c — значения с разными буквами в образцах при одинаковом времени обработки различаются при $p \leq 0,05$

Figure 4. Losses of capsules in apple juice during heat treatment (relative to the initial quantity of the introduced capsules). Data are the average values of triplicate repetition (\pm standard deviation); a, b, c — values with different letters in the samples upon the same time of treatment are different at $p \leq 0,05$

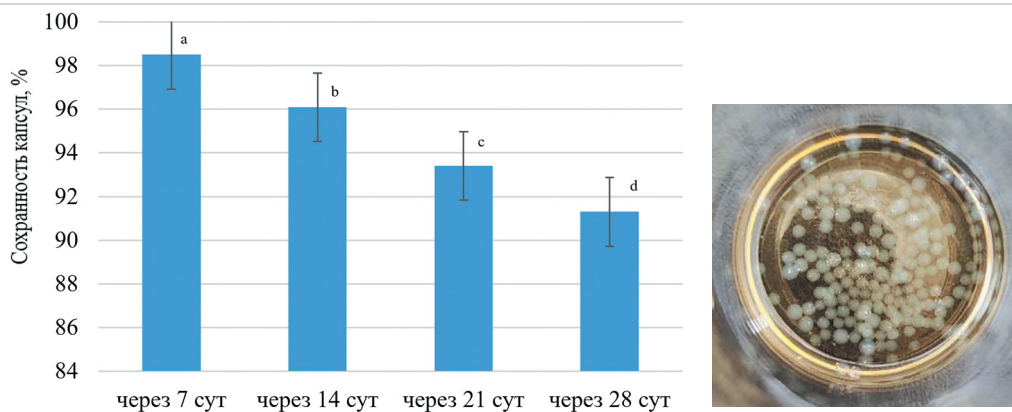


Рисунок 5. Сохранность капсул в яблочном соке при хранении (по отношению к начальному количеству введенных капсул). Данные представляют собой усредненные значения трехкратного повторения (\pm стандартное отклонение); a, b, c — значения с разными буквами в одном и том же исходном материале различаются при $p \leq 0,05$

Figure 5. Preservation of capsules in apple juice during storage (relative to the initial quantity of introduced capsules). Data are the average values of triplicate repetition (\pm standard deviation); a, b, c — values with different letters in the same initial material are different at $p \leq 0.05$

температуры и времени выдержки потери капсул возрастают от 55,01 до 67,42% ($p \leq 0,05$). Данные на Рисунке 5 демонстрируют, что спустя 28 суток потери капсул составили 8,7% от начального количества.

Используя полученные данные, можно спрогнозировать общие потери капсул и пробиотических микроорганизмов в процессе переваривания и хранения продукта и инокулировать необходимое количество для придания продукту пробиотических свойств ($> 6 \log$ КОЕ/мл). В целом можно сказать, что яблочный сок является хорошей пищевой системой для обогащения пробиотическими микроорганизмами, к тому же именно данный вид сока наиболее популярен среди населения [45].

Таким образом, результаты исследований подтвердили эффективность капсул на основе альгината натрия, полученных по описанной технологии, и показали перспективы обогащения напитков на основе сока пробиотическими микроорганизмами.

4. Выводы

Для защиты пробиотических микроорганизмов (бифидобактерий шести штаммов, входящих в состав симбиотической закваски) от неблагоприятных условий при прохождении через желудочно-кишечный тракт и от воздействия среды пищевой системы использовались капсулы на основе альгината натрия.

Исследования стабильности капсул при разных значениях pH, характерных для разных отделов желудочно-кишечного тракта, по-

казали, что наибольший разрушающий эффект наблюдается в желудке при кислой среде, где потери составили 47,4% через 30 мин. Потери капсул при pH, характерных для разных отделов кишечника, составили от 25,3 до 30,9%. Менее агрессивной средой для капсул оказалась выбранная пищевая система — яблочный сок, в которой разрушение капсул через 28 суток хранения составило 8,7%. Однако следует учитывать потери капсул при выбранных режимах пастеризации сока, которые составили от 55,01% (при обработке в течение 10 мин при 75 °C) до 67,42% (при обработке сока в течение 30 мин при 98 °C) ($p \leq 0,05$).

Используя данные проведенных исследований, можно спрогнозировать общие потери капсул и заключенных в них пробиотических микроорганизмов в процессе переваривания и хранения продукта. Это позволит инокулировать необходимое количество микроорганизмов для проведения комплексного исследования, учитывающего последовательное переваривание, термообработку и хранение в составе продукта. Такой подход обеспечит гарантию сохранности пробиотических свойств в готовом продукте.

В будущем возможно проведение более глубоких исследований относительно отдельных штаммов пробиотических микроорганизмов. Также возможно разнообразить органолептические свойства соковой продукции, сочетая разные вкусоароматические основы как самих капсул, так и обогащаемой пищевой системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК \ REFERENCES

1. Кобелькова, И. В., Коростелева, М. М., Кобелькова, М. С. (2021). Роль высокобелковых специализированных пищевых продуктов в повышении адаптационного потенциала спортсменов. *Клиническое питание и метаболизм*, 2(2), 92–99. [Kobelkova, I. V., Korosteleva, M. M., Kobelkova, M. S. (2021). The role of high-protein specialized food in increasing the adaptive athletes' potential. *Clinical Nutrition and Metabolism*, 2(2), 92–99. (In Russian)] <https://doi.org/10.17816/clinutr81572>
2. Chernopolskaya, N., Gavrilova, N., Rebezov, M., Dolmatova, I., Zaitseva, T., Somova, Y. et al. (2019). Biotechnology of specialized product for sports nutrition. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(4), 40–45.
3. Kulushtayeva, B., Rebezov, M., Igenbayev, A., Kichko, Y., Burakovskaya, N., Kulakov, V. et al. (2019). Gluten-free diet: Positive and negative effect on human health. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 10(7), 889–892. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.01690.5>
4. Zinina, O., Merenkova, S., Tazeddinova, D., Rebezov, M., Stuart, M., Okuskhanova, E. et al. (2019). Enrichment of meat products with dietary fibers: A review. *Agronomy Research*, 17(4), 1808–1822. <https://doi.org/10.15159/ar.19.163>
5. Gavrilova, N., Chernopolskaya, N., Molyboga, E., Shipkova, K., Dolmatova, I., Demidova, V. et al. (2019). Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8(6), 642–648. <https://elibrary.ru/PYDNOH>
6. FAO/WHO (2001). Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Report of a Joint FAO/WHO expert consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Retrieved from <https://www.iqb.es/digestivo/pdfs/probioticos.pdf> Accessed 24.07.2024
7. Galdeano, C. M., Cazorla, S. I., Dumit, J. M. L., Vélez, E., Perdígón, G. (2019). Beneficial effects of probiotic consumption on the immune system. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 74(2), 115–124. <https://doi.org/10.1159/000496426>
8. Vasiljevic, T., Shah, N. P. (2008). Probiotics — from Metchnikoff to bioactives. *International Dairy Journal*, 18(7), 714–728. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.004>
9. Jayamanne, V. S., Adams, M. R. (2006). Determination of survival, identity and stress resistance of probiotic bifidobacteria in bio-yoghurts. *Letters in Applied Microbiology*, 42(3), 189–194.
10. Khalighi, A., Behdani, R., Kouhestani, S. (2016). Probiotics: A comprehensive review of their classification, mode of action and role in human nutrition. *InTech*, 2016. <https://doi.org/10.5772/63646>
11. Lahiri, D., Nag, M., Sarkar, T., Ray, R.R., Shariati, M.A., Rebezov, M. et al. (2022). Lactic Acid Bacteria (LAB): Autochthonous and probiotic microbes for meat preservation and fortification. *Foods*, 11(18), 2792. <https://doi.org/10.3390/foods11182792>
12. Ahsan, S., Khalig, A., Chughtai, M. F. J., Nadeem, M., Tahir, A. B., Din, A. A. et al. (2022). Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69, 172–182. <https://doi.org/10.1002/bab.2094>
13. Lantushenko, E., Filipkina, N., Dolgolyuk, I., Starovoitova, K., Tereshchuk, L., Kozlova, O. (April 18-20, 2022). *Study of properties of bacterial concentrates of lactic acid microorganisms*. AIP Conference Proceedings: International Conference “Sustainable Development: Veterinary Medicine, Agriculture, Engineering and Ecology” (VMAEE2022), Moscow, Russia, 020068. <https://doi.org/10.1063/5.0148295>. <https://elibrary.ru/VEJWPZ>
14. Богданова, Ю. И., Насонова, В. В. (2021). Применение пробиотиков при производстве пищевой продукции. *Все о мясе*, 4, 26–29. [Bogdanova, Yu. I., Nasonova, V. V. (2021). Use of probiotics in food production. *Vsyo o Myase*, 4, 26–29. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-4-26-29>
15. Зарубин, Н. Ю., Лаврухина, Е. В., Бредихина, О. В., Гриневиц, А. И., Архипов, Л. О. (2023). Пробиотические пищевые рыбные продукты: роль в рационе питания и способ получения методом биотехнологии. *Пищевая промышленность*, (11), 67–71. [Zarubin, N. Yu., Lavrukhina, E. V., Bredikhina, O. V., Grinevich, A. I., Arkhipov, L. O. (2023). Probiotic fish food products: The role in the diet and the method of obtaining by biotechnology. *Food Industry*, 11, 67–71. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.11.11.014>
16. Popova, N. V., Kameneva, K. S., Vasiliev, A. K. (2024). *Intensification of the production of a plant-based probiotic drink*. International scientific and practical confer-

- ence “From modernization to rapid development: Ensuring competitiveness and scientific leadership of the agro-industrial complex” (IDSISA 2024). Ekaterinburg, Russian Federation, 2024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410802013>
17. Ферзаули, А. И., Мугу, И. Г., Лунина, Л. В., Тазова, З. Т. (2019). Анализ зарубежного опыта производства функциональных напитков. *Новые технологии*, 1, 198–207. [Ferzauli, A. I., Mughu, I. G., Lunina, L. V., Tazova, Z. T. (2019). Analysis of foreign experience in functional drinks production. *New Technologies*, 1(47), 198–207. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10120>
 18. Aliyev, Sh., Khalilov, M., Saidov, R. (2022). Study of the pectin-based beverage preparation technology from fruits and vegetables grown in Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*, 8(4), 242–250. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/77/30>
 19. Nguyen, Q. V., Le, D. Ph., Nguyen, M. T., Tran, T. Ye. N., Le, D. T. (2022). Developing a herbal drink from green asparagus (*Asparagus Officinalis* L.): Effect of process parameters on the quality of the product. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), 640–648. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2393>
 20. Arruda, H. S., Silva, E. K., Pastore, G. M., Marostica Junior, M. R. (2023). Non-thermal supercritical carbon dioxide processing retains the quality parameters and improves the kinetic stability of an araticum beverage enriched with inulin-type dietary fibers. *Foods*, 12(15), Article 2595. <https://doi.org/10.3390/foods12132595>
 21. Zinov'eva, M. E., Shnaider, K. L., Zaripova, S. K. (June 17–18, 2021). *Technology of probiotic beverage production based on juice*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021). Volgograd, Russian Federation, 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012011>
 22. Smotraeva, I. V., Gargalyk, A. S., Balanov, P. E., Ivanchenko, O. B., Kuznetsova, T. A. (November 18–20, 2020). *Development of probiotic drink production technology with the addition of citrus juice*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032044>
 23. Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., Kopsaheilis, N. (2019). Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value. *Nutrients*, 11(7), Article 1591. <https://doi.org/10.3390/nu11071591>
 24. Сомов, А. Н., Похиленко, В. Д., Дунайцев, И. А., Клыкова, М. В., Чукина, И. А. (2022). Капсулированные в альгинат пробиотики: получение и некоторые свойства. *Биотехнология*, 5(38), 44–52. [Somov, A. N., Pokhilenko, V. D., Dunaitsev, I. A., Klykova, M. V., Chukina, I. A. (2022). Alginate-encapsulated probiotics: Preparation and some properties. *Biotechnology*, 5(38), 44–52. (In Russian)] <https://doi.org/10.56304/S0254275822050131>
 25. Choudhury, N., Meghwal, M., Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, 2(4), 426–442. <https://doi.org/10.1002/fft.2.94>
 26. Попов, В. Г., Аксентьева, В. В. (2023). Проектирование комплексных пищевых добавок в виде микрокапсулированных синбиотиков. *Ползуновский вестник*, 4, 54–61. [Popov, V. G., Aksentyeva, V. V. (2023). Design of complex food supplements in the form of microcapsulated synbiotics. *Polzunovskiy Vestnik*, 4, 54–61. (In Russian)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.007>
 27. Voblikova, T., Laricheva, K. (2023). Bifidobacteria encapsulation and viability of probiotic culture during oral delivery in a milk drink matrix. *International Journal of Food Science*, 2023, Article 8484835. <https://doi.org/10.1155/2023/8484835>
 28. Какимов, А. К., Какимова, Ж. Х., Белеева, А. Е. (8–9 декабря 2016). *Получение инкапсулированных пробиотиков*. 19-я международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. Москва: ВНИИМП, 2016. [Kakimov, A. K., Kakimova, Zh. Kh., Beveeva, A. E. (December 8–9, 2016). *Production of encapsulated probiotics*. 19th International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveyevich Gorbatov Moscow: VNIIMP, 2016. (In Russian)]
 29. Kumar, A., Kaur, R., Kumar, R., Kumar, S., Gehlot, R., Aggarwal, P. (2022). New insights into water-in-oil-in-water (W/O/W) double emulsions: Properties, fabrication, instability mechanism, and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 128, 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.016>
 30. Angardi, V., Etehad, A., Yücel, Ö. (2022). Critical review of emulsion stability and characterization techniques in oil processing. *Journal of Energy Resources Technology*, 144(4), Article 040801. <https://doi.org/10.1115/1.4051571>
 31. Qin, X. S., Gao, Q. Y., Luo, Z. G. (2021). Enhancing the storage and gastrointestinal passage viability of probiotic powder (*Lactobacillus Plantarum*) through encapsulation with pickering high internal phase emulsions stabilized with WPI-EGCG covalent conjugate nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 116, Article 106658. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106658>
 32. Zhang, Y., Lin, J., Zhong, Q. (2015). The increased viability of probiotic *Lactobacillus salivarius* NRRL B-30514 encapsulated in emulsions with multiple lipid-protein-pectin layers. *Food Research International*, 71, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.017>
 33. Wang, M., Yan, W., Zhou, Y., Fan, L., Liu, Y., Li, J. (2021). Progress in the application of lecithins in water-in-oil emulsions. *Trends in Food Science and Technology*, 118, 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.019>
 34. Martín, M. J., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M. A., Morales, M. E. (2015). Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>
 35. Sultana, K., Godward, G., Reynolds, N., Arumugaswamy, R., Peiris, P., Kailasapathy, K. (2000). Encapsulation of probiotic bacteria with alginate-starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Journal of Food Microbiology*, 62(1–2), 47–55. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00380-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00380-9)
 36. Liu, J., Liu, F., Ren, T., Wang, J., Yang, M., Yao, Y., Chen, H. (2021). Fabrication of fish gelatin/sodium alginate double network gels for encapsulation of probiotics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(10), 4398–4408. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11081>
 37. Hu, X., Liu, C., Zhang, H., Hossen, M. A., Sameen, D. E., Dai, J. et al. (2021). *In vitro* digestion of sodium alginate/pectin co-encapsulated *Lactobacillus bulgaricus* and its application in yogurt bilayer beads. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 1050–1058. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.076>
 38. Silva, M. P., Tulin, F. L., Martins, E., Penning, M., Favaro-Trindade, C. S., Poncellet, D. (2018). Comparison of extrusion and co-extrusion encapsulation techniques to protect *Lactobacillus acidophilus* LA3 in simulated gastrointestinal fluids. *LWT*, 89, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.008>
 39. Yang, S., Wei, S., Wu, Y., Fang, Y., Deng, Z., Xu, J. et al. (2024). Encapsulation techniques, action mechanisms, and evaluation models of probiotics: Recent advances and future prospects. *Food Frontiers*, 5, 1212–1239. <https://doi.org/10.1002/fft.2.374>
 40. Касымов, И. Д., Марченко, А. Л., Басевич, А. В., Валеева, М. Е. (2023). Влияние параметров технологического процесса на микрокапсулирование субстанций с неудовлетворительными технологическими свойствами. *Разработка и регистрация лекарственных средств*, 12(4), 146–154. [Kasymov, I. D., Marchenko, A. L., Basevich, A. V., Valeeva, M. E. (2023). Influence of technological process parameters on microcapsulation of substances with unsatisfactory technological properties. *Drug Development and Registration*, 12(4), 146–154. (In Russian)] <https://doi.org/10.53380/2305-2066-2023-12-4-1574>
 41. Rojas-Muñoz, Y. V., Santagapita, P. R., Quintanilla-Carvajal, M. X. (2023). Probiotic encapsulation: Bead design improves bacterial performance during *in vitro* digestion. *Polymers*, 15(21), Article 4296. <https://doi.org/10.3390/polym15214296>
 42. Bepeyeva, A., de Barros, J. M. S., Albadran, H., Kakimov, A. K., Kakimova, Z. K., Charalampopoulos, D. (2017). Encapsulation of *Lactobacillus casei* into calcium pectinatechitosan beads for enteric delivery. *Journal of Food Science*, 82(12), 2954–2959. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13974>
 43. Sekhavatizadeh, S. S., Yaghoobpour, T. (2023). Evaluation of physicochemical properties of *Lactobacillus acidophilus* cells encapsulated with sodium alginate and Balangu seed mucilage. *Innovative Food Technologies*, 11(1), 11–24. <https://doi.org/10.22104/IFT.2023.5978.2127>
 44. Lee, Y., Ji, Y. R., Lee, S., Choi, M. J., Cho, Y. (2019). Microencapsulation of probiotic *Lactobacillus acidophilus* kbl409 by extrusion technology to enhance survival under simulated intestinal and freeze-drying conditions. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, 721–730. <https://doi.org/10.4014/jmb.1903.03018>
 45. Воробьев, В. И., Нижникова, Е. В. (2021). Переработка кислых яблочных соков, способствующая импортозамещению сокодержательной продукции. *Известия КГТУ*, 61, 53–63. [Vorobyov V. I., Nizhnikova E. V. Processing of acid apple juices promoting import substitution of juice-containing products. *KSTU News*, 61, 53–63. (In Russian)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Неверова Ольга Петровна — кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет
620000, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42
Тел.: +7-912-634-94-62
E-mail: opneverova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2474-2290>

Зинина Оксана Владимировна — доктор технических наук, доцент, кафедра биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет
620000, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42
Тел.: +7-906-871-36-81
E-mail: zinoks-vl@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>
* автор для контактов

AUTHOR INFORMATION

Affiliation

Olga P. Neverova, Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Biotechnology and Food Products, Ural State Agrarian University
42, Karl Liebknecht str. Ekaterinburg, 620000, Russia
Tel.: +7-912-634-94-62
E-mail: opneverova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2474-2290>

Oksana V. Zinina, Doctor of Technical Sciences, Docent, Department of Biotechnology and Food Products, Ural State Agrarian University
42, Karl Liebknecht str. Ekaterinburg, 620000, Russia
Tel.: +7-906-871-36-81
E-mail: zinoks-vl@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>
* corresponding author

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Ли Чунь — профессор, доктор продовольственных наук, Колледж пищевых наук, Школа питания, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет 150030, Китай, Хэйлунцзян, Харбин, район Сяньфан, Чанцзян Роуд, 600 Тел.: +86-0451-55-19-18-04 E-mail: lchun@neau.edu.cn ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1603-7222	Chun Li , Professor, Doctor of Food Science, College of Food Science, School of Food, Northeast Agricultural University, 600 Changjiang Road, Xiangfang District, Harbin, Heilongjiang Province, 150030, China Tel.: +86-0451-55-19-18-04 E-mail: lchun@neau.edu.cn ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1603-7222
Лян Чжицян — кандидат в докторантуру, Колледж пищевых наук, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет 150030, Китай, Хэйлунцзян, Харбин, район Сяньфан, Чанцзян Роуд, 600 Тел.: +86-198-46-11-03-74 E-mail: liangzq1996@126.com	Zhiqiang Liang , Doctoral Candidate, College of Food Science, Northeast Agricultural University 600 Changjiang Road, Xiangfang District, Harbin City, Heilongjiang Province, 150030, China Tel.: +86-198-46-11-03-74 E-mail: liangzq1996@126.com
Ребезов Максим Борисович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. им. Талалихина, 26 Тел.: +7-999-900-23-65 E-mail: rebezov@ya.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0857-5143	Maksim B. Rebezov , Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhin str., Moscow, 109316, Russia Tel.: +7-999-900-23-65 E-mail: rebezov@ya.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0857-5143
Вишнякова Елена Александровна — студент, лаборант, Управление научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) 454080, Россия, Челябинск, пр. им. Ленина, 76 Тел.: +7-912-772-15-61 E-mail: l.vishny@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8557-9239	Elena A. Vishnyakova , Student, Laboratory Assistant, Department of Scientific and Innovative Activities, South Ural State University (National Research University) 76 Lenin Av., Chelyabinsk, 454080, Russia Tel.: +7-912-772-15-61 E-mail: l.vishny@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8557-9239
Барыкина Екатерина Сергеевна — студент кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет 620000, Екатеринбург, ул. им. Карла Либкнехта, 42 Тел.: +7-919-389-97-01 E-mail: barykina_10@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0006-0355-4502	Ekaterina S. Barykina , Student, Department of Biotechnology and Food Products, Ural State Agrarian University 42, Karl Liebknecht str. Ekaterinburg, 620000, Russia Tel.: +7-919-389-97-01 E-mail: barykina_10@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0006-0355-4502
Критерии авторства	Contribution
Концептуализация — Зинина О. В. и Неверова О. П. ; Методология — Зинина О. В. и Ребезов М. Б. ; Исследование — Вишнякова Е. А., Барыкина Е. С. и Лян Ч. ; Обработка и анализ данных — Зинина О. В. и Ли Ч. ; Написание статьи и редактирование — Зинина О. В., Ребезов М. Б., Неверова О. П. и Ли Чунь. Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Conceptualization — Oksana V. Zinina and Olga P. Neverova ; Methodology — Oksana V. Zinina and Maksim B. Rebezov ; Investigation — Elena A. Vishnyakova, Ekaterina S. Barykina and Zhiqiang Liang Data curation and analysis — Oksana V. Zinina and Chun Li ; Writing-article and editing — Oksana V. Zinina, Maksim B. Rebezov, Olga P. Neverova and Chun Li. Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.