

УДК 664.8

Исследование термостабильности функционального пробиотического пищевого ингредиента на основе инкапсулированных микроорганизмов *Lactobacillus plantarum* SP-A3

Б. В. АСТАФЬЕВА¹, К. А. БАБИНЦЕВ², М. К. КУРБОНОВА³, Н. ТЮТЬКОВ⁴,
канд. техн. наук Д. А. БАРАНЕНКО⁵

¹baskayevabazhena@gmail.com, ²kirik.bv@bk.ru, ³kurbonova.m.k@yandex.ru,

⁴nikita_tytkov@mail.ru, ⁵denis.baranenko@itmo.ru

Университет ИТМО

В последнее время возрос интерес к производству функциональных пробиотических пищевых продуктов, таких как сыр, йогурт и мороженое, а также напитков и продуктов на основе мяса, фруктов, шоколада и т. д. Однако ассортимент такой продукции крайне ограничен, что отчасти связано со сложностью сохранения жизнеспособности пробиотических микроорганизмов. Проведено исследование термостабильности инкапсулированной культуры *L. plantarum* SP-A3 в условиях, моделирующих термообработку обогащенных пищевых продуктов. Объект исследования — условно чистая культура *L. plantarum* SP-A3 из пробиотического препарата «Лактобактерин» (НПО «Митроген»). Использовали глубинный метод культивирования на плотной питательной среде — MRS agar при 37 °С. Производили инкапсулирование тестовой культуры в 2% альгинатный гель с помощью аппарата В-390 (Vichi) с использованием 2% раствор лактата кальция в качестве закрепителя. Были получены и исследованы 2 вида микрокапсул: размером 200–300 мкм и 400–600 мкм. Капсулы имели округлую правильную форму, матово-белый равномерный цвет и отличались упругостью. Эффективность инкапсулирования с предложенными параметрами составила около 89%. Была изучена возможность применения модельной системы, имитирующей остывание пищевого продукта после термообработки. Наиболее критичный диапазон температур от 70 до 60 °С оба объекта проходят схожим образом, использование модельной системы для исследования выживаемости микроорганизмов при охлаждении реального пищевого продукта после термообработки адекватно. Исследование не выявило статистически значимых различий между размером капсул (200–300 мкм и 400–600 мкм) и выживаемостью после термической обработки (74,7±0,7% и 68,8±1,2% соответственно). По сравнению с неинкапсулированными клетками (0% в трех независимых экспериментах) микроинкапсулированные пробиотики демонстрировали более высокие показатели выживаемости — до 75,4%. Таким образом, с использованием микроинкапсулированных пробиотиков может быть расширен ассортимент пробиотических пищевых продуктов.

Ключевые слова: инкапсулирование, пробиотики, термостабильность, лактобациллы, котлеты, мясопродукты, термообработка, функциональные пищевые продукты.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 19.04.2022, одобрена после рецензирования 04.05.2022, принята к печати 12.05.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-42-47

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Астафьева Б. В., Бабинцев К. А., Курбонова М. К., Тютков Н., Бараненко Д. А. Исследование термостабильности функционального пробиотического пищевого ингредиента на основе инкапсулированных микроорганизмов *Lactobacillus plantarum* SP-A3 // Вестник Международной академии холода. 2022. № 2. С. 42–47. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-42-47

Thermal stability of a functional probiotic food ingredient based on encapsulated microorganisms *Lactobacillus plantarum* SP-A3

B. V. ASTAFIEVA¹, K. A. BABINTSEV², M. K. KURBONOVA³, N. TYUTKOV⁴, Ph. D. D. A. BARANENKO⁵

¹baskayevabazhena@gmail.com, ²kirik.bv@bk.ru, ³kurbonova.m.k@yandex.ru,

⁴nikita_tytkov@mail.ru, ⁵denis.baranenko@itmo.ru

ITMO University

Recently, there has been increased interest in the production of functional probiotic food products such as cheese, yogurt and ice cream, as well as beverages and products based on meat, fruit, chocolate, etc. However, the range of such products is extremely limited, partly due to the difficulty of maintaining the viability of probiotic microorganisms. The thermal

stability of the encapsulated *L. plantarum* SP-A3 culture was evaluated under conditions simulating the heat treatment of fortified food products. The object of the study is nearly pure culture of *L. plantarum* SP-A3 from the probiotic drug Lactobacterin (Mitrogen NPO). We used deep culture method on a dense nutrient medium — MRS agar at 37°C. The test culture was encapsulated in a 2% alginate gel by B-390 apparatus (Buchi) using a 2% calcium lactate solution as a fixative. Two types of microcapsules were obtained and studied: 200–300 µm and 400–600 µm in size. The capsules had a rounded regular shape, matte white, uniform color and were elastic. The efficiency of encapsulation with the proposed parameters was about 89%. We studied the possibility of using a model system simulating cooling of a food product after heat treatment. Both objects pass the most critical temperature ranges from 70 to 60 °C in a similar way, the use of a model system to study the survival of microorganisms when cooling a real food product after heat treatment is adequate. The study did not identify statistically significant differences between the capsule size (200–300 µm and 400–600 µm) and the survival after heat treatment (74,7±0,7% and 68,8±1,2%, respectively). Compared to unencapsulated cells (0% in three independent experiments), microencapsulated probiotics showed higher survival rates of up to 75,4%. Thus, with the use of microencapsulated probiotics, the range of probiotic foods can be expanded.

Keywords: encapsulation, probiotics, thermal stability, *Lactobacillus*, cutlets, meat products, heat treatment, functional foods.

Article info:

Received 19/04/2023, approved after reviewing 04/05/2022, accepted 12/05/2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-42-47

Article in Russian

For citation:

Astafieva B. V., Babintsev K. A., Kurbonova M. K., Tyutkov N., Baranenko D. A. Thermal stability of a functional probiotic food ingredient based on encapsulated microorganisms *Lactobacillus plantarum* SP-A3. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 2. p. 42–47. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-42-47

Введение

В последние годы пробиотики привлекают все большее внимание из-за их терапевтического и профилактического воздействия на человека. Пробиотики определяются как «живые микроорганизмы, которые при введении в адекватных количествах приносят пользу здоровью хозяина» [1]. В то же время, благодаря потенциальной пользе пробиотиков для здоровья, мировой рынок пищевых добавок и пробиотических продуктов значительно увеличивается с каждым годом [2]. Однако производство функциональных пищевых продуктов с заявленными пробиотическими свойствами отличается рядом трудностей, в первую очередь связанных с поддержанием жизнеспособности пробиотических клеток, добавляемых в продукты, в условиях обработки, хранения и потребления [3].

Внесение пробиотиков в продукт может осуществляться различными способами. Наиболее прост метод внесения чистой жизнеспособной культуры в жидкий кисломолочный продукт. Однако, данным способом могут быть произведены продукты только одной ассортиментной группы, а часть микроорганизмов инактивируется под действием желудочных ферментов и низкой кислотности [4]. Помимо этого, жизнедеятельность микроорганизмов накладывает определенные ограничения на срок хранения продукта, молочная кислота, выделяемая лактобактериями способна привести к его порче. Применение лиофильной сушки эффективно для получения чистых или таблетированных форм пробиотиков, и поэтому используется в фармацевтике. Однако этот дорогостоящий метод не подходит для производства функциональных пищевых продуктов [5]. Инкапсулирование микроорганизмов рассматривается в качестве возможного способа увеличения выживаемости пробиотиков, добавленных в различные пищевые матрицы [6]–[9].

Инкапсулирование защищает пробиотические микроорганизмы от воздействия агрессивных условий ЖКТ,

повышая их выживаемость до целевого отдела — толстого кишечника на 2 порядка [10]. Помимо этого, инкапсулирование обеспечивает повышение термостабильности культур микроорганизмов. Исследователи сообщают о значительном росте выживаемости инкапсулированных лактобактерий [11]. Это может позволить вносить пробиотики в пищевые продукты, требующие температурной обработки. Исследование возможности температурной обработки пищевых продуктов с инкапсулированными пробиотическими культурами актуально, так как это позволит существенно расширить ассортимент таких функциональных продуктов.

Цель работы — исследование термостабильности инкапсулированных микроорганизмов *Lactobacillus plantarum* SP-A3 для использования в составе функциональных пищевых продуктов с пробиотическими свойствами.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Инкапсулировать пробиотические микроорганизмы и определить свойства и размеры полученных микрокапсул;
2. Исследовать эффективность инкапсулирования культуры *L. plantarum* SP-A3 в микрокапсулы из альгината натрия по предложенному способу;
3. Оценить термоустойчивость инкапсулированной пробиотической культуры в модельной системе при нагревании до 70 °C;
4. Оценить адекватность модельной системы по сравнению продолжительности ее охлаждения с данными для реального пищевого продукта.

Материалы и методы

Для проведения исследований был выбран штамм *Lactobacillus plantarum* SP-A3, выделенный из пробиотического препарата «Лактобактерин» (НПО МИКРОГЕН,

Россия). Бактериоцины, продуцируемые *Lb. plantarum*, дают преимущество в колонизации и здоровой конкуренции в кишечнике хозяина, контролируя рост патогенов [12, 13]. Помимо антибактериальной активности, пробиотические бактерии обладают антиоксидантной и холестеринснижающей способностью [14]. Было установлено, что некоторые штаммы *Lb. plantarum* и *Lb. rhamnosus* и их бесклеточные супернатанты обладают антиоксидантной активностью [15]. Другим важным свойством является снижение уровня холестерина пробиотическими бактериями, что может предотвратить гипохолестеринемия [16].

Для инкапсулирования использовали альгинат натрия (ООО «НОРДЕНА», Россия).

Подготовка культуры.

L. plantarum SP-A3 высевали в 500 мл бульона MRS (de Man, Rogosa, Sharpe) и инкубировали в аэробных условиях при 37 °С в течение 24 ч для достижения стационарной фазы роста. Биомассу собирали и концентрировали центрифугированием при 12100 g в течение 10 мин и дважды промывали стерильным 0,85% солевым раствором. На этапе после концентрирования количество жизнеспособных клеток составляло 10^8 – 10^9 КОЕ/мл. Суспензия была получена путем разведения концентрированной биомассы в стерильном 0,85% солевом растворе в пропорции 1:9.

Инкапсулирование.

Инкапсулирование производилось на аппарате В-390 (BUCNI, Швеция). Раствор альгината натрия (3%) и суспензии микроорганизмов смешивали в пропорции 9:1 и осторожно перемешивали в течение 30 мин. Суспензию подавали по каплям через сопло в закалывающий раствор, содержащий лактат кальция (0,1 М). Формирование капсул происходило за счет формирования ионных шивок. Полученные капсулы перемешивали в растворе лактата кальция в течение 40 мин для затвердевания полимерной структуры, фильтровали через фильтр с размером ячеек 0,18 мм, дважды промывали стерильной дистиллированной водой.

Эффективность инкапсулирования.

Как клеточная суспензия, так и альгинатные шарики были проанализированы для оценки эффективности инкапсулирования, выраженной в виде выхода инкапсуляции (ЕЕ) Жизнеспособность лактобактерий оценивали, как описано Chávargi et al. [16]. Образцы капсул (100 мг) полностью растворяли в 9 мл 0,1М цитрата натрия при легком перемешивании в течение 20 мин. После этого гомогенизированные образцы разбавляли до соответствующей концентрации и высевали на агар MRS. Образцы инкубировали в течение 3 сут при 37 °С. После этого измеряли жизнеспособность инкапсулированных клеток. Производился подсчет колониеобразующих единиц (КОЕ/мл) в пробах. Степень жизнеспособности рассчитывали в соответствии с уравнением (А):

$$EE = \frac{\log_{10} N_1}{\log_{10} N_0} \times 100\% (A).$$

При этом N_0 — количество захваченных бактериальных клеток, загруженных внутрь капсулы, а N_1 — количество свободных бактериальных клеток, добавленных в биполимерную смесь в процессе приготовления капсул. Количество клеток *L. plantarum* SP-A3 выражали как среднее значение \pm стандартное квадратичное отклонение из трех независимых экспериментов.

Термоустойчивость свободных и микроинкапсулированных *L. plantarum* SP-A3.

Биомассу *L. plantarum* и инкапсулированные образцы взвешивали и переносили в стерильную дистиллированную воду (10 мл) в тонкостенных пробирках и подвергали термической обработке. Содержимое пробирок было подвергнуто термообработке путем доведения температуры в центре сосуда до 71 ± 1 °С на водяной бане и остывания на воздухе до температуры 22 ± 2 °С при естественной конвекции. Количество клеток *L. plantarum* SP-A3 выражали как среднее значение \pm стандартное квадратичное отклонение из трех независимых экспериментов. С помощью термометра измеряли температуру в термическом центре пробирки каждые 30 с до достижения 37 °С.

Статистический анализ.

Статистический анализ проводили с помощью программы SMATH Studio версии 0,99 сборка 7822. Т-критерий Стьюдента использовался для определения статистической значимости различий средних величин.

Результаты и их обсуждение

Характеристика и фото капсул.

В результате инкапсулирования были получены микрокапсулы правильной округлой формы (рис. 1). Отмечена высокая упругость микрокапсул, которые не теряли форму и не разрушались после надавливания шпателью. Для разрушения капсул приходилось применять растирание в фарфоровой ступке при помощи пестика. Цвет микрокапсул матово-белый, равномерный. Было произведено 2 вида капсул разного размера (200–300 мкм и 400–600 мкм). Отклонения, в размере около 15% капсул, обосновывается способом их получения.

Эффективность инкапсулирования.

При инкапсулировании в альгинатную матрицу часть клеток *L. plantarum* могла погибнуть или быть смыта с поверхности полученных капсул, таким образом этот процесс оказывает определенное влияние на количество жизнеспособных микроорганизмов. Для определения влияния данного процесса на число жизнеспособных микроорганизмов исследовали эффективность инкапсулирования по уравнению А, результаты представлены на табл. 1. В работе [17] эффективность инкапсулирования в микрокапсулы была очень высокой (до 93%), более того, капсулы обеспечивали жизнеспособность клеток в течение более длительного времени по сравнению со свободной культурой микроорганизмов. Представленные в табл. 1 экспериментальные данные подтверждают результаты о высокой эффективности инкапсулирования *L. plantarum* в микрокапсулы из альгината натрия. Это может служить обоснованием целесо-

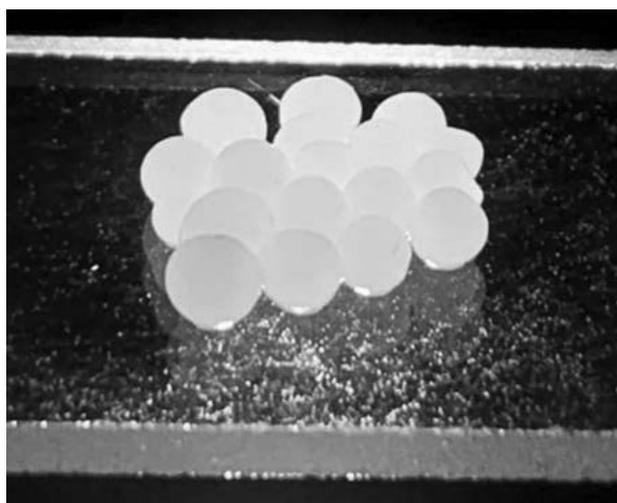


Рис. 1. Микрокапсулы *L. plantarum* SP-A3 с размерами 400–600 мкм на предметном стекле

Fig. 1. *L. plantarum* SP-A3 microcapsules (400–600 μm) on a slide

образности использования микрокапсулирования в производстве пробиотических и обогащенных продуктов.

Жизнеспособность свободной и микроинкапсулированной форм L. plantarum SP-A3 при термической обработке.

Большинство пробиотических культур микроорганизмов обладают низкой термостабильностью, и их промышленное использование сопряжено с рядом трудностей, в частности, необходимость проведения щадящих режимов термообработки. Повышение термической устойчивости пробиотических культур необходимо для их внедрения в производство более широкого ассортимента пищевых продуктов. Микроинкапсулирование может способствовать сохранению жизнеспособности пробиотиков при термообработке.

В данном исследовании влияние микроинкапсулирования на термостабильность оценивали с помощью воздействия летального теплового стресса путем доведения реакционного центра сосуда с микрокапсулами до температуры 70 °C и последующего остывания, что соответствует параметрам термообработки ряда пищевых продуктов. Жизнеспособность свободной и микроинкапсулированной форм *L. plantarum* SP-A3 после термической обработки представлены в табл. 2.

По сравнению с неинкапсулированными клетками, выживаемость которых составила 0% в трех независимых экспериментах, микроинкапсулированные пробиотики демонстрировали значительно ($p < 0,05$) более высокие показатели выживаемости до 75,4%. Теплозащитная характеристика микрокапсул с *L. plantarum* LAB12 была изучена в работе [11]. В приведенном исследовании способность микрокапсул защищать *L. plantarum* LAB12 от тепла оценивалась через воздействие смертельного теплового стресса при 75 °C в течение 30 с и 90 °C в течение 5 с. Микроинкапсулированный вариант *L. plantarum* LAB12 демонстрировал значительно ($p < 0,05$) более высокие показатели выживаемости до 95,5% и 94,1% при воздействии 75 °C в течение 30 с и 90 °C в течение 5 с,

Таблица 1
Эффективность инкапсулирования культуры *L. plantarum* SP-A3

Table 1
Encapsulation efficiency of *L. plantarum* SP-A3 culture

Размер микрокапсул, мкм	Концентрация биомассы, КОЕ/мл	Концентрация в микрокапсулах, КОЕ/мл	Эффективность инкапсулирования, %
200–300	$(3,73 \pm 0,21) \times 10^8$	$(3,3 \pm 0,3) \times 10^8$	88,9 ± 2,5
400–600	$(3,2 \pm 1,5) \times 10^9$	$(2,8 \pm 1,6) \times 10^9$	89 ± 10

Таблица 2

Выживаемость свободной и микроинкапсулированной форм *L. plantarum* SP-A3 при термической обработке

Table 2

Viability of free and microencapsulated forms of *L. plantarum* SP-A3 during heat treatment

Размер капсул, мкм	Количество микроорганизмов до нагревания, КОЕ/мл	Количество микроорганизмов после нагревания, КОЕ/мл	Выживаемость, % * Log10 (КОЕ/мл)
200–300	$3,3 \pm 0,3 \times 10^8$	$2,3 \pm 0,3 \times 10^6$	74,7 ± 0,7
400–600	$2,8 \pm 1,6 \times 10^9$	$2,8 \pm 0,7 \times 10^6$	68,8 ± 1,2

соответственно. Размер капсул в приведенном исследовании составлял 1300–1400 мкм. Приведенные в табл. 2 результаты подтверждают, что микрокапсулы с меньшими размерами также обладают достаточным уровнем термостабильности для их дальнейшего внесения в определенные пищевые продукты.

Связь размера микрокапсул и выживаемости микроорганизмов в неблагоприятных условиях моделирующих ЖКТ была изучена в работе [18]. Исследование показало, что жизнеспособность инкапсулированных форм *Lb. casei* в искусственном желудочном соке положительно коррелирует с диаметром капсул. Согласно данным двухфакторного дисперсионного анализа 58,6% дисперсии коррелировало с текстурными свойствами и диаметром, 20,2% коррелировало со сферичностью микрокапсул. Однако нами не были найдены опубликованные научные данные об анализе связи размера микрокапсул и термостабильности микроорганизмов.

В проведенном исследовании не было выявлено статистически значимых различий между размером капсул (200–300 мкм и 400–600 мкм) и жизнеспособностью микроорганизмов после термической обработки (74,7 ± 0,7% и 68,8 ± 1,2%, соответственно). Большой размер микрокапсул был признан нецелесообразным, так как способен повлиять на структурно-механические и органолептические свойства пищевых продуктов.

Кривые остывания продукта и модельного реактора.

Анализ процесса охлаждения после термической обработки позволяет оценить длительность воздействия высокой температуры на микроорганизмы, аналогично

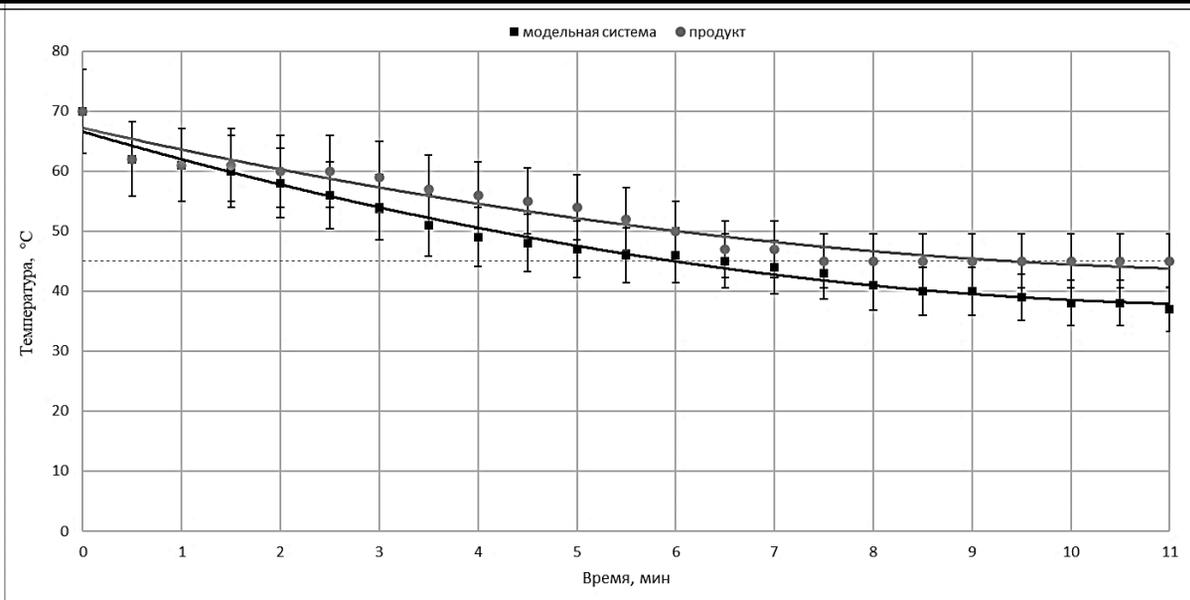


Рис. 2. Изменение температуры продукта и модельной системы

Fig. 2. Temperature changes of the product and model system

возможному сценарию приготовления и последующего употребления пищевого продукта в пищу. После доведения продукта до температуры 70 °C предполагается его удаление с греющей поверхности или из пароконвектомата и размещение в условиях, где продукт охлаждается окружающим воздухом при естественной конвекции. Культура *L. plantarum* SP-A3 является мезофильной. Температурный оптимум для мезофилов составляет 30–45 °C [19]. Модельная система достигает 60 °C за 1,5 мин, продукт (мясная котлета из говядины диаметром 110 мм и толщиной 10 мм) достигает этой же температуры за 2 мин. Таким образом, остывание продукта до температуры, вносящей минимальный вклад в потерю жизнеспособности молочнокислых микроорганизмов, происходит на треть медленнее по сравнению с модельной системой. Верхней границы температурного оптимума для развития *L. plantarum* SP-A3 модельная система достигает за 6 мин, продукт — за 9 мин. Так как наиболее критичный диапазон температур от 70 до 60 °C оба объекта проходят в границах близких к доверительному интервалу измерения температуры, а дальнейшее охлаждение уже не влияет на потерю жизнеспособности пробиотической культуры, использование модельной системы в качестве имитации охлаждения реального пищевого продукта адекватно. То есть, сохранение жизнеспособности инкапсулированных пробиотических микроорганизмов в составе реального продукта будет близко к полученному в проведенном эксперименте.

Сопоставлением кривых остывания модельной системы (состоящей из тонкостенной пробирки, наполненной 10 мл дистиллированной воды) и реального пищевого продукта было обосновано использование данной модели для проверки термостабильности пробиотических ингредиентов.

Заклучение

В результате предложенного процесса инкапсулирования удалось получить однородные микрокапсулы

правильной круглой формы. Эффективность инкапсулирования составила около 89%. Было приведено обоснование выбора системы, моделирующей приготовление пищевого продукта. Проанализирована термостабильность инкапсулированной культуры *L. plantarum* SP-A3 в модельных условиях. Установлено, что использование микрокапсулирования при размере капсул 200–300 мкм и 400–600 мкм значительно повышает жизнеспособность тестовой культуры после термического воздействия. По сравнению с неинкапсулированными клетками, полностью потерявшими жизнеспособность в трех независимых экспериментах, микроинкапсулированные пробиотики продемонстрировали выживаемость до 75,4%. Не было установлено статистически значимого влияния размера капсул в диапазоне 200–600 мкм на выживаемость *L. plantarum* при температурной обработке, моделирующей приготовление пищевого продукта.

Показано, что микроинкапсулирование пробиотических микроорганизмов может применяться для их внесения в продукт, подвергающийся термообработке до 70 °C в центре.

Таким образом, может быть расширен ассортимент пробиотических пищевых продуктов, в частности, могут быть разработаны пробиотические мясные, мясорастительные и растительные замороженные полуфабрикаты, подвергающиеся термообработке непосредственно перед употреблением.

Литература/References

1. Makinen K. et al. Science and technology for the mastership of probiotic applications in food products. *J. Biotechnol. Elsevier*, 2012. Vol. 162, No 4. P. 356–365.
2. Meybodi N., Mortazavian A. Probiotic Supplements and Food Products: A Comparative Approach. *Biochem Pharmacol*. 2017. Vol. 6, No 2. P. 1–7.
3. Min M. et al. Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2019. Vol. 59, No 16. P. 2626–2641.

4. Alander M. et al. Persistence of colonization of human colonic mucosa by a probiotic strain, *Lactobacillus rhamnosus* GG, after oral consumption. *VTT Publ.* 2001. Vol. 65, No 454. P. 79–82.
5. Tsvetkov T., Brankova R. Viability of micrococci and lactobacilli upon freezing and freeze-drying in the presence of different cryoprotectants. *Cryobiology*, 1983. Vol. 20, No 3. P. 318–323.
6. Angiolillo L. et al. How to Fortify a Fish Burger with Probiotic Microorganisms. *J. Probiotics Heal. OMICS Publishing Group*, 2017. Vol. 05, No 02. P. 2–7.
7. Rodrigues F. J., Cedran M. F., Garcia S. Influence of linseed mucilage incorporated into an alginate-base edible coating containing probiotic bacteria on shelf-life of fresh-cut yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food Bioprocess Technol.* Springer New York LLC, 2018. Vol. 11, No 8. P. 1605–1614.
8. Dimitrellou D. et al. Encapsulation of *Lactobacillus casei* ATCC 393 in alginate capsules for probiotic fermented milk production. *LWT. Academic Press*, 2019. Vol. 116.
9. Vambace M. F., Alvarez M. V., Moreira M. del R. Novel functional blueberries: Fructo-oligosaccharides and probiotic lactobacilli incorporated into alginate edible coatings. *Food Res. Int.* Elsevier Ltd, 2019. Vol. 122. P. 653–660.
10. Nazzaro F. et al. Fermentative ability of alginate-prebiotic encapsulated *Lactobacillus acidophilus* and survival under simulated gastrointestinal conditions. *J. Funct. Foods.* Elsevier Ltd, 2009. Vol. 1, No 3. P. 319–323.
11. Fareez I. M. et al. Chitosan coated alginate-xanthan gum bead enhanced pH and thermotolerance of *Lactobacillus plantarum* LAB12. *Int. J. Biol. Macromol.* Elsevier B. V., 2015. Vol. 72. P. 1419–1428.
12. Castro M. P. et al. Lactic acid bacteria isolated from artisanal dry sausages: characterization of antibacterial compounds and study of the factors affecting bacteriocin production. *Meat Sci.*, 2011. Vol. 87, No 4. P. 321–329.
13. Sabo S. da S. et al. Overview of *Lactobacillus plantarum* as a promising bacteriocin producer among lactic acid bacteria. *Food Res. Int.*, 2014. Vol. 64. P. 527–536.
14. Xing J. et al. Determining Antioxidant Activities of Lactobacilli Cell-Free Supernatants by Cellular Antioxidant Assay: A Comparison with Traditional Methods. *PLoS One.* Public Library of Science, 2015. Vol. 10, No 3. P. 1–16.
15. Yadav R., Puniya A. K., Shukla P. Probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* RYPR1 from an indigenous fermented beverage Raabadi. *Front. Microbiol.* Frontiers Media S. A., 2016. Vol. 7. P. 1–9.
16. Chávarri M. et al. Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions. *Int. J. Food Microbiol.*, 2010. Vol. 142, No 1–2. P. 185–189.
17. Corbo M. R. et al. Immobilization and microencapsulation of *Lactobacillus plantarum*: Performances and in vivo applications. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* Elsevier Ltd, 2013. Vol. 18. P. 196–201.
18. Sandoval-Castilla O. et al. Textural properties of alginate-pectin beads and survivability of entrapped Lb casei in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *Food Res. Int.* 2010. Vol. 43, No 1. P. 111–117.
19. Emtsev VT, Mishustin Ye. N. Microbiology: a textbook for bachelors — 8th ed., Rev. and add. Yurayt Publishing House, 2014. 445 p.

Сведения об авторах

Астафьева Бажена Владиславовна

Аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, baskayevabazhena@gmail.com

Бабинцев Кирилл Алексеевич

Студент факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, kirik.bv@bk.ru

Курбонова Маликахон Комилжоновна

Аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, kurbonova.m.k@yandex.ru

Тютков Никита

Аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, nikita_tytkov@mail.ru

Бараненко Денис Александрович

К. т. н., доцент факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, denis.baranenko@itmo.ru

Information about authors

Astafieva Bazhena V.

Postgraduate of Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, baskayevabazhena@gmail.com

Babintsev Kirill A.

Student of the Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, st. Lomonosov, 9, kirik.bv@bk.ru

Kurbonova Malikahon K.

Postgraduate of Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, kurbonova.m.k@yandex.ru

Tyutkov Nikita

Postgraduate of Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, nikita_tytkov@mail.ru

Baranenko Denis A.

Ph. D., Associate Professor of Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, denis.baranenko@itmo.ru

