

УДК 637.146; 613.292

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-392-03-123-136

Л.А. Забодалова

В.С. Ильина ✉

Н.Тютков

Е.И. Лемешонок

П. Аллох

К.А. Бабинцев

Д.А. Бараненко

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

✉ victoria.ilina@itmo.ru

Поступила в редакцию: 02.12.2024

Одобрена после рецензирования: 13.02.2025

Принята к публикации: 27.02.2025

© Забодалова Л.А., Ильина В.С., Тютков Н., Лемешонок Е.И., Аллох П., Бабинцев К.А., Бараненко Д.А.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-392-03-123-136

Lyudmila A. Zabodalova

Victoria S. Ilyina ✉

Nikita Tyutkov

Elena I. Lemeshonok

Pablo B.R.A. Alloh

Kirill A. Babintsev

Denis A. Baranenko

ITMO University, St. Petersburg, Russia

✉ victoria.ilina@itmo.ru

Received by the editorial office: 02.12.2024

Accepted in revised: 13.02.2025

Accepted for publication: 27.02.2025

© Zabodalova L.A., Ilyina V.S., Tyutkov N., Lemeshonok E.I., Alloh P.B.R.A., Babintsev K.A., Baranenko D.A.

Йогурт с инкапсулированными пробиотическими микроорганизмами для профилактики сахарного диабета 2-го типа

РЕЗЮМЕ

Среди основных факторов, участвующих в возникновении и развитии сахарного диабета 2-го типа (СД2), ведущее место отводится состоянию кишечной микробиоты человека. Исследования действия пробиотических препаратов и продуктов на состояние больных СД2 и основные маркеры заболевания, проводившиеся как на животных, так и на людях, подтвердили их антидиабетические свойства — снижение уровня глюкозы в крови натощак, содержание гликированного гемоглобина, некоторых воспалительных маркеров, улучшение антиоксидантного статуса. Результаты исследований подтверждают возможность профилактики заболевания воздействием на микрофлору кишечника. Для коррекции состава микробиоты кишечника применяют про- и пребиотики.

Цели исследования — разработка многостаммового пробиотического функционального пищевого ингредиента в инкапсулированной форме, изучение устойчивости пробиотических микроорганизмов в составе кисломолочного продукта и влияния на его свойства. В работе использовали штаммы микроорганизмов с подтвержденным пробиотическим действием: *Bifidobacterium bifidum* BF3 DSM 29040; *Lactobacillus plantarum* 8P A3; *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG. Инкапсулированную форму пробиотиков получали экструзионным методом на инкапсуляторе В-390 (BUCHI, Швейцария) с использованием альгината натрия и суспензии пробиотических микроорганизмов с концентрацией клеток не менее 10^{10} КОЕ/г. Полученные капсулы имели средний диаметр — 715 ± 80 мкм, эффективность инкапсулирования составляла более 90%. Добавление инкапсулированных пробиотиков в йогурт без наполнителя и с наполнителем в виде сухой функциональной комплексной смеси не оказало значительного влияния на физико-химические и структурно-механические показатели продукта. При оценке органолептических показателей в йогурте без наполнителя отмечена легкая песчанистость, которая отсутствует в продукте с наполнителем. При холодильном хранении в течение 29 сут. концентрация жизнеспособных инкапсулированных пробиотических микроорганизмов сохранялась на уровне не менее 10^9 КОЕ/г.

Ключевые слова: пробиотики, инкапсулированный пищевой ингредиент, сахарный диабет 2-го типа, функциональный молочный продукт, микроинкапсулирование

Для цитирования: Забодалова Л.А., Ильина В.С., Тютков Н., Лемешонок Е.И., Аллох П., Бабинцев К.А., Бараненко Д.А. Йогурт с инкапсулированными пробиотическими микроорганизмами для профилактики сахарного диабета 2-го типа. *Аграрная наука*. 2025; 392(03): 123–136.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-123-136>

Yoghurt with encapsulated probiotic microorganisms for the type 2 diabetes mellitus prevention

ABSTRACT

Among the main factors resulting from the onset and development of type 2 diabetes mellitus (T2DM), the state of human intestinal microbiota is a leading factor. Studies of the effect of probiotic preparations and products on the condition of T2DM patients and the main markers of the disease, caused both on animals and humans, confirmed their antidiabetic properties — reducing fasting blood glucose levels, glycated hemoglobin, some inflammatory markers, improving the antioxidant effect. Also, the results of studies confirm the possibility of preventing the impact of the disease on the intestinal microflora. Pro- and prebiotics are used to correct the composition of the microbiota.

The research objectives are to develop a multi-strain probiotic functional food ingredient in an encapsulated form, to study the stability of probiotic microorganisms in the composition of a fermented milk product and its effect on its properties.

The microorganism strains with confirmed probiotic effect were used: *Bifidobacterium bifidum* BF3 DSM 29040; *Lactobacillus plantarum* 8P A3; *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG. The encapsulated form of probiotics was applied by extrusion method on encapsulator B-390 (BUCHI, Switzerland) using sodium alginate and suspension of probiotic microorganisms with cell concentration not less than 10^{10} CFU/g. The resulting capsules had an average diameter of 715 ± 80 μm and an encapsulation efficiency of more than 90%. Addition of encapsulated probiotics to yogurt without filler and with filler in the dry form of functional complex mixture does not significantly affect the physicochemical and structural-mechanical parameters of the product. When considering organoleptic indicators in yogurt without filler, a slight peculiarity is noted in yogurt without filler, which is absent in sandy product with filler. During refrigeration storage for 29 days the concentration of viable encapsulated probiotic microorganisms remained at the level of 10^9 CFU/g.

Key words: probiotics, encapsulated food ingredient, type 2 diabetes mellitus, functional dairy product, microencapsulation

For citation: Zabodalova L.A., Ilyina V.S., Tyutkov N., Lemeshonok E.I., Alloh P.B.R.A., Babintsev K.A., Baranenko D.A. Yoghurt with encapsulated probiotic microorganisms for the type 2 diabetes mellitus prevention. *Agrarian science*. 2025; 392(03): 123–136 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-123-136>

Введение/Introduction

Сахарный диабет — многофакторное заболевание, развитие которого связано с ожирением, состоянием кишечной микробиоты и наличием воспалительных процессов в организме [1]. Эти факторы, являясь основными в патогенезе сахарного диабета 2-го типа (СД2), тесно связаны между собой, о чем свидетельствуют результаты большинства современных исследований. Микробиота кишечника участвует прямо или опосредованно практически во всех физиологических функциях, метаболических, поведенческих и сигнальных реакциях, необходимых для обеспечения гомеостаза организма [2, 3].

Изменение количественного и видового состава микробиоты может приводить к возникновению различных патологических состояний (воспалительным заболеваниям кишечника, атеросклерозу, метаболическому синдрому, ожирению, СД2). Если в нормальном (здоровом) состоянии микробиота кишечника представлена двумя основными типами — *Bacteroidetes* и *Firmicutes* с преваляцией первых, то при дисбиотическом состоянии наблюдаются увеличение содержания бактерий типа *Firmicutes* и снижение доли бактерий типа *Bacteroidetes* [4–6].

При исследовании механизма возникновения и развития СД2 была выявлена особая роль дисбактериоза кишечной микробиоты, что позволяет рассматривать ее как основной сдерживающий фактор развития данного заболевания [7]. Свидетельством того, что воздействие на микробиоту может быть эффективным при лечении СД2, служат результаты экспериментальных и клинических исследований, подтверждающих, что абсолютное большинство маркеров, связанных с СД2, коррелируют с дисбиозом кишечника, снижением количества бактерий, продуцирующих бутират, и увеличением окислительного стресса [8].

Для коррекции состава микробиоты кишечника применяют про- и пребиотики. Пробиотики, как правило, являются представителями нормальной микрофлоры ЖКТ человека и принадлежат к роду *Lactobacillus* (*L. acidophilus*, *L. casei*, *L. plantarum*, *L. delbrueckii* ssp. *Bulgaricus*), *Lactocaseibacillus* (*L. rhamnosus* GG) и *Bifidobacterium* (*B. bifidum*, *B. breve*, *B. longum*, *B. infantis*, *B. animalis*). К пробиотикам относят и ряд штаммов термофильного стрептококка, пропионовокислые бактерии и некоторые штаммы дрожжей [9].

Действие пробиотиков на состояние больных СД2 и основные маркеры заболевания описаны в ряде исследований, проводившихся как на животных, так и на людях. Так, М. Tabuchi *et al.* [10] показали, что включение в рацион крыс со стрептозотин-индуцированным диабетом пробиотика *L. GG* способствует значительному сдерживанию роста непереносимости глюкозы и гипергликемии, а Х. Li, N. Wang *et al.* [11] выявили при исследованиях *in vivo*, что *L. plantarum* CCFM0236 обладает потенциальной гипогликемической способностью,

улучшая резистентность к инсулину, антиоксидантную способность и снижая системное воспаление у подопытных животных. Были подтверждены и антидиабетические свойства *L. casei* [12, 13] и *L. gassery* [14] в опытах на крысах со стрептозотин-индуцированным диабетом.

В большинстве исследований на людях получены положительные результаты как при применении препаратов пробиотиков, так и пробиотических продуктов. А.С. Andreasen *et al.* [15] показали, что прием *L. acidophilus* NCFM людьми с нормальной или нарушенной чувствительностью к инсулину в течение четырех недель сохранял чувствительность к инсулину по сравнению с плацебо, но не повлиял на системную воспалительную реакцию.

Исследования влияния кисломолочных продуктов, содержащих пробиотики, на прогрессирование диабета, индуцированного стрептозототином или высоким содержанием фруктозы у крыс, показали, что диета с добавлением пробиотического продукта задерживает развитие гипергликемии, дислипидемии и окислительного стресса [16, 17].

Современные продукты, кроме пробиотиков, часто содержат пребиотики — препараты немикробного происхождения, такие как олигосахариды, инулин, лактулоза, олигофруктоза, способные стимулировать рост нормальной микрофлоры кишечника и усиливать полезное действие пробиотиков [18–20]. Такие продукты называют синбиотиками.

Исследование влияния пребиотиков на состав кишечной микрофлоры выявило, что включение в рацион мышей олигофруктозы привело к увеличению количества бифидобактерий и, соответственно, снизило маркеры воспаления за счет уменьшения образования липополисахарида (ЛПС) — компонента клеточной стенки всех грамотрицательных бактерий, который является эндотоксином и одним из самых мощных индукторов воспаления [21]. Снижение количества образующихся ЛПС благоприятно влияет на проницаемость кишечника и улучшает состояние при ожирении [22, 23].

Пробиотические и синбиотические продукты относятся к функциональным пищевым продуктам (ФПП), разработка и производство которых в настоящее время сформировались как самостоятельное научно-прикладное направление. Анализ рынка ФП, представленный в работе Е.А. Молибога и др. [24], свидетельствует о росте мирового спроса на продукты здорового питания, по прогнозам DISCOVERY Research Group, объем мирового рынка продуктов здорового питания будет расти высокими темпами и к 2027 г. составит около 17 трлн руб. Значительную долю функциональных продуктов составляют кисломолочные продукты.

В результатах исследований, описанных выше, прослеживается взаимосвязь состояния кишечной микробиоты с возникновением и развитием

СД2, показана возможность влияния на заболевание воздействием на микрофлору кишечника, что подтверждает целесообразность обогащения рациона пробиотиками как составной части профилактики СД2. Пребиотики и пробиотики являются наиболее безопасными и эффективными диетическими веществами, которые могут изменять микробиоту кишечника хозяина [25].

Кроме обогащения кисломолочных продуктов про- и пребиотиками, в них добавляют различные компоненты и ингредиенты, повышающие их функциональность с учетом направленности продукта.

Результаты исследований зарубежных и отечественных ученых показали, что сывороточные белки проявляют инсулинотропные и сахароснижающие свойства как у здоровых людей, так и у людей с СД2. Сывороточные белки реализуют эти эффекты посредством биоактивных пептидов и аминокислот, образующихся в процессе желудочно-кишечного пищеварения [26, 27]. Установлено, что добавление сывороточного белка в количестве более 20 г на порцию продукта приводило к выраженным эффектам снижения уровня глюкозы в крови и повышению уровня инсулина [28].

Ряд исследований подтверждают, что потребление пищевых волокон (в частности, растворимой клетчатки) способствует улучшению метаболизма глюкозы и снижению гиперлипидемии. Так, прием 5,1 г псиллиума, растворимых пищевых волокон, в течение 8 недель существенно снизил уровень глюкозы после приема пищи и гликированного гемоглобина (HbA1c) у пациентов с диабетом 2-го типа [29], бета-глюкан овса снижал 2-часовой уровень глюкозы в крови [30] и уровень липопротеинов низкой плотности у пациентов, получавших лечение высокомолекулярным бета-глюканом в течение 4 недель [31]. В связи с этим актуальным является разработка функциональных продуктов, обогащенных комплексом пробиотиков, пищевыми волокнами и другими биологически активными веществами и предназначенных для профилактики СД2.

Исследования пробиотических бактерий на физиологические аспекты показывают эффективную дозу от 10^9 до 10^{10} организмов в день — это соответствует потреблению около 1 л ацидофильного молока в день, сформулированного на типичном уровне 2×10^6 КОЕ/мл [32]. Традиционно человек получал пробиотики за счет непосредственного потребления продуктов, их содержащих, но, как свидетельствует опыт, не всегда удается обеспечить поступление в организм терапевтической дозы пробиотиков (не менее 10^7 КОЕ/г на момент потребления) вследствие значительного (на 4–7 порядков) снижения выживаемости бактерий в результате воздействий агрессивной среды ЖКТ, а также в ходе технологического процесса получения продукта и при его последующем хранении [33, 34].

Эффективным способом защиты пробиотических культур от негативных воздействий служит

микрокапсулирование, которое позволяет изолировать капсулируемый материал от окружающей среды и обеспечить его контролируемое высвобождение [35–38]. При этом возможно получение капсул различного размера — от нескольких микрон до нескольких миллиметров [39].

В настоящее время включение микрокапсулированных пробиотических бактерий в рецептуру пищевых продуктов признано альтернативным дополнительному потреблению пробиотических препаратов и наиболее эффективным способом обеспечения функциональности этих продуктов и является безопасным путем доставки их в нужный отдел ЖКТ [40].

Для микрокапсулирования пробиотиков применяются различные биоматериалы, которые нетоксичны для них и не влияют на активность клеток: полисахариды, камеди, белки, липиды. Выбор инкапсулирующего материала играет решающую роль в сохранении жизнеспособности пробиотических культур и их целевой доставке [41]. Наиболее часто используются натуральные (сравнительно недорогие), биосовместимые и имеющие статус GRAS полимеры, такие как хитозан, альгинат, каррагинан, сывороточные белки, пектин, поли-L-лизин и резистентный крахмал. Материалы для капсулирования используются отдельно (монослой) или в комбинации (двойной или тройной слой). В последнем случае покрытие микрокапсул дополнительной пленкой позволяет исключить воздействие кислорода в процессе хранения и повысить их стабильность при низком pH [39].

В настоящее время многие отечественные и зарубежные исследователи работают над технологиями инкапсулирования пробиотиков и изучают их применение в биомедицине [9, 26, 42–49].

В связи с распространенностью сахарного диабета, высокой стоимостью лечения, тяжелыми осложнениями и высокой смертностью от заболевания встает вопрос о возможности его предупреждения. Существует широкий спектр терапевтических средств для медикаментозной помощи людям с подтвержденным СД2, однако мало исследований направлено на нутритивную профилактику СД2. Диетотерапия в основном заключается в снижении содержания добавленного сахара в продуктах питания или замены их подсластителями и сахарозаменителями. В то же время известно много пищевых ингредиентов, обладающих антидиабетическими и противовоспалительными свойствами, способных благоприятно влиять на состояние кишечной микробиоты, которые могут быть включены в состав функциональных пищевых продуктов для профилактики СД2.

Можно обозначить некоторые общие требования к подобного рода продуктам: невысокая жирность; отсутствие добавленного сахара; применение комплекса пробиотиков с доказанными пробиотическими свойствами; наличие пищевых волокон в качестве пребиотика, а также различного

рода биологически активных веществ (антиоксидантов, полиненасыщенных жирных кислот), обеспечивающих достижение желаемого эффекта, в данном случае нормализации уровня сахара в крови, снижения риска возможных осложнений.

Цели работы — разработка многоштаммового пробиотического функционального пищевого ингредиента в инкапсулированной форме, изучение устойчивости пробиотических микроорганизмов в составе кисломолочного продукта и влияния на его свойства для увеличения доли функциональных пищевых продуктов для профилактики СД2.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были выполнены в 2024 г., продукт вырабатывали по традиционной технологии в условиях лаборатории прикладной биотехнологии международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия» и факультета биотехнологий Университета ИТМО.

Объекты исследования — штаммы пробиотических микроорганизмов родов *Lactobacillus*, *Lactocaseibacillus* и *Bifidobacterium* в инкапсулированной форме как самостоятельный пищевой ингредиент и в составе кисломолочного продукта (йогурта).

При проведении исследований использовали штаммы микроорганизмов с подтвержденным пробиотическим действием: *Bifidobacterium bifidum* BF3 DSM 29040 (ООО «БиоВид», Россия); *Lactobacillus plantarum* 8P A3 — выделен из пробиотического препарата «Лактобактерин» (НПО «Митроген», Россия); *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG (ATCC 53103) — выделен из пробиотического препарата Culturelle health and wellness (i-Health, Inc., США).

При культивировании выбранных штаммов микроорганизмов была использована питательная среда МРС бульон (HiMedia Laboratories LLC, США), для подсчета количества колониеобразующих единиц (КОЕ) в состав МРС бульона вносили агар-агар (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия).

Для создания инкапсулированной формы полученного ингредиента в качестве материала матрицы капсул был использован низковязкий альгинат натрия (Shandong Jiejing Group Corporation, Китай), а в качестве раствора-отвердителя — лактат кальция (ООО «Промикс», Россия). Все растворы, участвующие в инкапсулировании пробиотических культур микроорганизмов, были стерильны и использовались в стерильных условиях.

В качестве обогащаемого кисломолочного продукта был принят йогурт, полученный из нормализованного коровьего молока с применением бактериальной закваски концентрированной лиофилизированной CBL-1, включающей

Streptococcus thermophilus и *Lactobacillus delbrückii subsp. Bulgaricus* (MARINO, Италия).

Для повышения функциональности продукта в качестве наполнителя использовали сухую функциональную комплексную смесь (СФКС) для кисломолочных продуктов, полученную в соответствии с патентом РФ 2702426С1¹ и состоящую из ингредиентов, разрешенных ТР ТС 029/2012², производя модификацию состава путем замены концентрата молочного белка на концентрат сывороточного белка.

СФКС представляет собой порошок измельченного жмыха ягод брусники и клюквы в равных количествах, предварительно высушенного при щадящих режимах и смешанного со стабилизирующими добавками — крахмалом холодного набухания и концентратом молочных белков. Комплексная смесь имеет рассыпчатую консистенцию (частицы не слипаются при сжатии). Свойственные данному виду ягод цвет, вкус и запах. Содержит не менее 18% пищевых волокон. Размер частиц — менее 500 мкм. В 100 г СФКС содержатся следующие компоненты: жмых ягод брусники — 20 г, жмых ягод клюквы — 20 г, крахмал холодного набухания — 30 г, концентрат молочного белка — 30 г.

Модификация состава смеси заключалась в замене концентрата молочных белков концентратом сывороточных белков (OSTROWIA, Польша), поскольку, как было отмечено, именно сывороточные белки проявляют инсулинотропные и сахароснижающие свойства [26, 27].

На первом этапе работы получали биомассу выбранных пробиотических штаммов бактерий и микрокапсулы пробиотических культур, исследовали их свойства и жизнеспособность клеток в процессе инкапсулирования.

Культивирование бактерий

Биомассу бактерий получали раздельным инкубированием штаммов в 300 мл МРС бульона в течение 24 ч. при 37 °С.

Получение суспензии клеток

Полученную биомассу концентрировали центрифугированием при 3900 об/мин в течение 10 мин. с использованием центрифуги 5810 R (Eppendorf, Германия), после чего надосадочную жидкость (питательную среду) сливали и дважды промывали клетки, добавляя 0,9%-ный раствор хлорида натрия (физраствор). После перемешивания на орбитальном шейкере или вручную до достижения полной однородности осадка клеток и физраствора центрифугировали при тех же параметрах.

Полученную биомассу каждого вида бактерий разбавляли 0,9%-ным раствором хлорида натрия до 30 мл. В результате получали 4 вида суспензии: 1 — с пробиотическими штаммами *Bifidobacterium bifidum* BF3 DSM 29040; 2 — с *Lactobacillus plantarum* 8P A3; 3 — с *Lactocaseibacillus rhamnosus*

¹ Патент 2729358С1 РФ МПК (51) А23С 9/123 (2020.02), А23С 9/13 (2020.02). Способ получения функционального кисломолочного продукта.

² Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств».

GG; 4 — с тремя видами штаммов в соотношении 1:1:1. От каждого вида суспензии брали 1 мл для посева на агаризованную МРС среду для подсчета изначального количества КОЕ/мл суспензии путем приготовления серии разведений и высевания 1 мл в чашки Петри, инкубировали 72 ч. при 37 °С, после чего проводили подсчет колоний.

Приготовление растворов для инкапсулирования

Инкапсулированную форму пробиотиков получали экструзионным методом с использованием альгината натрия и четырех видов суспензии пробиотических микроорганизмов. В качестве материала матрицы капсул готовили 1,5%-ный раствор низковязкого (180 мПа·с) альгината натрия путем смешивания навески альгината и дистиллированной воды при включенной магнитной мешалке до однородности и растворения всех комочков. Параллельно приготавливали раствор-отвердитель — 4%-ный раствор лактата кальция. Гелеобразование альгинатных микрокапсул основано на ионном обмене натрия на кальций.

Смешивание раствора матрицы с суспензией

Раствор альгината натрия смешивали с полученной на предыдущем этапе суспензией микроорганизмов в соотношении 9:1. Смесь перемешивали до однородности на магнитной мешалке, после чего гомогенизировали с использованием роторного диспергатора в следующем режиме: 5 мин. при 5000 об/мин, 5 мин. при 15000 об/мин. Затем раствор оставляли на 15–20 мин. при комнатной температуре для стабилизации с целью избавиться от образовавшихся после гомогенизации пузырьков воздуха. Этап гомогенизации особенно важен, так как после центрифугирования в суспензии присутствуют агломераты клеток, способные нарушить процесс инкапсулирования путем закупоривания отверстия форсунки.

Процесс инкапсулирования

Процесс проводили на инкапсуляторе В-390 (BUCHI, Швейцария) в соответствии с рекомендациями производителя. Процесс осуществлялся следующим образом: смесь альгината натрия с суспензией микроорганизмов под давлением подавалась в форсунку инкапсулятора, где ламинарный поток разбивался ультразвуковым частотником с образованием капель, которые затем попадали в раствор-отвердитель, находящийся в движении (использовалась магнитная мешалка). Параметры инкапсулирования следующие: частота вибрации — 1500 Гц, диаметр отверстия форсунки — 300 мкм, давление — 40 кПа. По завершении процесса инкапсулирования капсулы остаются в растворе-отвердителе при постоянном перемешивании в течение 20 мин., после чего отделяются от раствора с использованием фильтра с размером пор 0,18 мм, затем дважды промываются стерильной водой с целью удаления остатков раствора-отвердителя с поверхности капсул. Дают влаге стечь и измеряют массу полученных микрокапсул. Во время процесса работы с

пробиотическими штаммами микроорганизмов, в том числе при пробоподготовке, были соблюдены стерильные условия.

Определение эффективности инкапсулирования

Капсулы растворяли в 0,1 М растворе цитрата натрия в соотношении 1:9 при активном перемешивании до полного растворения. Далее готовили серийные разведения смеси и высевали по 1 мл в чашки Петри. Образцы инкубировали 72 ч. при 37 °С, после чего проводили подсчет колоний (КОЕ/мл). Эффективность инкапсулирования (ЭИ) высчитывали по формуле 1:

$$ЭИ(\%) = \frac{\log(N_1 \times m)}{\log(N_0 \times V)} \times 100, \quad (1)$$

где: ЭИ — эффективность инкапсулирования, %; N_1 — количество жизнеспособных клеток после инкапсулирования в 1 г микрокапсул, КОЕ/г; m — масса полученных микрокапсул, г; N_0 — количество жизнеспособных клеток в 1 мл исходной суспензии клеток, КОЕ/мл; V — объем суспензии, пошедшей на инкапсулирование, мл.

Определение размера полученных капсул

Морфологию частиц полученных капсул определяли методом микроскопии на световом оптическом микроскопе Axio lab A1 (Carl Zeiss Sports Optics, LLC, Германия) с использованием программного обеспечения ZEISS ZEN (Carl Zeiss Sports Optics, LLC, Германия) для измерения размера объектов.

Определение содержания воды

Содержание воды в полученных капсулах определяли термогравиметрическим методом с высушиванием до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 140 °С. Массовую долю влаги высчитывали по формуле 2:

$$X(\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100, \quad (2)$$

где: m — масса навески исследуемого образца, г; m_1 — масса навески исследуемого образца с бюксой до сушки, г; m_2 — масса навески исследуемого образца с бюксой после сушки, г.

Получение йогурта

Нормализованное молоко пастеризовали при температуре 90–92 °С с выдержкой 2–3 мин., охлаждали до 43–45 °С, вносили активированную закваску в количестве 5% от массы заквашиваемого молока и СФКС в количестве 5%. После сквашивания и тщательного перемешивания разливали в стерильные баночки и оставляли в термостате при температуре 37–39 °С для сквашивания.

Получение йогурта с инкапсулированными пробиотическими микроорганизмами

На втором этапе исследовали поведение комплексного пробиотика в инкапсулированной форме, полученного из суспензии с тремя видами штаммов в соотношении 1:1:1, в составе

кисломолочного продукта и его влияние на свойства продукта.

Физико-химические, микробиологические и органолептические показатели сырья и готового продукта определяли стандартизованными методами: титруемую кислотность — по ГОСТ Р 54669-2011³, ГОСТ 31976-2012⁴; активную кислотность — по ГОСТ 32892-2014⁵; массовую долю жира — по ГОСТ Р ИСО 2446-2011⁶; органолептические показатели — по ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011⁷, ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011⁸; количество молочно-кислых бактерий — по ГОСТ 33951-2016⁹; количество бифидобактерий — по ГОСТ 33924-2016¹⁰.

Выживаемость микроорганизмов в капсулах при хранении

Выживаемость выбранных пробиотических штаммов микроорганизмов в инкапсулированном виде проводилась в составе йогурта и в растворе HCl с соответствующим pH йогурта при хранении в течение 29 сут. при температуре 4 ± 1 °C. Каждые 7 сут. капсулы в стерильных условиях ламинарного бокса извлекали из растворов, осуществляли посев 1 г капсул из двух сред хранения на агаризованную МРС среду для подсчета КОЕ/г, инкубировали 72 ч. при 37 °C.

Определение динамической вязкости образцов йогурта

Динамическую вязкость образцов йогурта (контроль — йогурт без капсул и без наполнителя, образец 1 — йогурт с капсулами, образец 2 — йогурт с наполнителем, образец 3 — йогурт с капсулами и наполнителем) определяли с использованием ротационного вискозиметра Rheotest RN 4.1 (Rheotest Medingen GmbH, Германия) при следующих параметрах: температура — 4 °C, шпиндель — S1, градиент скорости сдвига — от 1 до 100 с⁻¹.

Определение влагоудерживающей способности образцов йогурта

Влагоудерживающую способность образцов йогурта определяли по количеству выделившейся сыворотки при центрифугировании 10 мл образца при 1000 об/мин в течение 30 мин., выраженному в процентах по отношению к первоначальному объему образца (метод ВНИМИ¹¹).

Органолептическая оценка йогуртов

Органолептическую оценку образцов продукта проводила комиссия в составе шести экспертов — сотрудников кафедры биотехнологии Национального исследовательского университета ИТМО, имеющих опыт подобной работы, путем балльной оценки соответствующих характеристик

Таблица 1. Числовая дискретная интервальная шкала, показывающая величину отклонения при оценке

Table 1. A numerical discrete interval scale that shows the magnitude of deviation in an estimate

Балл	Устное описание
5	Нет отклонения от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
4	Минимальное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
3	Заметное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
2	Значительное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам
1	Очень значительное отклонение от заранее установленных требований к органолептическим свойствам

продукта с использованием числовой дискретной интервальной шкалы (табл. 1), показывающей величину возможного отклонения от установленных заранее требований.

Комплексный показатель качества рассчитывали с учетом коэффициента весомости по формуле 3:

$$K = \sum (m_{oi} \times \frac{k_{oi}}{k_{oi}^{этр}}), \quad (3)$$

где: m_{oi} — коэффициент весомости каждого i -го показателя; k_{oi} — значения i -х показателей в группе свойств; $k_{oi}^{этр}$ — эталонные значения каждого i -го показателя.

За эталонное значение было принято значение в 5 баллов. Чем ближе получившееся значение комплексного показателя качества к единице, тем более качественным считается продукт — при результате выше 0,85 они являются отличными по качеству.

Все экспериментальные исследования проводились не менее чем в трехкратной повторности. Полученные значения подвергали статистической математической обработке с доверительной вероятностью $p = 0,95$ в пакетах Microsoft Excel (США) и GraphPad Prism (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе экспериментальных исследований были получены инкапсулированные формы трех видов пробиотических микроорганизмов: *Bifidobacterium bifidum* BF3 DSM 29040, *Lactobacillus plantarum* 8P A3 и *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG по схеме (рис. 1).

³ ГОСТ Р 54669-2011 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности.

⁴ ГОСТ 31976-2012 Йогурты и продукты йогуртные. Потенциометрический метод определения титруемой кислотности.

⁵ ГОСТ 32892-2014 Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности.

⁶ ГОСТ Р ИСО 2446-2011 Молоко. Метод определения содержания жира.

⁷ ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Ч. 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки.

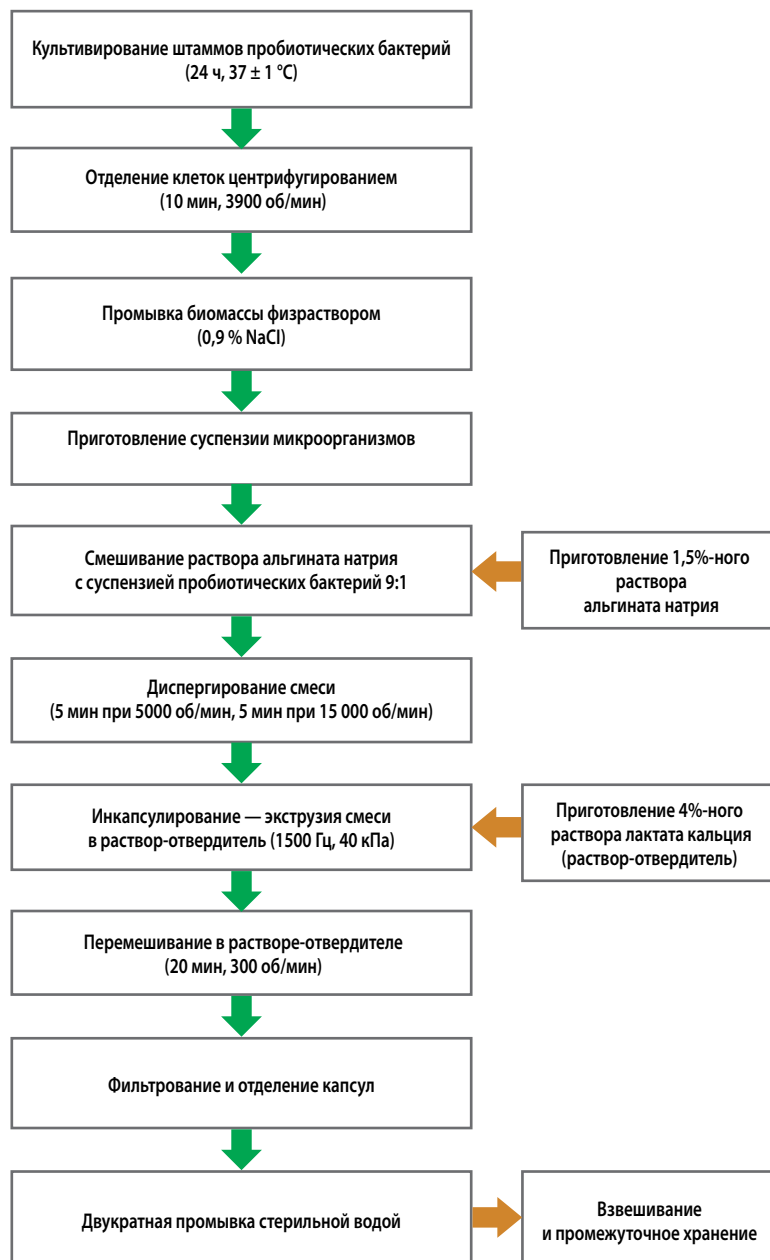
⁸ ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Ч. 3. Руководство по оценке соответствия техническим условиям на продукцию для определения органолептических свойств путем подсчета баллов.

⁹ ГОСТ 33951-2016 Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов.

¹⁰ ГОСТ 33924-2016 Молоко и молочная продукция. Методы определения бифидобактерий.

¹¹ Крус Г.Н., Шалыгина А.М., Волокитна З.В. Методы исследования молока и молочных продуктов / Под общ. ред. А.М. Шалыгиной. М.: Колос. 2000; 368.

Рис. 1. Схема получения микрокапсул
Fig. 1. Scheme for obtaining microcapsules

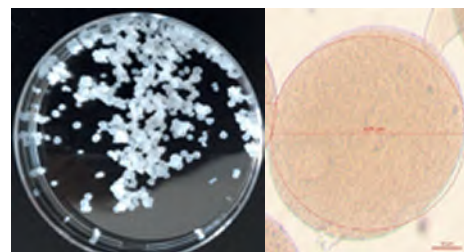


Морфологически полученные капсулы были белого цвета правильной (близкой к сферической) формы, с ровными краями. Средний диаметр капсул — 715 ± 80 мкм. Внешний вид полученных микрокапсул представлен на рисунке 2.

Далее определяли эффективность инкапсулирования для каждого штамма и для смеси трех

Рис. 2. Внешний вид инкапсулированного ингредиента с пробиотическими штаммами микроорганизмов (слева) и единичная капсула ингредиента с пробиотическими штаммами микроорганизмов (справа, увеличение 100х)

Fig. 2. Appearance of an encapsulated ingredient with probiotic strains of microorganisms (left) and a single capsule of an ingredient with probiotic strains of microorganisms (right, magnification 100x)



штаммов. Она составила более 90% (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют о высокой жизнеспособности бактерий при использовании этого метода инкапсулирования.

Содержание воды в капсулах со смесью штаммов пробиотиков составило $94,1 \pm 1,8\%$. Выход капсул с пробиотиками разных штаммов существенно не различался.

На втором этапе исследовали поведение комплексного пробиотика в инкапсулированной форме в составе йогурта и его влияние на свойства полученного продукта. Массовая доля жира в готовом продукте составила 2,5%. При достижении титруемой кислотности (85 ± 5) °Т добавляли при тщательном перемешивании в каждую баночку инкапсулированные штаммы пробиотических культур (3% от массы, образец микрокапсул с соотноше-

нием микроорганизмов 1:1:1) в стерильных условиях внутри ламинарного бокса. Затем охлаждали, анализировали и оставляли на хранение при температуре (4 ± 1) °С. Микрокапсулы вносили в количестве 3 г / 100 мл продукта, чтобы получить требуемое содержание пробиотиков в готовом продукте (не менее 10^6 КОЕ).

Таблица 2. Эффективность инкапсулирования штаммов пробиотических микроорганизмов

Table 2. Encapsulation efficiency of probiotic microorganism strains

Показатель	Штамм микроорганизмов			
	<i>L. plantarum</i> 8P-A3	<i>L. rhamnosus</i> GG	<i>Bifidobacterium</i> <i>bifidum</i> BF3 DSM 29040	Смесь трех штаммов (1:1:1 об.)
Биомасса бактерий до инкапсулирования, КОЕ/мл	$(2,65 \pm 0,09) \times 10^{10}$	$(8,72 \pm 0,15) \times 10^9$	$(1,30 \pm 0,11) \times 10^{10}$	$(1,14 \pm 0,21) \times 10^{10}$
Биомасса бактерий до инкапсулирования, log КОЕ/мл	$10,42 \pm 0,01$	$9,94 \pm 0,05$	$10,11 \pm 0,02$	$10,06 \pm 0,08$
Выход капсул, %	21	20	20	19,2
Биомасса бактерий после инкапсулирования, КОЕ/г	$(9,47 \pm 0,74) \times 10^8$	$(4,66 \pm 0,84) \times 10^8$	$(5,4 \pm 0,11) \times 10^9$	$(3,79 \pm 1,18) \times 10^9$
Биомасса бактерий после инкапсулирования, log КОЕ/г	$8,98 \pm 0,03$	$8,66 \pm 0,1$	$9,73 \pm 0,04$	$9,57 \pm 0,14$
Эффективность инкапсулирования, %	90,2	91,1	96,2	95,3

Выживаемость пробиотических штаммов микроорганизмов в капсулах в процессе хранения в йогурте и модельной среде, соответствующей pH йогурта (pH $4,55 \pm 0,02$), представлена на рисунке 3.

Выбор двух сред для хранения обоснован тем, что при хранении в йогурте микроорганизмы закваски могут оставаться в порах на поверхности капсул и таким образом влиять на результат — в сторону завышения КОЕ/г капсул. С другой стороны, хранение только в среде с определенным pH не дает полной картины того, как среда йогурта и содержащиеся в нем компоненты (белки, жиры, углеводы) влияют на капсулы и выживаемость микроорганизмов в них.

Содержание инкапсулированных микроорганизмов перед началом хранения составило $3,7 \times 10^9$ КОЕ/г. По истечении 29 сут. хранения в йогурте количество жизнеспособных микроорганизмов снизилось до $1,48 \times 10^9$ КОЕ/г, а в растворе модельной среде, соответствующей pH йогурта, — до $1,42 \times 10^9$ КОЕ/г.

Таким образом, жизнеспособность комплекса инкапсулированных микроорганизмов в течение 29 сут. при холодильном хранении изменялась в пределах одного порядка.

Для выявления влияния функционального пищевого ингредиента в инкапсулированной форме и СФКС на влагоудерживающую способность сгустков и структурно-механические показатели продукта анализировали следующие образцы йогурта: № 1 — контроль (без компонентов); № 2 — с добавлением микрокапсул; № 3 — с добавлением СФКС; № 4 — с добавлением микрокапсул и СФКС.

Согласно полученным данным (рис. 4), на влагоудерживающую способность образцов йогурта основное влияние оказывает внесение СФКС (кривые 3, 4), а влагоудерживающая способность образца, содержащего только капсулы, практически не отличается от контрольного (кривые 1, 2).

Меньше всего сыворотки отделилось у образца йогурта, содержащего в своем составе капсулы и СФКС $1 \pm 0,4$ %, а контрольный образец показал наибольшее отделение сыворотки, ее количество составило $14 \pm 0,7$ % к концу опыта.

Чтобы выяснить, как влияет добавление микрокапсул на вязкость продукта, экспериментальные образцы сравнивали с контрольным йогуртом.

На рисунках 5, 6 представлены графики зависимости вязкости образцов от градиента скорости сдвига.

Рис. 3. Количество жизнеспособных микроорганизмов в капсулах при хранении в йогурте и растворе с pH йогурта при температуре 4 ± 1 °C в течение 29 сут.

Fig. 3. Number of viable microorganisms in capsules when stored in yogurt and a solution with yogurt pH at a temperature of 4 ± 1 °C for 29 days

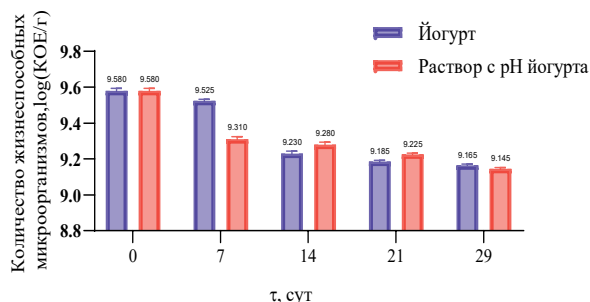


Рис. 4. Влагоудерживающая способность образцов

Fig. 4. Water holding capacity of samples

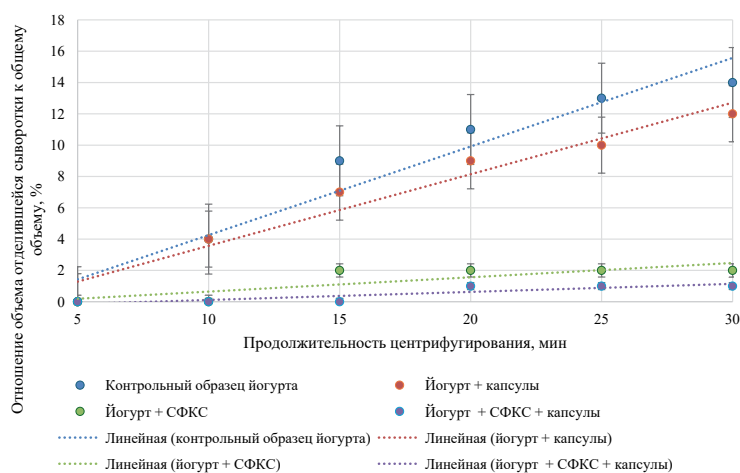
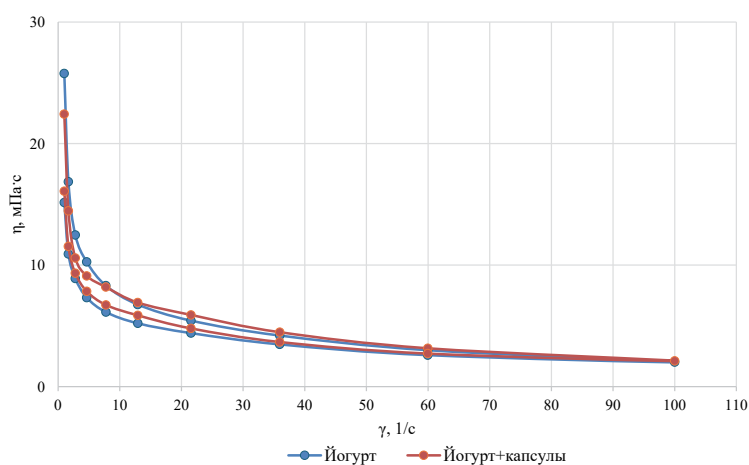


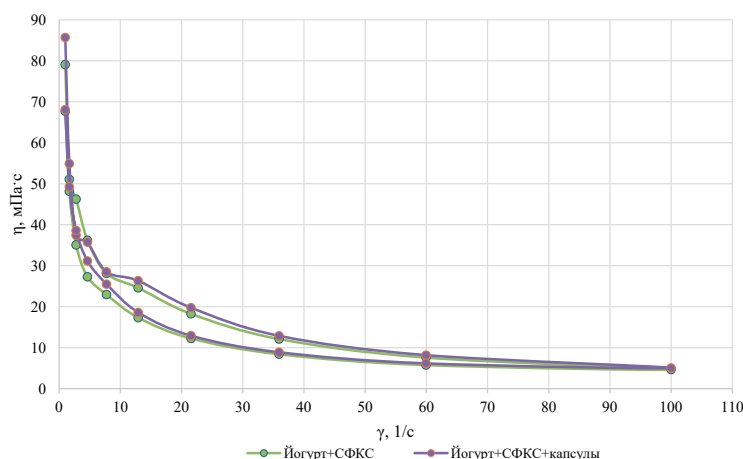
Рис. 5. Зависимость динамической вязкости образцов йогурта без наполнителя от градиента скорости сдвига, η (γ)

Fig. 5. Dependence of the dynamic viscosity of yogurt samples without filler on the shear rate gradient, η (γ)



Исследовали зависимость вязкости образцов йогурта от градиента скорости сдвига при его увеличении (нисходящая ветвь) и последующем уменьшении (восходящая ветвь кривых течения). Характер изменения вязкости аналогичен для всех образцов (рис. 5, 6).

Рис. 6. Зависимость динамической вязкости образцов йогурта с наполнителем от градиента скорости сдвига, η (γ)
Fig. 6. Dependence of the dynamic viscosity of yogurt samples with filler on the shear rate gradient, η (γ)



Наиболее интенсивное снижение показателя, связанное с разрушением пространственной структуры сгустка, наблюдается при увеличении градиента скорости сдвига до 25–30 1/с. На всех кривых отмечено присутствие петли гистерезиса, свидетельствующей о наличии тиксотропных свойств структуры, однако степень их выраженности, которая определяется площадью петли гистерезиса, выше в образцах, не содержащих СФКС (рис. 5).

Таблица 3. Требования к органолептическим показателям йогурта
Table 3. Requirements for organoleptic properties of yogurt

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид и консистенция	Однородная, с нарушенным сгустком (резервуарный способ производства), в меру вязкая, кремообразная с наличием включений нерастворимых частиц, характерных для внесенных компонентов
Вкус и запах	Чистые, кисломолочные, со вкусом и ароматом, обусловленными внесенными компонентами
Цвет	Розоватый, с вкраплениями нерастворимых частиц

Таблица 4. Сравнительная характеристика образцов йогурта по органолептическим показателям
Table 4. Comparative characteristics of yoghurt samples by organoleptic indicators

Эксперт	Образец йогурта								
	с добавлением капсул (1)			с СФКС без добавления капсул (2)			с СФКС и добавлением капсул (3)		
	внешний вид и консистенция	Вкус и запах	цвет*	внешний вид и консистенция	Вкус и запах	цвет	внешний вид и консистенция	Вкус и запах	цвет
1	4	5	5	4	5	5	4	5	5
2	4	5	5	4	5	5	5	5	5
3	4	4	5	4	5	5	4	4	5
4	4	5	5	5	4	5	5	5	5
5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
6	4	4	5	4	5	5	5	5	5
Среднее значение (k_{oi})	4	4,67	5	4,33	4,83	5	4,67	4,83	5
Коэффициент весомости (ω)	0,3	0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3	0,5	0,2
Комплексный показатель качества (K)	K = 0,907			K = 0,943			K = 0,963		

Примечание: * для данного образца цвет молочно-белый.

Добавление данного компонента, по всей вероятности, способствует образованию более прочных контактов между частицами дисперсной системы продукта, разрушающихся необратимо. Повышение содержания сухих веществ за счет СФКС приводит к увеличению начального значения вязкости в неразрушенной структуре.

Требования к основным органолептическим показателям продукта были сформулированы на основании ГОСТ 31981-2013 «Йогурты. Общие технические условия» с учетом состава продукта и представлены в таблице 3.

Для сравнительной оценки влияния капсул с пробиотиками на органолептические показатели продукта анализировали образец йогурта, полученный из нормализованного молока без добавления СФКС. В таблице 4 приведены результаты сравнительной оценки органолептических показателей исследованных образцов.

При оценке консистенции образца № 1 было отмечено наличие легкой песчаности, что, вероятно, может быть связано с размерами вносимых капсул.

Образцы, изготовленные с использованием СФКС (№ 2 без добавления капсул, № 3 с добавлением капсул), визуально практически не различались: имели розоватый цвет, чистый кисломолочный вкус и запах с легким ягодным оттенком, однородную кремообразную консистенцию с вкраплением мелких нерастворимых частиц жмыха ягод (комплексный показатель качества — 0,943 и 0,963 соответственно). Но при анализе образца № 2 большинство экспертов отмечали некоторый дискомфорт восприятия, связанный с наличием нерастворимых частиц жмыха.

Добавление альгинатных капсул (образец № 3) изменяет текстуру продукта в лучшую сторону и снижает отрицательное влияние нерастворимых частиц наполнителя на вкусовые рецепторы, при этом песчаность не ощущалась.

Выводы/Conclusions

Представлен способ получения функционального пищевого ингредиента в инкапсулированной форме, содержащего штаммы пробиотических микроорганизмов *Bifidobacterium bifidum* BF3 DSM 29040, *Lactobacillus plantarum* 8P A3 и *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG в количестве не менее 10^9 КОЕ/г и полученного методом экструзии с альгинатом натрия в качестве материала матрицы и лактатом кальция в качестве раствора отвердителя. Эффективность процесса инкапсулирования составляла от 90 до 96%, что свидетельствует о высокой выживаемости микроорганизмов и приемлемости выбранного метода инкапсулирования.

Микрокапсулы имели правильную форму, близкую к сферической, средний диаметр — 715 ± 80 мкм.

Показано, что инкапсулированные пробиотики не оказывают существенного влияния на влагоудерживающую способность и динамическую вязкость продукта.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-16-00243 «Разработка биоактивного функционального пищевого ингредиента на основе арахидоновой кислоты и пробиотических штаммов лактобактерий для профилактики сахарного диабета 2-го типа».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mozaffarian D. Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity: A Comprehensive Review. *Circulation*. 2016; 133(2): 187–225. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585>
2. Олескин А.В., Шендеров Б.А. Пробиотики, психобиотики и метабиотики: проблемы и перспективы. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020; 2(3): 233–243. <https://doi.org/10.36425/rehab25811>
3. Кипрушкина Е.И. и др. Значение фактора питания в формировании кишечного микробиома. *Вестник Международной академии холода*. 2020; (2): 52–59. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-2-52-59>
4. Malesza I.J. et al. High-Fat, Western-Style Diet, Systemic Inflammation, and Gut Microbiota: A Narrative Review. *Cells*. 2021; 10(11): 3164. <https://doi.org/10.3390/cells10113164>
5. Erion K.A., Corkey B.E. Hyperinsulinemia: a Cause of Obesity?. *Current Obesity Reports*. 2017; 6(2): 178–186. <https://doi.org/10.1007/s13679-017-0261-z>
6. Драпкина О.М., Корнеева О.Н. Кишечная микробиота и ожирение. Патогенетические взаимосвязи и пути нормализации кишечной микрофлоры. *Терапевтический архив*. 2016; 88(9): 135–142. <https://doi.org/10.17116/terarkh2016889135-142>

Несколько иная картина наблюдается при оценке органолептических показателей: добавление капсул в традиционный йогурт приводит к появлению песчанистой консистенции, которую можно нивелировать за счет внесения дополнительного обогащающего компонента — сухой функциональной комплексной смеси.

Результаты исследования жизнеспособности инкапсулированных микроорганизмов в йогурте и модельной среде в процессе хранения позволяют констатировать их высокую выживаемость: за период хранения образцов в течение 29 сут. количество микроорганизмов снизилось с $3,7 \times 10^9$ КОЕ/г до $1,48 \times 10^9$ КОЕ/г в йогурте и до $1,42 \times 10^9$ КОЕ/г в модельной среде. Использование микроинкапсулированной формы пробиотических микроорганизмов позволило добиться в йогурте сохранения их в жизнеспособном состоянии и обеспечения высоких органолептических показателей качества продукта на протяжении 29 сут.

В соответствии с обозначенной целью разработанный функциональный пищевой ингредиент в виде комплекса инкапсулированных пробиотических микроорганизмов может быть рекомендован к использованию при производстве кисломолочных продуктов для нутритивной профилактики СД2 при проведении дополнительных исследований.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. 23-16-00243 “Development of a bioactive functional food ingredient based on arachidonic acid and probiotic strains of lactobacilli for the prevention of type 2 diabetes mellitus”.

REFERENCES

1. Mozaffarian D. Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity: A Comprehensive Review. *Circulation*. 2016; 133(2): 187–225. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585>
2. Oleskin A.V., Shenderov B.A. Probiotics, psychobiotics and metabiotics: problems and prospects. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020; 2(3): 233–243 (in Russian). <https://doi.org/10.36425/rehab25811>
3. Kiprushkina E.I. et al. The importance of nutrition in the forming of intestinal microbiome. *Journal International Academy of Refrigeration*. 2020; (2): 52–59 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-2-52-59>
4. Malesza I.J. et al. High-Fat, Western-Style Diet, Systemic Inflammation, and Gut Microbiota: A Narrative Review. *Cells*. 2021; 10(11): 3164. <https://doi.org/10.3390/cells10113164>
5. Erion K.A., Corkey B.E. Hyperinsulinemia: a Cause of Obesity?. *Current Obesity Reports*. 2017; 6(2): 178–186. <https://doi.org/10.1007/s13679-017-0261-z>
6. Drapkina O.M., Korneeva O.N. Gut microbiota and obesity: Pathogenetic relationships and ways to normalize the intestinal microflora. *Therapeutic archive*. 2016; 88(9): 135–142 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/terarkh2016889135-142>

7. Adeshirlarijaney A., Gewirtz A.T. Considering gut microbiota in treatment of type 2 diabetes mellitus. *Gut Microbes*. 2020; 11(3): 253–264.
<https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1717719>
8. Razmpoosh E., Javadi M., Ejtahed H.-S., Mirmiran P. Probiotics as beneficial agents in the management of diabetes mellitus: a systematic review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*. 2016; 32(2): 143–168.
<https://doi.org/10.1002/dmrr.2665>
9. Похиленко В.Д., Дунайцев Т.А., Калмантаев Т.А., Левчук В.П., Сомов А.Н., Чукина И.А. Разработка способа капсулирования симбиотических бактерий. *Бактериология*. 2023; 8(3): 16–25.
<https://www.elibrary.ru/btgihk>
10. Tabuchi M. *et al.* Antidiabetic Effect of *Lactobacillus* GG in Streptozotocin-induced Diabetic Rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2003; 67(6): 1421–1424.
<https://doi.org/10.1271/bbb.67.1421>
11. Li X. *et al.* Effects of *Lactobacillus plantarum* CCFM0236 on hyperglycaemia and insulin resistance in high-fat and streptozotocin-induced type 2 diabetic mice. *Journal of Applied Microbiology*. 2016; 121(6): 1727–1736.
<https://doi.org/10.1111/jam.13276>
12. Honda K., Moto M., Uchida N., He F., Hashizume N. Anti-diabetic effects of lactic acid bacteria in normal and type 2 diabetic mice. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 2012; 51(2): 96–101.
<https://doi.org/10.3164/jcbrn.11-07>
13. Chen P. *et al.* Antidiabetic effect of *Lactobacillus casei* CCFM0412 on mice with type 2 diabetes induced by a high-fat diet and streptozotocin. *Nutrition*. 2014; 30(9): 1061–1068.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.03.022>
14. Yun S.I., Park H.O., Kang J.H. Effect of *Lactobacillus gasseri* BNR17 on blood glucose levels and body weight in a mouse model of type 2 diabetes. *Journal of Applied Microbiology*. 2009; 107(5): 1681–1686.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04350.x>
15. Andreasen A.S. *et al.* Effects of *Lactobacillus acidophilus* NCFM on insulin sensitivity and the systemic inflammatory response in human subjects. *British Journal of Nutrition*. 2010; 104(12): 1831–1838.
<https://doi.org/10.1017/S0007114510002874>
16. Yadav H., Jain S., Sinha P.R. Oral administration of dahi containing probiotic *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* delayed the progression of streptozotocin-induced diabetes in rats. *Journal of Dairy Research*. 2008; 75(2): 189–195.
<https://doi.org/10.1017/S0022029908003129>
17. Yadav H., Jain S., Sinha P.R. Antidiabetic effect of probiotic dahi containing *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* in high fructose fed rats. *Nutrition*. 2007; 23(1): 62–68.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2006.09.002>
18. Cani P.D., Joly E., Horsmans Y., Delzenne N.M. Oligofructose promotes satiety in healthy human: a pilot study. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2006; 60(5): 567–572.
<https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602350>
19. Cani P.D. *et al.* Gut microbiota fermentation of prebiotics increases satietogenic and incretin gut peptide production with consequences for appetite sensation and glucose response after a meal. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2009; 90(5): 1236–1243.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28095>
20. Parnell J.A., Reimer R.A. Weight loss during oligofructose supplementation is associated with decreased ghrelin and increased peptide YY in overweight and obese adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2009; 89(6): 1751–1759.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27465>
7. Adeshirlarijaney A., Gewirtz A.T. Considering gut microbiota in treatment of type 2 diabetes mellitus. *Gut Microbes*. 2020; 11(3): 253–264.
<https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1717719>
8. Razmpoosh E., Javadi M., Ejtahed H.-S., Mirmiran P. Probiotics as beneficial agents in the management of diabetes mellitus: a systematic review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*. 2016; 32(2): 143–168.
<https://doi.org/10.1002/dmrr.2665>
9. Pokhilenko V.D., Dunaytsev I.A., Kalmantaev T.A., Levchuk V.P., Somov A.N., Chukina I.A. Development of a method for symbiotic bacteria encapsulation. *Bacteriology*. 2023; 8(3): 16–25 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/btgihk>
10. Tabuchi M. *et al.* Antidiabetic Effect of *Lactobacillus* GG in Streptozotocin-induced Diabetic Rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2003; 67(6): 1421–1424.
<https://doi.org/10.1271/bbb.67.1421>
11. Li X. *et al.* Effects of *Lactobacillus plantarum* CCFM0236 on hyperglycaemia and insulin resistance in high-fat and streptozotocin-induced type 2 diabetic mice. *Journal of Applied Microbiology*. 2016; 121(6): 1727–1736.
<https://doi.org/10.1111/jam.13276>
12. Honda K., Moto M., Uchida N., He F., Hashizume N. Anti-diabetic effects of lactic acid bacteria in normal and type 2 diabetic mice. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 2012; 51(2): 96–101.
<https://doi.org/10.3164/jcbrn.11-07>
13. Chen P. *et al.* Antidiabetic effect of *Lactobacillus casei* CCFM0412 on mice with type 2 diabetes induced by a high-fat diet and streptozotocin. *Nutrition*. 2014; 30(9): 1061–1068.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.03.022>
14. Yun S.I., Park H.O., Kang J.H. Effect of *Lactobacillus gasseri* BNR17 on blood glucose levels and body weight in a mouse model of type 2 diabetes. *Journal of Applied Microbiology*. 2009; 107(5): 1681–1686.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04350.x>
15. Andreasen A.S. *et al.* Effects of *Lactobacillus acidophilus* NCFM on insulin sensitivity and the systemic inflammatory response in human subjects. *British Journal of Nutrition*. 2010; 104(12): 1831–1838.
<https://doi.org/10.1017/S0007114510002874>
16. Yadav H., Jain S., Sinha P.R. Oral administration of dahi containing probiotic *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* delayed the progression of streptozotocin-induced diabetes in rats. *Journal of Dairy Research*. 2008; 75(2): 189–195.
<https://doi.org/10.1017/S0022029908003129>
17. Yadav H., Jain S., Sinha P.R. Antidiabetic effect of probiotic dahi containing *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* in high fructose fed rats. *Nutrition*. 2007; 23(1): 62–68.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2006.09.002>
18. Cani P.D., Joly E., Horsmans Y., Delzenne N.M. Oligofructose promotes satiety in healthy human: a pilot study. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2006; 60(5): 567–572.
<https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602350>
19. Cani P.D. *et al.* Gut microbiota fermentation of prebiotics increases satietogenic and incretin gut peptide production with consequences for appetite sensation and glucose response after a meal. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2009; 90(5): 1236–1243.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28095>
20. Parnell J.A., Reimer R.A. Weight loss during oligofructose supplementation is associated with decreased ghrelin and increased peptide YY in overweight and obese adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2009; 89(6): 1751–1759.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27465>

21. Clarke G., Stilling R.M., Kennedy P.J., Stanton C., Cryan J.F., Dinanl T.G. Minireview: Gut Microbiota: The Neglected Endocrine Organ. *Molecular Endocrinology*. 2014; 28(8): 1221–1238. <https://doi.org/10.1210/me.2014-1108>
22. Cani P.D., Knauf C., Iglesias M.A., Drucker D.J., Delzenne N.M., Burcelin R. Improvement of Glucose Tolerance and Hepatic Insulin Sensitivity by Oligofructose Requires a Functional Glucagon-Like Peptide 1 Receptor. *Diabetes*. 2006; 55(5): 1484–1490. <https://doi.org/10.2337/db05-1360>
23. Cani P.D. *et al.* Changes in gut microbiota control inflammation in obese mice through a mechanism involving GLP-2-driven improvement of gut permeability. *Gut*. 2009; 58(8): 1091–1103. <https://doi.org/10.1136/gut.2008.165886>
24. Молибога Е.А., Сухостав Е.В., Козлова О.А., Зинич А.В. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект. *Техника и технология пищевых производств*. 2022; 52(4): 775–786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
25. Dahiya D.K. *et al.* Gut Microbiota Modulation and Its Relationship with Obesity Using Prebiotic Fibers and Probiotics: A Review. *Frontiers in Microbiology*. 2017; 8: 563. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00563>
26. Jakubowicz D., Froy O. Biochemical and metabolic mechanisms by which dietary whey protein may combat obesity and Type 2 diabetes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2013; 24(1): 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2012.07.008>
27. Агаркова Е.Ю., Рязанцева К.А., Кручинин А.Г. Противодиабетическая активность белков молочной сыворотки. *Техника и технология пищевых производств*. 2020; 50(2): 306–318. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-306-318>
28. Akhavan T., Luhovyy B.L., Brown P.H., Cho C.E., Anderson G.H. Effect of premeal consumption of whey protein and its hydrolysate on food intake and postmeal glycemia and insulin responses in young adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2010; 91(4): 966–975. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28406>
29. Ziai S.A. *et al.* Psyllium decreased serum glucose and glycosylated hemoglobin significantly in diabetic outpatients. *Journal of Ethnopharmacology*. 2005; 102(2): 202–207. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.06.042>
30. Tosh S.M. Effects of Oats on Carbohydrate Metabolism. Chu Y. (ed.). *Oats Nutrition and Technology*. Wiley. 2013; 281–297. <https://doi.org/10.1002/9781118354100.ch13>
31. Wolever T.M.S. *et al.* Physicochemical properties of oat β -glucan influence its ability to reduce serum LDL cholesterol in humans: a randomized clinical trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2010; 92(4): 723–732. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29174>
32. Nakamura Y., Yamamoto N., Sakai K., Takano T. Antihypertensive Effect of Sour Milk and Peptides Isolated from It That are Inhibitors to Angiotensin I-Converting Enzyme. *Journal of Dairy Science*. 1995; 78(6): 1253–1257. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76745-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76745-5)
33. Дармов И.В., Чичерин И.Ю., Погорельский И.П., Лундовских И.А., Дурнев Е.А. Выживаемость микроорганизмов пробиотиков в желудочно-кишечном тракте экспериментальных животных. *Журнал инфектологии*. 2012; 4(1): 68–74. <https://www.elibrary.ru/nkctcyz>
34. Дармов И.В., Чичерин И.Ю., Ердякова А.С., Погорельский И.П., Лундовских И.А. Сравнительная оценка выживаемости микроорганизмов пробиотиков в составе коммерческих препаратов в условиях *in vitro*. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2011; (9): 96–101. <https://www.elibrary.ru/tbzesh>
21. Clarke G., Stilling R.M., Kennedy P.J., Stanton C., Cryan J.F., Dinanl T.G. Minireview: Gut Microbiota: The Neglected Endocrine Organ. *Molecular Endocrinology*. 2014; 28(8): 1221–1238. <https://doi.org/10.1210/me.2014-1108>
22. Cani P.D., Knauf C., Iglesias M.A., Drucker D.J., Delzenne N.M., Burcelin R. Improvement of Glucose Tolerance and Hepatic Insulin Sensitivity by Oligofructose Requires a Functional Glucagon-Like Peptide 1 Receptor. *Diabetes*. 2006; 55(5): 1484–1490. <https://doi.org/10.2337/db05-1360>
23. Cani P.D. *et al.* Changes in gut microbiota control inflammation in obese mice through a mechanism involving GLP-2-driven improvement of gut permeability. *Gut*. 2009; 58(8): 1091–1103. <https://doi.org/10.1136/gut.2008.165886>
24. Moliboga E.A., Sukhostav E.V., Kozlova O.A., Zinich A.V. Functional Food Market Analysis: Russian and International Aspects. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52(4): 775–786 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
25. Dahiya D.K. *et al.* Gut Microbiota Modulation and Its Relationship with Obesity Using Prebiotic Fibers and Probiotics: A Review. *Frontiers in Microbiology*. 2017; 8: 563. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00563>
26. Jakubowicz D., Froy O. Biochemical and metabolic mechanisms by which dietary whey protein may combat obesity and Type 2 diabetes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2013; 24(1): 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2012.07.008>
27. Agarkova E.Yu., Ryazantseva K.A., Kruchinin A.G. Anti-Diabetic Activity of Whey Proteins. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020; 50(2): 306–318 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-306-318>
28. Akhavan T., Luhovyy B.L., Brown P.H., Cho C.E., Anderson G.H. Effect of premeal consumption of whey protein and its hydrolysate on food intake and postmeal glycemia and insulin responses in young adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2010; 91(4): 966–975. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28406>
29. Ziai S.A. *et al.* Psyllium decreased serum glucose and glycosylated hemoglobin significantly in diabetic outpatients. *Journal of Ethnopharmacology*. 2005; 102(2): 202–207. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.06.042>
30. Tosh S.M. Effects of Oats on Carbohydrate Metabolism. Chu Y. (ed.). *Oats Nutrition and Technology*. Wiley. 2013; 281–297. <https://doi.org/10.1002/9781118354100.ch13>
31. Wolever T.M.S. *et al.* Physicochemical properties of oat β -glucan influence its ability to reduce serum LDL cholesterol in humans: a randomized clinical trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2010; 92(4): 723–732. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29174>
32. Nakamura Y., Yamamoto N., Sakai K., Takano T. Antihypertensive Effect of Sour Milk and Peptides Isolated from It That are Inhibitors to Angiotensin I-Converting Enzyme. *Journal of Dairy Science*. 1995; 78(6): 1253–1257. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76745-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76745-5)
33. Darmov I.V., Chicherin I.Yu., Pogorelsky I.P., Lundovskikh I.A., Durnev E.A. Survival of probiotic microorganisms in the gastrointestinal tract of experimental animals. *Journal Infectology*. 2012; 4(1): 68–74 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/nkctcyz>
34. Darmov I.V., Chicherin I.Yu., Erdyakova A.S., Pogorelsky I.P., Lundovskikh I.A. Comparative assessment of survival of probiotic microorganisms from commercial preparations under the conditions *in vitro*. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2011; (9): 96–101 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tbzesh>

35. Chávarri M., Marañón I., Ares R., Ibáñez F.C., Marzo F., Villarán M.d.C. Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions. *International journal of Food Microbiology*. 2010; 142(1–2): 185–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.022>
36. Вобликова Т.В. Жизнеспособность иммобилизованной микрокапсулированием культуры *Bifidobacterium bifidum* в кисломолочном напитке и смоделированных желудочно-кишечных жидкостях. *Вестник МГТУ*. 2019; 22(3): 305–313. <https://www.elibrary.ru/eqzpb0>
37. Гапонова И.И., Щетко В.А., Романова Л.В. Изучение выживаемости микрокапсулированных микроорганизмов *Lactobacillus fermentum* при воздействии неблагоприятных факторов окружающей среды. *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты*. Минск: Белорусская наука. 2021; 13: 32–41. <https://doi.org/10.47612/2226-3136-2021-13-32-41>
38. 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): 42–47. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2022-21-2-42-47>
39. Bakry A.M. et al. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016; 15(1): 143–182. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>
40. Misra S., Pandey P., Dalbhatag C.G., Mishra H.N. Emerging Technologies and Coating Materials for Improved Probiotic in Food Products: a Review. *Food and Bioprocess Technology*. 2022; 15(5): 998–1039. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02753-5>
41. Zhu Y., Wang Z., Bai L., Deng J., Zhou Q. Biomaterial-based encapsulated probiotics for biomedical applications: Current status and future perspectives. *Materials & Design*. 2021; 210: 110018. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110018>
42. Nazzaro F., Orlando P., Fratianni F., Coppola R. Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*. 2012; 23(2): 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.001>
43. Yeung T.W., Üçok E.F., Tiani K.A., McClements D.J., Sela D.A. Microencapsulation in Alginate and Chitosan Microgels to Enhance Viability of *Bifidobacterium longum* for Oral Delivery. *Frontiers in Microbiology*. 2016; 7: 494. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00494>
44. Mohammad N.A., Zaidel D.N.A., Muhamad I.I., Hamid M.A., Yaakob H., Jusoh Y.M.M. Biopolymeric encapsulation of probiotics for improved release properties in the gastrointestinal digestion system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 778: 012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012033>
45. Cook M.T., Tzortzis G., Charalampopoulos D., Khutoryansky V.V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. *Journal of Controlled Release*. 2012; 162(1): 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2012.06.003>
46. Свентицкий Е.Н., Торопов Д.К., Егорова Т.С. Получение микрокапсулированной формы симбиотического комплекса пробиотиков *Lactobacillus helveticus* с использованием альгината и хитозана. *Биотехнология*. 2020; 36(2): 56–63. <https://www.elibrary.ru/njoobs>
47. Сомов А.Н., Похиленко В.Д., Дунайцев И.А., Клыкова М.В., Чукина И.А. Капсулированные в альгинат пробиотики: получение и некоторые свойства. *Биотехнология*. 2022; 38(5): 44–52. <https://doi.org/10.56304/S0234275822050131>
35. Chávarri M., Marañón I., Ares R., Ibáñez F.C., Marzo F., Villarán M.d.C. Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions. *International journal of Food Microbiology*. 2010; 142(1–2): 185–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.022>
36. Voblikova T.V. Viability of the culture of *Bifidobacterium bifidum* immobilized by microencapsulation in dairy drink and the simulated gastrointestinal liquids. *Vestnik MSTU*. 2019; 22(3): 305–313 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/eqzpb0>
37. Haponava I.I., Shchetko V.A., Romanova L.V. Study of the survival of lactobacillus fermentum microcapsulated microorganisms under exposure to adverse environmental factors. *Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects*. Minsk: Belorusskaya nauka. 2021; 13: 32–41 (in Russian). <https://doi.org/10.47612/2226-3136-2021-13-32-41>
38. 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 International Academy of Refrigeration*. 2022; (2): 42–47 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2022-21-2-42-47>
39. Bakry A.M. et al. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016; 15(1): 143–182. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>
40. Misra S., Pandey P., Dalbhatag C.G., Mishra H.N. Emerging Technologies and Coating Materials for Improved Probiotic in Food Products: a Review. *Food and Bioprocess Technology*. 2022; 15(5): 998–1039. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02753-5>
41. Zhu Y., Wang Z., Bai L., Deng J., Zhou Q. Biomaterial-based encapsulated probiotics for biomedical applications: Current status and future perspectives. *Materials & Design*. 2021; 210: 110018. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110018>
42. Nazzaro F., Orlando P., Fratianni F., Coppola R. Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*. 2012; 23(2): 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.001>
43. Yeung T.W., Üçok E.F., Tiani K.A., McClements D.J., Sela D.A. Microencapsulation in Alginate and Chitosan Microgels to Enhance Viability of *Bifidobacterium longum* for Oral Delivery. *Frontiers in Microbiology*. 2016; 7: 494. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00494>
44. Mohammad N.A., Zaidel D.N.A., Muhamad I.I., Hamid M.A., Yaakob H., Jusoh Y.M.M. Biopolymeric encapsulation of probiotics for improved release properties in the gastrointestinal digestion system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 778: 012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012033>
45. Cook M.T., Tzortzis G., Charalampopoulos D., Khutoryansky V.V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. *Journal of Controlled Release*. 2012; 162(1): 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2012.06.003>
46. Sventitsky E.N., Toropov D.K., Egorova T.S. Preparation of microencapsulated symbiotic complex of probiotics based on *Lactobacillus helveticus* using alginate and chitosan. *Biotechnology*. 2020; 36(2): 56–63 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/njoobs>
47. Somov A.N., Pokhilenko V.D., Dunaytsev I.A., Klykova M.V., Chukina I.A. Alginate-encapsulated probiotics: preparation and some properties. *Biotechnology*. 2022; 38(5): 44–52 (in Russian). <https://doi.org/10.56304/S0234275822050131>

48. Петухова Е.В., Крыницкая А.Ю. Перспективность использования микрокапсулированных пробиотических культур в пищевой промышленности. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014; 17(22): 257–260. <https://www.elibrary.ru/talngz>

49. Araújo N.G., Barbosa I.M., Lima T.L.S., Moreira R.T., Cardarelli H.R. Development and characterization of lactose-free probiotic goat milk beverage with bioactive rich jambo pulp. *Journal of Food Science and Technology*. 2022; 59(10): 3806–3818. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05399-z>

ОБ АВТОРАХ

Людмила Александровна Забодалова

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник факультета биотехнологий
lzabodalova@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2324-8311>

Виктория Сергеевна Ильина

кандидат технических наук, младший научный сотрудник факультета биотехнологий
victoria.ilina@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6909-6819>

Никита Тютков

инженер, аспирант факультета биотехнологий
nikita_tytkov@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7394-7524>

Елена Игоревна Лемешонок

инженер, аспирант факультета биотехнологий
lemeshonok@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5220-5575>

Пабло Багнон Ричард Анж Аллох

аспирант факультета биотехнологий
pabloalloh@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4954-9470>

Кирилл Алексеевич Бабинцев

аспирант факультета биотехнологий
kirik.bv@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2416-052X>

Денис Александрович Бараненко

кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий
denis.baranenko@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

Университет ИТМО,
ул. Ломоносова, 9, Санкт-Петербург, 191002, Россия

48. Petukhova E.V., Krynitskaya A.Yu. Prospects of using microencapsulated probiotic cultures in the food industry. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014; 17(22): 257–260 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/talngz>

49. Araújo N.G., Barbosa I.M., Lima T.L.S., Moreira R.T., Cardarelli H.R. Development and characterization of lactose-free probiotic goat milk beverage with bioactive rich jambo pulp. *Journal of Food Science and Technology*. 2022; 59(10): 3806–3818. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05399-z>

ABOUT THE AUTHORS

Ludmila Aleksandrovna Zabodalova

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Faculty of Biotechnology
lzabodalova@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2324-8311>

Victoria Sergeevna Ilyina

Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher at the Faculty of Biotechnology
victoria.ilina@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6909-6819>

Nikita Tyutkov

Engineer, Postgraduate Student at the Faculty of Biotechnology
nikita_tytkov@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7394-7524>

Elena Igorevna Lemeshonok

Engineer, Postgraduate Student at the Faculty of Biotechnology
lemeshonok@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5220-5575>

Pablo Bagnon Richard Ange Alloh

Postgraduate Student at the Faculty of Biotechnology
pabloalloh@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4954-9470>

Kirill Alekseevich Babintsev

Postgraduate Student at the Faculty of Biotechnology
kirik.bv@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2416-052X>

Denis Aleksandrovich Baranenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Faculty of Biotechnology
denis.baranenko@itmo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

ITMO University
9 Lomonosova Str., Saint Petersburg, 191002, Russia