

**БИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ/BIOTECHNOLOGY OF FOOD AND BIOLOGICAL ACTIVE SUBSTANCES**DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.82> EDN: QAWGEN**ВЛИЯНИЕ СИНБИОТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ В-ГЛЮКАНА *PLEUROTUS OSTREATUS* И
LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS В АЛЬГИНАТНОЙ МАТРИЦЕ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ,
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЙОГУРТА**

Научная статья

Дозорцева А.К.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0004-7986-5687;¹ Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург,
Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (adozorceva[at]rambler.ru)

Предложена: 12.05.2026; Принята: 30.06.2026; Опубликовано: 17.08.2026

Аннотация

Проблема сохранения жизнеспособности пробиотических микроорганизмов в процессе технологической обработки и холодильного хранения ферментированных молочных продуктов является актуальной для пищевой биотехнологии. Одним из перспективных подходов к её решению является инкапсулирование пробиотиков в гидрогелевые матрицы, модифицированные пребиотическими полисахаридами. В настоящей работе исследовано влияние синбиотического комплекса, представляющего собой альгинатные капсулы, содержащие β -глюкан, выделенный из вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*), и штамм *Lactobacillus acidophilus*, на качественные характеристики йогурта в процессе холодильного хранения. Образцы йогурта трёх типов — контрольный (без добавок), с пустыми альгинатными капсулами и с синбиотическими капсулами — сравнивали по динамике кислотности, синерезису, вязкости, а также по органолептическим показателям. Установлено, что внесение синбиотических капсул снижает постацидификацию (титруемая кислотность на 14-е сутки на 14,1 °Т ниже контроля), уменьшает синерезис в 1,9 раза (с 24,0% до 12,9%) и повышает кажущуюся вязкость на 23,6% (с 2280 до 2819 мПа·с) по сравнению с контрольным образцом.

В процессе 14-суточного холодильного хранения концентрация жизнеспособных клеток *L. acidophilus* снизилась с $8,9 \times 10^7$ до $2,6 \times 10^7$ КОЕ/г (снижение на 0,54 log). Конечный титр превышает терапевтический минимум FAO/WHO в 2,6–26 раз, что подтверждает стабильность разработанной синбиотической системы в течение всего срока годности продукта. По результатам сенсорной оценки образец с синбиотическим комплексом получил наивысшие баллы по вкусу, послевкусию и общей приемлемости, а большинство дегустаторов назвали его лучшим. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанный синбиотический комплекс улучшает структурно-механические и органолептические свойства йогурта, что открывает перспективы для создания функциональных кисломолочных продуктов с улучшенными потребительскими характеристиками.

Ключевые слова: синбиотическая капсула, грибной полисахарид, вешенка обыкновенная, структурно-механические свойства, постацидификация, обогащённый йогурт.

**THE INFLUENCE OF A SYNBIOOTIC COMPLEX BASED ON *PLEUROTUS OSTREATUS* B-GLUCAN AND
LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS IN AN ALGINATE MATRIX ON THE PHYSICO-CHEMICAL, RHEOLOGICAL
AND ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF YOGHURT**

Research article

Dozortseva A.K.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0004-7986-5687;¹ St. Petersburg State Institute of Technology, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (adozorceva[at]rambler.ru)

Suggested: 12.05.2026; Accepted: 30.06.2026; Published: 17.08.2026

Abstract

The issue of maintaining the viability of probiotic microorganisms during the processing and cold storage of fermented milk products is a pressing concern in food biotechnology. One promising approach to addressing this issue is the encapsulation of probiotics in hydrogel matrices modified with prebiotic polysaccharides. This work examines the effect of a synbiotic complex, consisting of alginate capsules containing β -glucan isolated from oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) and a strain of *Lactobacillus acidophilus*, on the quality characteristics of yoghurt during cold storage. Three types of yoghurt samples — a control (without additives), one with empty alginate capsules and one with synbiotic capsules — were compared in terms of changes in acidity, syneresis, viscosity and organoleptic parameters. It was found that the addition of synbiotic capsules reduces post-acidification (titratable acidity on the 14th day by 14.1 °T below the control), reduces syneresis by a factor of 1.9 (from 24.0% to 12.9%) and increases apparent viscosity by 23.6% (from 2280 to 2819 mPa·s) compared with the control sample.

During 14 days of refrigerated storage, the concentration of viable *L. acidophilus* cells decreased from 8.9×10^7 to 2.6×10^7 CFU/g (a decrease of 0.54 log). The final titre exceeds the FAO/WHO therapeutic minimum by 2.6–26 times, confirming the stability of the developed synbiotic system throughout the product's shelf life. According to the results of the sensory evaluation, the sample containing the synbiotic complex received the highest scores for taste, aftertaste and overall acceptability, and the majority of tasters rated it as the best. The obtained results indicate that the synbiotic complex developed improves the structural-mechanical and organoleptic properties of yoghurt, which opens up prospects for the creation of functional fermented milk products with improved consumer characteristics.

Keywords: synbiotic capsule, fungal polysaccharide, oyster mushroom, structural and mechanical properties, post-acidification, enriched yoghurt.

Введение

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к функциональным пищевым продуктам, содержащим пробиотические микроорганизмы, способные оказывать благоприятное воздействие на здоровье человека. Среди различных категорий функциональных продуктов ферментированные молочные продукты, в частности йогурт, занимают одно из ведущих мест благодаря своей традиционной распространённости и высокой технологической совместимости с пробиотическими культурами [1]. Наиболее широкое применение в составе кисломолочных продуктов получили представители рода *Lactobacillus*, среди которых особое место занимает *Lactobacillus acidophilus* — гомоферментативная молочнокислая бактерия, обладающая доказанной способностью снижать проявления лактазной недостаточности, модулировать состав кишечной микробиоты и усиливать иммунный ответ [2], [3]. Однако ключевым фактором, определяющим терапевтическую эффективность пробиотиков, является сохранение их жизнеспособности в процессе технологической обработки, хранения и последующего прохождения через желудочно-кишечный тракт. Согласно «Руководству по оценке пробиотиков в пищевых продуктах», разработанному совместной рабочей группой FAO/WHO, минимальная концентрация жизнеспособных пробиотических клеток в продукте на момент употребления должна составлять не менее 10^6 – 10^7 КОЕ/г [4].

Сохранение жизнеспособности *L. acidophilus* в йогурте сопряжено с рядом технологических трудностей. В процессе ферментации и последующего холодильного хранения происходит постепенное накопление органических кислот (постацидификация), что приводит к снижению pH среды и, как следствие, к уменьшению количества жизнеспособных клеток пробиотика [5]. Показано, что длительное хранение кисломолочных продуктов сопровождается дальнейшим накоплением органических кислот (постацидификацией) и увеличением синерезиса (отделения сыворотки), что негативно сказывается как на выживаемости пробиотических бактерий, так и на органолептических свойствах продукта [6].

Одним из наиболее перспективных подходов к решению проблемы сохранения жизнеспособности пробиотиков является их инкапсулирование в гидрогелевые матрицы. Среди разнообразия материалов для инкапсуляции — хитозана, пектина, желатина, каррагинана — наиболее широкое распространение получил альгинат натрия благодаря своей биосовместимости, мягким условиям гелеобразования (ионотропное сшивание ионами Ca^{2+}), а также статусу GRAS (Generally Recognized as Safe) [7], [8]. Альгинатные капсулы обеспечивают физическую изоляцию пробиотических клеток от агрессивных факторов внешней среды, что позволяет повысить их выживаемость при хранении и в условиях желудочно-кишечного тракта [9]. Однако, как отмечается в современных исследованиях, использование одного лишь альгината не всегда обеспечивает достаточный уровень защиты, что стимулирует поиск подходов к модификации альгинатной матрицы путём добавления вторичных биополимеров [10].

Отдельного внимания заслуживает стратегия совместного инкапсулирования пробиотиков с пребиотическими компонентами — создание синбиотических систем, в которых пробиотик и пребиотик доставляются в организм одновременно, что потенциально может усиливать положительный эффект за счёт синергизма. В качестве пребиотического компонента всё большее внимание исследователей привлекают β -глюканы — полисахариды, состоящие из остатков D-глюкозы, соединённых β -гликозидными связями. β -глюканы присутствуют в клеточных стенках злаков, дрожжей и грибов и обладают широким спектром биоактивных свойств, включая иммуномодулирующее, гипогликемическое, противоопухолевое и, что особенно важно в контексте данной работы, пребиотическое действие [11], [12]. Исследованиями на модельных системах подтверждено, что β -глюканы грибного происхождения способны избирательно стимулировать рост молочнокислых бактерий, включая *Lactobacillus acidophilus*, а также повышать их метаболическую активность [13]. Кроме того, β -глюканы обладают высокой водоудерживающей способностью и могут выступать в роли структурообразователя, потенциально улучшая физико-химические свойства ферментированных молочных продуктов [14].

Несмотря на имеющиеся отдельные работы по применению β -глюканов в системах доставки пробиотиков, комплексное исследование влияния синбиотического комплекса на основе альгината, β -глюкана *P. ostreatus* и *L. acidophilus* на качественные характеристики йогурта до настоящего времени не проводилось. Остаются невыясненными вопросы о том, как внесение таких капсул сказывается на динамике кислотности, синерезисе, вязкости и органолептических свойствах готового продукта в процессе холодильного хранения.

Цель настоящей работы заключалась в оценке влияния разработанного синбиотического комплекса (альгинатные капсулы, содержащие β -глюкан *Pleurotus ostreatus* и *Lactobacillus acidophilus*) на физико-химические, реологические и органолептические свойства йогурта в процессе холодильного хранения.

Объект и методы исследования

Объектами исследования являлись альгинатные капсулы, содержащие β -глюкан, выделенный из плодовых тел вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*), и штамм *Lactobacillus acidophilus* ВКПМ В-9012, а также образцы йогурта, изготовленные с добавлением данных капсул. Штамм *Lactobacillus acidophilus* получен из Всероссийской

коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ, Москва). β -глюкан выделяли из высушенных плодовых тел *Pleurotus ostreatus* двукратной трёхчасовой экстракцией 80% этанолом с последующей двукратной трёхчасовой водной экстракцией и осаждением 96% этанолом; полученный осадок высушивали при 50°C [15].

Капсулы получали методом экструзии через иглу 25G с помощью стерильного шприца. Для получения пустых капсул 1,0%-ный раствор альгината натрия экструдировали в 2,0%-ный раствор CaCl_2 . Сформированные капсулы выдерживали в растворе CaCl_2 в течение 30 мин для завершения сшивания, затем отмывали физиологическим раствором.

Оптимальный состав капсул (альгинат натрия 1,0%, β -глюкан *P. ostreatus* 2,0%, CaCl_2 2,0%) был определён на основании полного факторного эксперимента по эффективности инкапсуляции, сферичности и диаметру капсул. При данных параметрах эффективность инкапсуляции составила $86,8 \pm 1,9\%$, диаметр капсул — 1,7–1,8 мм, сферичность — 0,97–0,98.

Для получения синбиотических капсул культуру *L. acidophilus* выращивали в среде MRS при 37°C в течение 18 ч в анаэробных условиях, осаждали центрифугированием, дважды отмывали и ресуспендировали в физиологическом растворе до концентрации 1×10^{10} КОЕ/мл. Полученную суспензию клеток смешивали с 1,0%-ным раствором альгината натрия и 2,0%-ным раствором β -глюкана в соотношении 1:1:1, после чего экструдировали в 2,0%-ный раствор CaCl_2 . Капсулы выдерживали 30 мин для сшивания, затем капсулы отмывали физиологическим раствором.

Для приготовления йогурта пастеризованное молоко (жирностью 2,5%) нагревали до 90°C (10 мин), охлаждали до $42 \pm 1^\circ\text{C}$ и вносили заквасочную культуру (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus casei*) в количестве 0,3%. Молоко разделяли на три партии: контроль, образец с пустыми капсулами (1,0%) и образец с синбиотическими капсулами (1,0%). Капсулы добавляли одновременно с закваской. Смеси инкубировали при $42 \pm 1^\circ\text{C}$ до pH $4,5 \pm 0,1$ (5,2 ч), затем охлаждали до $4 \pm 2^\circ\text{C}$ и хранили 14 суток для последующего анализа физико-химических и реологических показателей. Отбор проб проводили на 1, 3, 7 и 14-е сутки.

Титруемую кислотность определяли по ГОСТ 31981-2013 титрованием 0,1 н. раствором NaOH (результат в °T). Активную кислотность (pH) измеряли потенциометрическим методом по ГОСТ 32892-2014 с помощью калиброванного pH-метра. Синерезис (отделение сыворотки) определяли гравиметрическим методом: 10 г йогурта центрифугировали при 3000 г в течение 15 мин при 10°C, отделяли надосадочную жидкость и взвешивали осадок; синерезис рассчитывали как отношение разницы между начальной массой образца и массой осадка к начальной массе образца, выраженное в процентах.

Кажущуюся вязкость измеряли по ГОСТ 33768-2015 с помощью ротационного вискозиметра с коаксиальной цилиндрической измерительной системой (ротор H1) при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ и скорости сдвига 10 c^{-1} , выдерживая каждый образец в состоянии покоя 5 мин перед измерением для восстановления структуры.

Концентрацию жизнеспособных клеток *L. acidophilus* в йогурте с синбиотическими капсулами определяли на 1, 3, 7 и 14-е сутки холодильного хранения при $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Для этого из йогурта отбирали 0,1 г капсул, трижды промывали стерильным физиологическим раствором (0,9% NaCl) для удаления остатков молочной матрицы. Капсулы переносили в 10 мл 0,05 М раствора цитрата натрия (pH 7,0) и инкубировали при перемешивании (150 об/мин) в течение 15 мин до полного растворения альгинатной матрицы. Полученную суспензию клеток центрифугировали (3000 г, 10 мин), надосадочную жидкость удаляли, осадок дважды отмывали стерильным физиологическим раствором (0,9% NaCl) и ресуспендировали в 10 мл того же раствора. Затем готовили серийные десятикратные разведения в стерильном физиологическом растворе. Из каждого разведения высевали по 0,1 мл на поверхность селективной среды MRS-агар с добавлением 0,15% жёлчных кислот (MRS-bile agar), подавляющей рост заквасочных микроорганизмов. Чашки инкубировали в анаэробных условиях при $37 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 48–72 ч. Концентрацию жизнеспособных клеток выражали в КОЕ/г йогурта с учётом массовой доли капсул (1%)

Органолептическую оценку проводили в соответствии с ГОСТ 31986-2012. Дегустационная комиссия состояла из 12 обученных специалистов (сотрудников и аспирантов кафедры микробиологического синтеза Санкт-Петербургского государственного технологического института), каждый из которых имел опыт в сенсорном анализе ферментированных молочных продуктов. Оценку осуществляли на 1-е сутки хранения после приготовления йогурта. Образцы подавали в закодированном виде при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ в случайном порядке. Дегустаторы оценивали семь показателей по 5-балльной шкале: внешний вид, цвет, запах, вкус, консистенцию, послевкусие и ощущение во рту. Результаты физико-химических и реологических измерений представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартное отклонение.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментальной работы были исследованы физико-химические, реологические и органолептические свойства трёх групп образцов йогурта: контрольного (без добавления капсул), с пустыми альгинатными капсулами и с синбиотическими капсулами, содержащими β -глюкан *Pleurotus ostreatus* и *Lactobacillus acidophilus*. Оценку проводили в процессе холодильного хранения при $4 \pm 2^\circ\text{C}$ на 1, 3, 7 и 14-е сутки. В процессе хранения всех образцов наблюдалось закономерное увеличение титруемой кислотности (Рисунок 1) и снижение pH, что обусловлено постацидификацией — продолжением метаболической активности заквасочной микрофлоры при низких температурах. Однако динамика этих изменений заметно различалась между образцами. Образец с синбиотическими капсулами демонстрировал наиболее медленное накопление кислоты: на 14-е сутки его титруемая кислотность была ниже, чем в контрольном образце, а pH — выше (Таблица 1). Аналогичные результаты были получены другими исследователями: показано, что добавление пробиотических культур, в том числе инкапсулированных, замедляет постацидификацию в йогурте [16], [17]. Это может быть связано с ограничением диффузии метаболитов и частичным снижением доступности субстрата для клеток внутри альгинатной матрицы, а также с изменением водоудерживающей способности системы при внесении β -

глюкана. Образец с пустыми капсулами занимал промежуточное положение, что свидетельствует о некотором стабилизирующем влиянии самой альгинатной матрицы на кислотность продукта.

Таблица 1 - Динамика физико-химических и структурно-механических показателей йогурта в процессе хранения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.82.1>

Показатель	Образцы											
	Контроль				Пустые капсулы				Капсулы с синбиотиком			
	1 сут.	3 сут.	7 сут.	14 сут.	1 сут.	3 сут.	7 сут.	14 сут.	1 сут.	3 сут.	7 сут.	14 сут.
Вязкость, мПа·с	1765,8 ± 87,6	1895,3 ± 104,7	1955,1 ± 34,8	2280,2 ± 63,9	1930,7 ± 73,7	2073,5 ± 46,2	2247,3 ± 130,2	2497,2 ± 163,0	2169,7 ± 73,9	2335,4 ± 117,3	2315,0 ± 92,2	2819,2 ± 162,5
Титруемая кислотность (°T)	87,2 ± 0,6	104,3 ± 0,7	121,0 ± 0,4	132,5 ± 0,4	86,5 ± 0,3	101,8 ± 0,6	116,9 ± 0,8	126,8 ± 0,6	83,8 ± 0,4	95,2 ± 0,4	109,9 ± 0,5	118,4 ± 0,3
pH	4,49 ± 0,01	4,40 ± 0,02	4,28 ± 0,01	4,16 ± 0,01	4,55 ± 0,01	4,43 ± 0,01	4,32 ± 0,02	4,23 ± 0,01	4,59 ± 0,01	4,48 ± 0,01	4,37 ± 0,01	4,30 ± 0,01
Синерезис, %	14,1 ± 0,8	16,2 ± 0,4	18,5 ± 0,6	24,0 ± 0,6	12,3 ± 1,0	13,6 ± 0,8	15,0 ± 0,6	17,2 ± 1,1	9,1 ± 0,8	10,2 ± 0,5	11,1 ± 0,9	12,9 ± 1,1

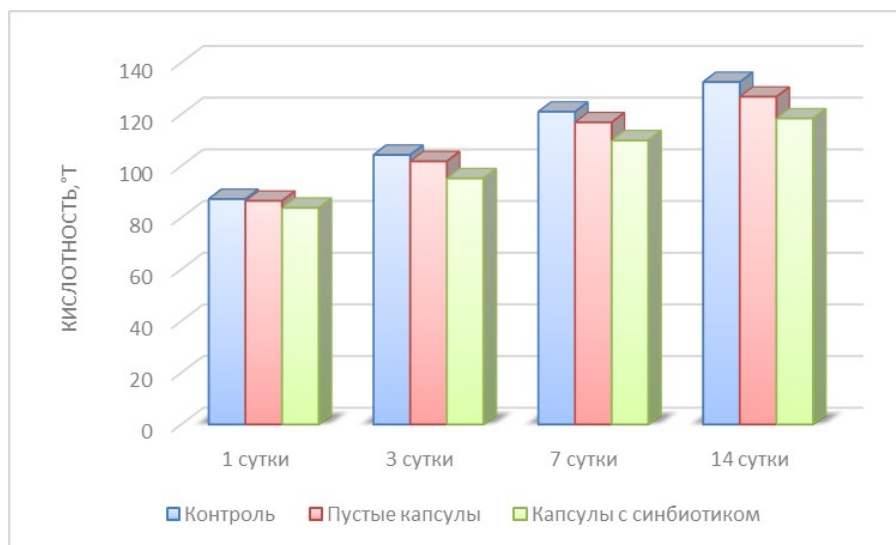


Рисунок 1 - Динамика изменения титруемой кислотности образцов в процессе хранения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.82.2>

Одной из наиболее распространённых проблем при хранении йогурта является отделение сыворотки (синерезис), которое ухудшает как потребительские свойства продукта, так и выживаемость пробиотических культур [18]. В настоящем исследовании синерезис увеличивался во всех образцах в процессе хранения, однако в образце с синбиотическими капсулами этот процесс был значительно замедлен. На 14-е сутки синерезис в данном образце оказался почти в два раза ниже, чем в контроле (Таблица 1). Образец с пустыми капсулами также показал более низкий синерезис по сравнению с контролем, но уступал синбиотическому. Полученные результаты согласуются с данными других научных групп. Учёными из Ирака [19] было установлено, что добавление овсяного β -глюкана в йогурт из овечьего молока с пониженным содержанием жира приводит к снижению синерезиса, причём выраженность этого эффекта возрастает с увеличением концентрации полисахарида. Исследователями из Ирана [20] также показано, что внесение различных пребиотиков, включая β -глюкан, в пробиотический йогурт способствует значительному уменьшению синерезиса по сравнению с контрольным образцом. В нашей работе синерезис снизился с 24,0% в контроле до 12,9% в образце с синбиотическими капсулами, то есть в 1,9 раза. Более выраженный эффект, достигнутый в нашем исследовании по сравнению с литературными данными, может быть объяснён

комбинированным действием двух факторов: альгинатные капсулы сами по себе связывают свободную влагу, а β -глюкан, диффундирующий из капсул в молочную матрицу, формирует дополнительную полисахаридную сеть, механически препятствующую отделению сыворотки.

Наибольшие значения кажущейся вязкости на протяжении всего срока хранения демонстрировал образец с синбиотическими капсулами, превышая контрольный образец на 23,6% на 14-е сутки. Образец с пустыми капсулами также имел более высокую вязкость по сравнению с контролем, что объясняется присутствием в продукте гидрогелевых частиц, увеличивающих общую вязкость системы. Полученные данные согласуются с результатами польских исследователей [21], которые показали, что добавление склероглюкана (микробного β -глюкана) в йогурт с пониженным содержанием жира повышает кажущуюся вязкость, предел текучести и твёрдость продукта, а также полностью устраняет синерезис. Таким образом, достигнутое нами увеличение вязкости на 23,6% подтверждает структурообразующую роль β -глюкана в кисломолочных продуктах. Этот эффект может быть обусловлен синергическим действием β -глюкана и альгинатной матрицы капсул. Кроме того, инкапсулирование пробиотика замедляет его метаболическую активность, что способствует более медленному снижению вязкости в процессе хранения. Следует также отметить, что более высокие значения pH в образце с синбиотическими капсулами создают благоприятные условия для упорядоченной агрегации казеиновых мицелл без избыточного сокращения белковой сети, что дополнительно стабилизирует структуру продукта.

Исходная концентрация инкапсулированных клеток в свежеприготовленных капсулах (1 день) составляла $8,9 \times 10^7$ КОЕ/г (7,95 log). После 14 суток холодильного хранения количество жизнеспособных клеток снизилось до $2,6 \times 10^7$ КОЕ/г (7,41 log). Снижение титра за 14 дней составило 0,54 log, сохранность — 29,2% (Рисунок 2).

Конечная концентрация пробиотика ($2,6 \times 10^7$ КОЕ/г) превышает терапевтический минимум FAO/WHO (10^6 – 10^7 КОЕ/г). Полученные результаты согласуются с литературными данными: в работе [22] снижение титра инкапсулированного *L. acidophilus* составило 0,6–0,8 log за 21 день, а конечные титры находились в диапазоне 7,6–7,8 log, что сопоставимо с нашими показателями.

Таким образом, разработанная альгинатная матрица с включением β -глюкана обеспечивает стабильную сохранность пробиотика в процессе хранения, а конечный титр гарантирует пробиотическую эффективность продукта в течение всего срока годности.

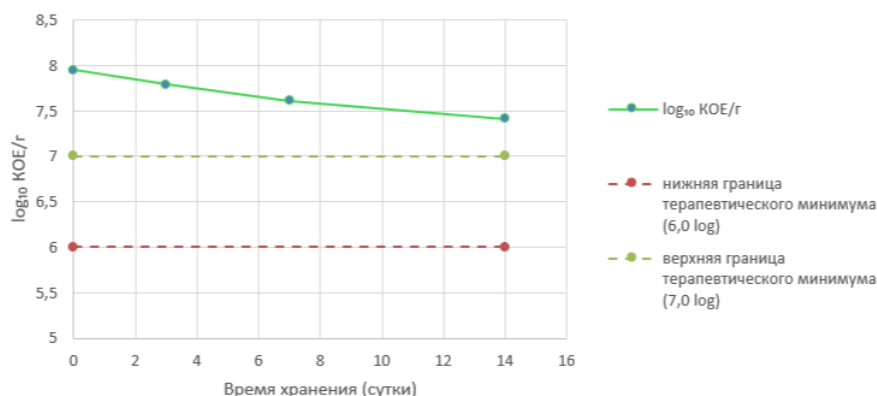


Рисунок 2 - Динамика жизнеспособности *Lactobacillus acidophilus* в йогурте с синбиотическими капсулами в процессе холодильного хранения (4±2°C)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.82.3>

Органолептический анализ, проведённый на 1-е сутки хранения, показал, что образец с синбиотическими капсулами получил наиболее высокие оценки по большинству показателей, особенно по вкусу, послевкусию и общей приемлемости (Рисунок 3). Внешний вид образцов йогурта на 1-й день хранения представлен на рисунке 4. Дегустаторы отмечали, что вкус этого образца был более мягким и сбалансированным, без излишней кислотности, а наличие капсул воспринималось как оригинальный текстурный элемент, не ухудшающий консистенцию. Контрольный образец характеризовался более интенсивным кисломолочным запахом, который часть дегустаторов оценила как излишне резкий. Образец с пустыми капсулами получил оценки, близкие к контрольному, но с некоторым снижением за счёт менее выраженного вкуса и аромата. По результатам дегустационной оценки 58% дегустаторов отдали предпочтение образцу с синбиотическими капсулами, что подтверждает его высокие потребительские свойства.



Рисунок 3 - Лепестковая диаграмма органолептической оценки образцов йогурта (по 5-балльной шкале, n=12)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.82.4>



Рисунок 4 - Внешний вид образцов йогурта на 1-й день хранения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.82.5>

Примечание: А — йогурт контроль; Б — йогурт с пустыми капсулами; В — йогурт с капсулами, содержащими β -глюкан и *L. acidophilus*

Заключение

Разработанный синбиотический комплекс на основе альгината, β -глюкана *Pleurotus ostreatus* и *Lactobacillus acidophilus* оказывает многофакторное положительное влияние на качество йогурта. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанный синбиотический комплекс улучшает структурно-механические свойства йогурта (повышение вязкости на 23,6%, снижение синерезиса в 1,9 раза), замедляет постацидификацию (титруемая кислотность на 14-е сутки на 14,1 °Т ниже контроля, рН — на 0,14 выше), что открывает перспективы для создания функциональных кисломолочных продуктов с улучшенными потребительскими свойствами.

Замедление постацидификации и снижение синерезиса, наблюдаемые в образце с синбиотическими капсулами, согласуются с известными данными о том, что β -глюканы обладают высокой водоудерживающей способностью и способны стабилизировать белковую матрицу кисломолочных продуктов. Повышение вязкости может быть связано как с присутствием самих капсул, так и с диффузией β -глюкана в молочную среду, где он действует как дополнительный загуститель.

Разработанная синбиотическая система на основе альгинатной матрицы с включением β -глюкана *P. ostreatus* и *L. acidophilus* обеспечивает сохранность пробиотика в процессе хранения: титр снизился с $8,9 \times 10^7$ до $2,6 \times 10^7$ КОЕ/г за 14 суток (снижение на 0,54 log). Конечная концентрация пробиотика превышает терапевтический минимум FAO/WHO. Полученные результаты находятся в диапазоне значений, характерных для инкапсулированных пробиотических систем, а технологическая простота может рассматриваться как преимущество для потенциального промышленного применения.

Высокие органолептические оценки подтверждают, что присутствие капсул не ухудшает, а в отдельных аспектах улучшает потребительские свойства продукта. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности



использования разработанных синбиотических капсул для создания функциональных кисломолочных продуктов с улучшенными физико-химическими, структурно-механическими и органолептическими свойствами.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Wang X. Invited review: Advances in yogurt development—Microbiological safety, quality, functionality, sensory evaluation, and consumer perceptions across different dairy and plant-based alternative sources / X. Wang, L. Wang, X. Wei X et al. // *Journal of Dairy Science*. — 2025. — Vol. 108, №1. — P. 33–58.
2. Gao H. The Functional Roles of *Lactobacillus acidophilus* in Different Physiological and Pathological Processes / H. Gao, X. Li, X. Chen et al. // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. — 2022. — Vol 32, №10. — P. 1226–1233.
3. Liu Y. Health-Promoting Effects of *Lactobacillus acidophilus* and Its Technological Applications in Fermented Food Products and Beverages / Y. Liu, H. Nawazish, M.S. Farid et al. // *Fermentation*. — 2024. — Vol. 10, № 8. — P. 380.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. Probiotics in food: health and nutritional properties and guidelines for evaluation. — Rome : FAO/WHO, 2006. — 50 p.
5. Graça J.S. Impact of pre-exposure stress on the growth and viability of *Lactobacillus acidophilus* in regular, buriti pulp and orange byproduct fermented milk products / J.S. Graça, M.M. Furtado, L. Freire et al. // *Food Microbiology*. — 2025. — Vol. 125. — P. 104660.
6. Paz-Díaz H.J. Effect of process variables on the physicochemical and rheological properties of yogurt / H.J. Paz-Díaz, L.Z. Mora-Vergara, C.E. Navarro-Arana et al. // *U.D.C.A Journal: Current Affairs & Scientific Dissemination / Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. — 2021. — Vol. 24, № 1. — P. e1922.
7. Wang X. Microencapsulating Alginate-Based Polymers for Probiotics Delivery Systems and Their Application / X. Wang, S. Gao, S. Yun et al. // *Pharmaceutics*. — 2022. — Vol. 15, № 5. — P. 644.
8. Lee K.Y. Alginate: Properties and biomedical applications / K.Y. Lee, D.J. Mooney // *Progress in Polymer Science*. — 2012. — Vol. 37, № 1. — P. 106–126.
9. Liu H. A multicellular self-organized probiotic platform for oral delivery enhances intestinal colonization / H. Liu, Z. Chen, Q. Lin et al. // *Nature Communications*. — 2025. — Vol. 16, № 1. — P. 7060.
10. Bhattacharya S. Viability Preservation of Probiotic Bacteria Encapsulated in Pectin-Reinforced pH-Responsive Composite Alginate Hydrogel Matrix as the Synbiotic Delivery System / S. Bhattacharya, S. Baidya // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. — 2025. — Vol. 18, № 2. — P. 2155–2169.
11. Zhong X. Immunomodulatory Effect and Biological Significance of β -Glucans / X. Zhong, G. Wang, F. Li et al. // *Pharmaceutics*. — 2023. — Vol. 15, № 6. — P. 1615.
12. Clementino J.R. β -Glucan Alone or Combined with *Lactobacillus acidophilus* Positively Influences the Bacterial Diversity and Metabolites in the Colonic Microbiota of Type II Diabetic Patients / J.R. Clementino, L.I.G. de Oliveira, M.K. Salgado et al. // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. — 2025. — Vol. 17, № 5. — P. 3728–3742.
13. Bukša A. Fungal β -Glucans Enhance Lactic Acid Bacteria Growth by Shortening Their Lag Phase and Increasing Growth Rate / A. Bukša, F. Petrović, Ž. Maglica // *Microorganisms*. — 2025. — Vol. 13, № 6. — P. 1313.
14. Raikos V. Use of β -glucan from spent brewer's yeast as a thickener in skimmed yogurt: Physicochemical, textural, and structural properties related to sensory perception / V. Raikos, S.B. Grant, H. Hayes et al. // *Journal of Dairy Science*. — 2018. — Vol. 101, № 7. — P. 5821–5831.
15. Frioui M. Isolation of bioactive beta-glucans from mycelium of *Pleurotus ostreatus* mushroom / M. Frioui, G. Yimer, M. Shamtsyan et al. // *Bioactive Compounds in Health and Disease*. — 2024. — Vol. 7, № 12. — P. 649–658.
16. Hernández-Figueroa R.H. Enhancing Soy Yogurt with Microencapsulated *Limosilactobacillus reuteri*: Viability and Sensory Acceptability / R.H. Hernández-Figueroa, Y.D. Ramírez, A. López-Malo et al. // *Fermentation*. — 2025. — Vol. 11, № 8. — P. 423.
17. Moghaddas K.E. Development of probiotic yogurt by incorporation of milk protein concentrate (MPC) and microencapsulated *Lactobacillus paracasei* in gellan-caseinate mixture / E.K. Moghaddas, Z. Ghasempour, S. Ghanbari et al. // *British Food Journal*. — 2018. — Vol. 120, № 7. — P. 1516–1528.
18. Arab M. A comprehensive review on yogurt syneresis: effect of processing conditions and added additives / M. Arab, M. Yousefi, E. Khanniri et al. // *Journal of Food Science and Technology*. — 2023. — Vol. 60, № 6. — P. 1656–1665.
19. Mohammed Sh.S. Effect of Oat β -glucan as a Fat Replacer on Physicochemical, Rheological and Sensory Properties of low-fat Sheep Milk Yoghurt / Sh.S. Mohammed, J.M.S. Al-Saadi, R.S. Qader et al. // *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. — 2025. — Vol. 37, № 1. — P. 82–90.
20. Heydari S. Rheological behaviour, sensory properties and syneresis of probiotic yoghurt supplemented with various prebiotics / S. Heydari // *International Journal of Dairy Technology*. — 2018. — Vol. 71, Special Issue S1. — P. 175–184.



21. Aljewicz M. Scleroglucan as Structure Forming Agent of Low-Fat Yogurt: Effects on Functional Properties, Bacterial Activity and Sensory Profile / M. Aljewicz, M.M. Bielecka, A. Dąbrowska et al. // *Molecules*. — 2025. — Vol. 30, № 23. — P. 4581.
22. Shu G. Microencapsulation of *Lactobacillus Acidophilus* by Xanthan-Chitosan and Its Stability in Yoghurt / G. Shu, Y. He, L. Chen et al. // *Polymers*. — 2017. — Vol. 9, № 12. — P. 733.