

УДК 604

DOI 10.37734/2518-7171-2025-1-9

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЙОГУРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОМАСИ СПІРУЛІНА

Н. О. ОФІЛЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
(Полтавський університет економіки і торгівлі)

Анотація. Було досліджено біотехнологічне одержання функціонального йогурту з додаванням біомаси спіруліни як пребіотичної добавки для підтримки життєздатності молочнокислих бактерій. Проведено аналітичний огляд літератури, зокрема щодо перспективності додаванням спіруліни як функціонального компоненту. За даним літератури проаналізована мікробіологічна та біохімічна характеристика *Spirulina platensis*, розглянуто біотехнологічний спосіб отримання біомаси спіруліни..

Предметом дослідження є дослідження впливу сухої біомаси *Spirulina platensis* на якісні характеристики функціонального йогурту. Мета роботи: удосконалення біотехнологічного одержання функціонального йогурту шляхом додаванням біомаси спіруліни. Додавання висушеної біомаси синьо-зелених водоростей *Spirulina platensis* до йогурту забезпечить додаткове джерело біологічно-активних речовин та факторів росту для молочнокислих бактерій у процесі ферментації молока та дозволить зберегти високу кількість життєздатних молочнокислих бактерій протягом терміну зберігання йогурту.

Отримано зразки функціонального йогурту з додаванням сухої біомаси *Spirulina platensis* з використанням класичної закваски на основі молочнокислих бактерій. Вміст сухої спіруліни становив 0,5, 1 і 2 % (мас./об.). Проведено аналіз показників якості отриманого функціонального йогурту згідно вимог ДСТУ. Протягом 14 днів всі зразки витримували випробування на активну та титровану кислотність, титр життєздатних молочнокислих бактерій. Визначено, що оптимальним є додавання біомаси *Spirulina platensis* у кількості 1 %, що забезпечує покращення мікробіологічних властивостей продукту, але зберігаючи високі споживчі якості. На підставі проведених досліджень зроблено висновок, що використання біомаси спіруліни позитивно впливає на йогурт під час приготування, зменшуючи тривалість ферментації, та під час зберігання продукту, забезпечуючи високий титр життєздатних молочнокислих бактерій.

Ключові слова: функціональне харчування, функціональний йогурт, молочнокислі бактерії, біомаса ціанобактерій, *Spirulina platensis*.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Функціональні харчові продукти можна визначити як такі, в яких концентрація одного або кількох інгредієнтів змінена для підвищення їхнього внеску в здорове харчування. Вони можуть бути натуральними або спеціально обробленими харчовими продуктами, але повинні містити біологічно активні сполуки, які надають доведену користь для здоров'я, якщо споживати їх у достатній кількості. Інтеграція пробіотиків у функціональні харчові продукти, такі як йогурт, є багатообіцяючою технологічною альтернативою. Проте забезпечення якості цих продуктів вимагає врахування різноманітних критичних факторів, таких як життєздатність пробіотичних мікроорганізмів протягом усього терміну придатності харчових продуктів. Введення натуральних сполук, таких як *Spirulina* spp. у склад йогурту може не тільки покращити сенсорні властивості, але й додати корисних характеристик для здоров'я людини. Такі природні добавки мають біоактивні властивості, включаючи антимікробні, антиоксидантні, протизапальні та навіть нейропротекторні властивості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковими дослідженнями з цього питання займалися вчені: А.Балліні, Н.Альфадлі, О.Ельффар,

П.Пател, Х.Каземіні, А.Азізіан, К.Амаді тощо [1–10].

Формування цілей статті. Метою роботи є удосконалення біотехнологічного одержання функціонального йогурту шляхом додаванням біомаси спіруліни, що забезпечить додаткове джерело біологічно-активних речовин та факторів росту для молочнокислих бактерій у процесі ферментації молока.

Виклад основного матеріалу дослідження. Харчування, яке на додаток до свого основного харчового складу здійснює благотворний вплив на одну або кілька фізіологічних функцій, таких як поліпшення здоров'я або зниження ризику розвитку захворювань, можна вважати функціональним. Таким чином, функціональні харчові продукти містять багаті поживними речовинами інгредієнти, але також можуть бути збагачені вітамінами, мінералами, пробіотиками, пребіотиками та клітковиною [1; 7].

В останні роки пробіотичні функціональні йогурти представляють значний прогрес у напрямку функціональних продуктів в молочній промисловості. Включення натуральних сполук у цей кисломолочний продукт не лише покращує сенсорні властивості, але й сприяє підвищенню користі для здоров'я споживачів. Нещодавні

дослідження підкреслили важливість цих добавок, відрізняючи їх від синтетичних хімічних добавок через їх природні джерела та безпечність харчових продуктів [2; 10].

Природні компоненти на основі мікробних клітин у рецептурі пробіотичних йогуртів, наприклад *Spirulina* spp., відома своїми поживними властивостями. *Spirulina platensis* містить 55–70 % білка, а також вітаміни (B1, B2, B12, E та провітамін A), мінерали (Fe, Mg, Ca, P, Cr, Cu, Na, Zn), пігменти (фікоціанін, хлорофіли та каротиноїди) і незамінні жирні кислоти (γ-ліноленова кислота). Цей мікроорганізм визнаний безпечним (GRAS) для споживання людиною та додається до багатьох харчових продуктів. Серед біоактивних властивостей спіруліни її антиоксидантна активність, завдяки наявності таких сполук, як α-токоферол і фікоціанін, та протизапальна дія, що обумовлена наявністю β та δ-токоферолів [1]. Дослідження антибактеріальних властивостей спіруліни показало її потенціал як багатofункціонального біоактивного агента, що сприяє росту пробіотичних бактерій, надаючи цим мікроорганізмам необхідні сполуки, такі як аденін, гіпоксантин і вільні амінокислоти [3; 4; 6].

Спіруліна є різновидом синьо-зелених водоростей, також відомих як *Arthrospira*, або *Spirulina platensis*, – багатоклітинні ниткоподібні ціанобактерії. Спіруліна має високу концентрацію біологічно активних сполук, таких як феноли, пігмент фікоціанін і полісахариди, які беруть участь у низці біологічних процесів, таких як антиоксидантна та протизапальна активність. В результаті цього спіруліна знайшла застосування у великій кількості функціональних продуктів харчування та харчових добавок [5; 8–9].

Для дослідження зразки йогурту із біомасою спіруліни були отримані термостатним способом за допомогою йогуртниць при 38–42 °С. Закваску «Йогурт» вносили у кількості, рекомендованої виробником. Суху біомасу спіруліни додавали у кількостях 0,5, 1 і 2 % (мас./об.) від кількості

молока. Вибір концентрацій був обґрунтований літературними даними та органолептичними характеристиками продукту.

Основна сировина для виробництва дослідних зразків функціонального йогурту зі спіруліною наведені у таблиці 1.

Ферментація зразків тривала 5–6 годин. Після 4 години ферментації кожні 30 хвилин відбирали пробу для визначення рівня рН. Ферментацію зупиняли при досягненні рівня рН, регламентованого ДСТУ – 4,0–4,8.

Збільшення концентрації спіруліни сприяло швидшій ферментації йогурту, що може свідчити про позитивний вплив добавки біомаси спіруліни на активність молочнокислих бактерій за рахунок наявності у біомасі ціанобактерій додаткового джерела поживних та біологічно-активних речовин. Із недоліків у зразках із вмістом біомаси спіруліни 2 % спостерігались ознаки газоутворення, що не відповідає вимогам ДСТУ, а також збільшення вмісту водоростей супроводжувалось появі характерного стороннього запаху, що може негативно сприйматися споживачами.

Оцінка якісних кількісних показників якості дослідних зразків функціонального йогурту включала:

- визначення кількості живих бактерій у йогурті проводили посівом на чашки Петрі з агаризованим поживним середовищем МРС (селективне для лактобактерій) з використанням методи десятикратного розведення проби;

- активну кислотність (рН) у йогурт визначали потенціометрично за допомогою лабораторного рН-метра;

- загальну (титровану) кислотність (°Т) у йогурті визначали методом кислотно-основного титрування з індикатором фенолфталеїном.

Отримані результати порівнювали із вимогами до йогуртів згідно ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови»

РН зразків йогурту під час ферментації наведено в таблиці 2. Експеримент повторювали тричі.

Таблиця 1

Сировина для отримання функціонального йогурту

Назва сировини, виробник, країна походження	Склад сировини	Функціональне призначення	Нормативна документація для контролю якості
Молоко коров'яче пастеризоване, ТОВ ТЕРРАФУД (ТМ Ферма), Україна	Молоко коров'яче нормалізоване, 2,5 % жиру	Сировина для виробництва йогурту	ДСТУ 2661:2010 Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови
Закваска бактеріальна «Йогурт», ліофілізована, ТОВ ВІВО-АКТИВ, Україна	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> ; <i>Lactobacillus acidophilus</i> ; <i>Lactococcus lactis</i> s subsp. <i>lactis</i> , <i>diacetylactis</i> , <i>cremoris</i> ; <i>Streptococcus thermophilus</i>	Бактеріальна закваска, що містить молочнокислі бактерії для ферментації кисломолочного йогурту	ДСТУ 7355:2013 Молоко, молочні продукти та закваски.
Біомаса спіруліни, порошок, NowFoods, США	<i>Spirulina platensis</i>	Додаткове джерело БАР речовин для молочнокислих бактерій та у готовому продукті	НТД виробника

Таблиця 2

рН зразків функціонального йогурту в процесі ферментації

Час ферментації	Значення рН зразків функціонального йогурту			
	Зразок порівняння (без спіруліни)	0,5 % біомаси спіруліни	1 % біомаси спіруліни	2 % біомаси спіруліни
240 хв	5,67 ± 0,13	5,70 ± 0,17	5,41 ± 0,08	5,2 ± 0,22
270 хв	5,24 ± 0,09	5,15 ± 0,12	5,02 ± 0,14	4,94 ± 0,16
300 хв	4,93 ± 0,21	4,87 ± 0,14	4,61 ± 0,12	4,60 ± 0,08
330 хв	4,59 ± 0,07	4,57 ± 0,13	—	—

Примітка. n = 3.

Отже, збільшення концентрації спіруліни сприяло швидшій ферментації йогурту, що може свідчити про позитивний вплив добавки біомаси спіруліни на активність молочнокислих бактерій за рахунок наявності у біомасі ціанобактерій додаткового джерела поживних та біологічно-активних речовин. Із недоліків у зразках із вмістом біомаси спіруліни 2 % спостерігались ознаки газоутворення, що не відповідає вимогам ДСТУ, а також збільшення вмісту водоростей супроводжувалось появі характерного стороннього запаху, що може негативно сприйматися споживачами.

Отримані зразки зберігали у холодильнику протягом 3 тижнів із щотижневим контролем кількості молочно-кислих бактерій, активної та титрованої кислотності.

На рисунку 1 наведено динаміку змін кількостей живих кислomолочних бактерій (КУО/мл) у зразках функціонального йогурту: свіжоприготовленому, через 1, 2 та 3 тижні зберігання у холодильнику.

Згідно отриманих результатів, додавання спіруліни покращує виживання кислomолочних

бактерій у йогурті. Причому стандартний термін зберігання комерційних йогуртів не перевищує 14 діб, але зразки, які містили 1 і 2 % спіруліни сприяли підтримці життєздатності бактерій протягом 14 діб, більше ніж у зразку порівняння, а у зразку № 4 – навіть протягом 21 доби на рівні зазначеному у ДСТУ.

На рисунку 2 наведено динаміку змін рН у зразках функціонального йогурту: свіжоприготовленому, через 1, 2 та 3 тижні зберігання у холодильнику. Рівень рН знижувався у всіх зразках протягом 21 доби, причому зі збільшенням вмісту спіруліни рівень рН був нижчим. Рівень рН знаходився у нормах ДСТУ протягом 14 діб у всіх зразках і протягом 21 доби у зразках № 1, № 2, № 3.

На рисунку 3 наведено динаміку змін титрованої кислотності (°T) у зразках функціонального йогурту: свіжоприготовленому, через 1, 2 та 3 тижні зберігання у холодильнику.

Аналогічно до динаміки змін активної кислотності, титрована кислотність зразків функціонального йогурту росла протягом терміну зберігання. Спостерігалась пряма залежність між

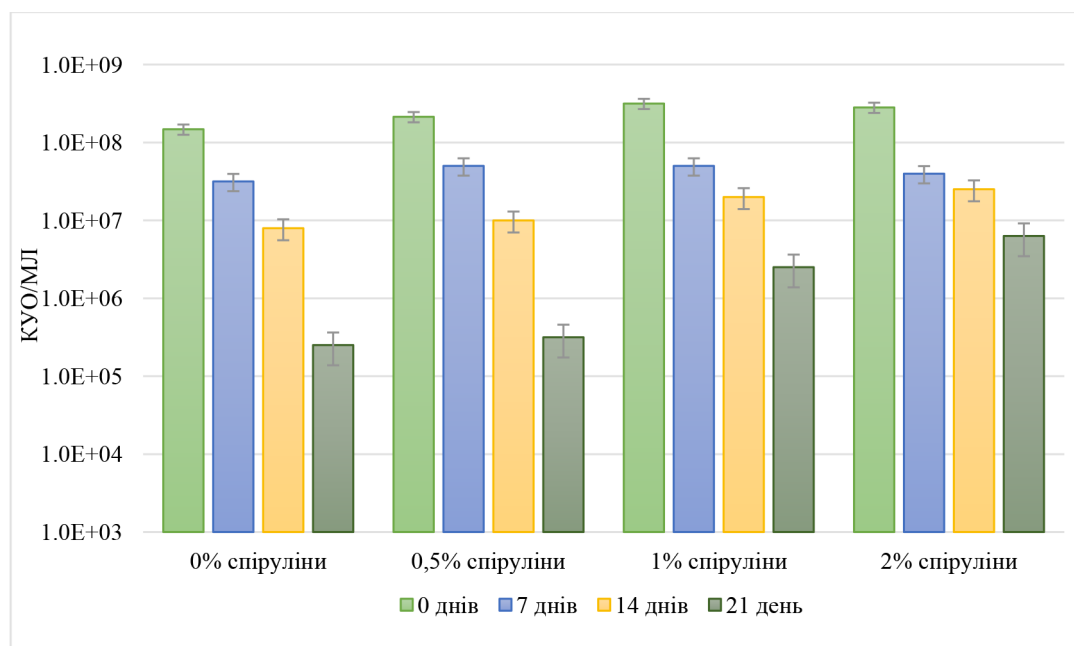


Рис. 1. Кількість молочнокислих бактерій у зразках функціонального йогурту з додаванням сухої біомаси спіруліни протягом 21 дня зберігання продукту при температурі 4–8 °C. n = 3

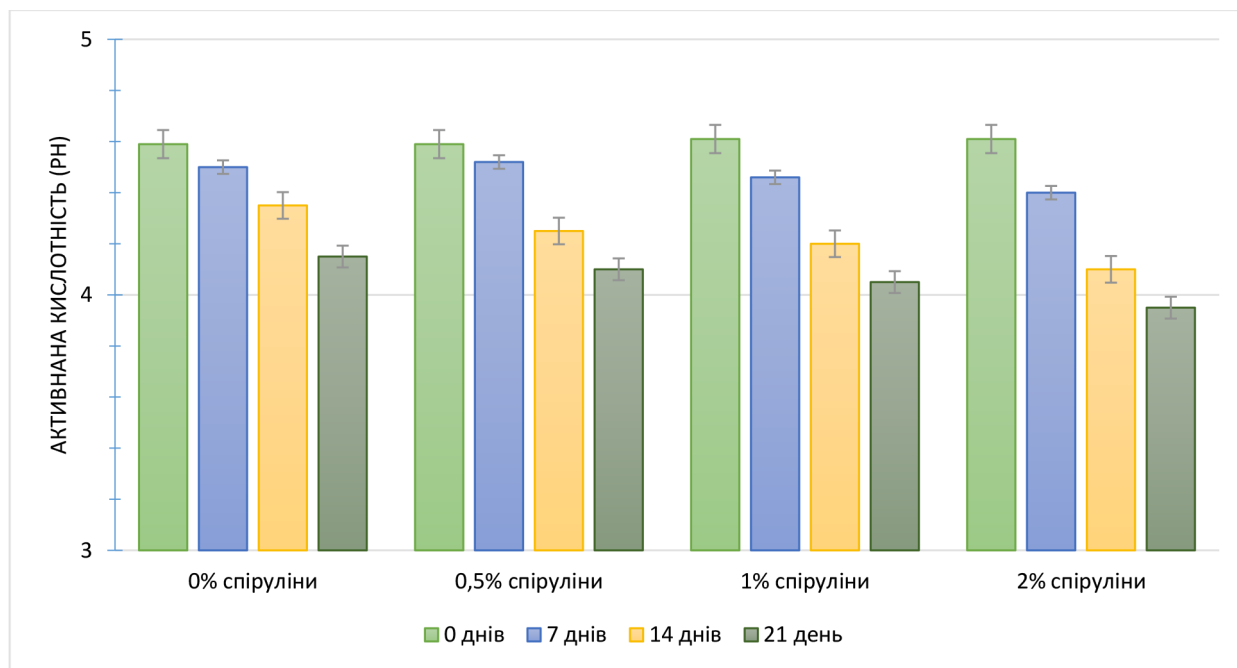


Рис. 2. Активна кислотність зразків функціонального йогурту з додаванням сухої біомаси спіруліни протягом 21 дня зберігання продукту при температурі 4–8 °С. $n = 3$

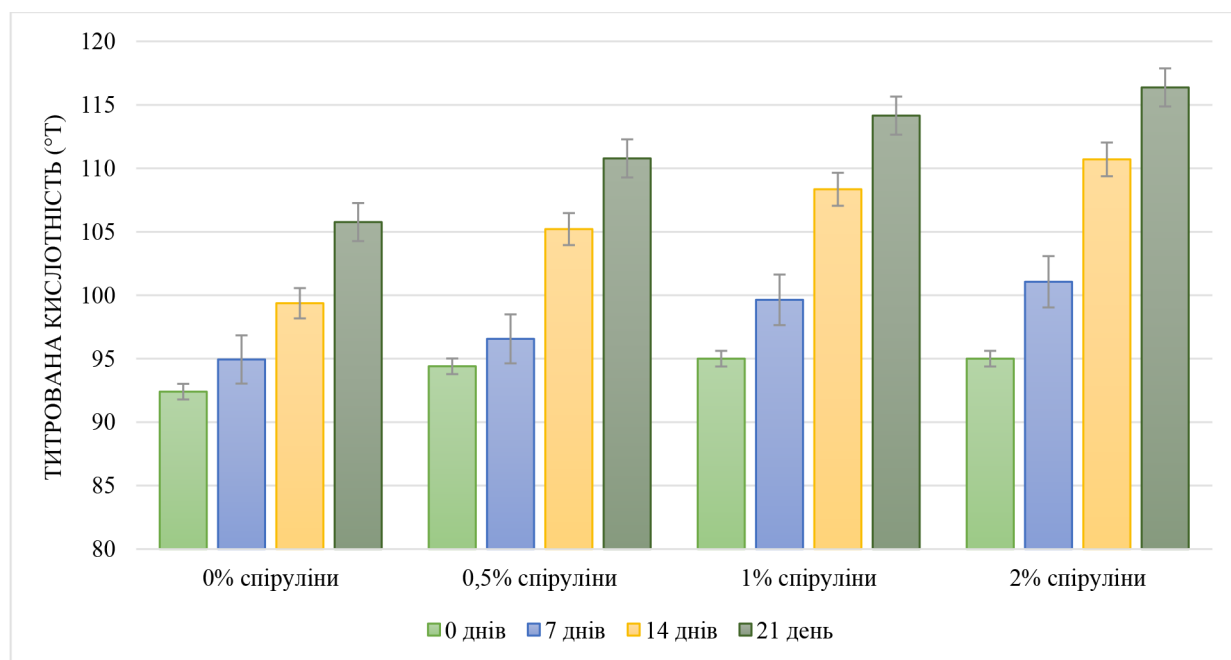


Рис. 3. Титрована кислотність зразків функціонального йогурту з додаванням сухої біомаси спіруліни протягом 21 дня зберігання продукту при температурі 4–8 °С. $n = 3$

концентрацією біомаси спіруліни та титрованою кислотністю. титрована кислотність знаходилася у нормах ДСТУ протягом всього часу спостереження у всіх зразках.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі. Отримані результати демонструють пребіотичні властивості біомаси спіруліни у складі

йогурту на основі закваски молочнокислих бактерій. Отримані зразки функціонального йогурту відповідали вимогам ДСТУ на вміст життєздатних молочнокислих бактерій, активної та титрованої кислотності. За комплексом отриманих даних оптимальним є вміст спіруліни 1 % (мас./об.) у розрахунку на об'єм молока взятого для виробництва йогурту. Додавка сухої біомаси спіруліни

прискорює процес ферментації та забезпечує вищий рівень кисломолочних бактерій у порівнянні з класичним йогуртом. Збільшення вмісту спіруліни призводить до більшого зниження pH в процесі зберігання. Отримані висновки корелюють із роботами інших авторів, які використовували добавку спіруліни у різні види молочних та кисломолочних продуктів.

Таким чином, додавання біомаси спіруліни до кисломолочних продуктів на стадії ферментації позитивно впливає на якість кисломолочних

продуктів, зокрема йогурту. Оптимальним вмістом біомаси спіруліни вважаємо концентрації до 1 % (мас./об.) від об'єму використаної молочної сировини.

Рекомендовано виготовляти виробникам йогуртів виробництво функціонального продукту з додаванням порошку спіруліни *Spirulina platensis* в кількості 1 %, що дасть можливість прискорити ферментацію продукту без зміни нормативних властивостей йогурту як за фізико-хімічними так і за органолептичними показниками якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. About Functional Foods: The Probiotics and Prebiotics State of Art. / A. Ballini et al. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*. 2023. Vol. 12, No. 4. Article ID 635.
2. Trends and technological advancements in the possible food applications of Spirulina and their health benefits: A Review. / N.K. Alfadhly et al. *Molecules*. 2022. Vol. 27. Article ID 5584.
3. Advances in delivery methods of *Arthrospira platensis* (Spirulina) for enhanced therapeutic outcomes. / O.A. Elfar et al. *Bioengineered*. 2022. Vol. 13. P. 14681–14718.
4. Development of a carotenoid enriched probiotic yogurt from fresh biomass of Spirulina and its characterization. / P. Patel et al. *J. Food Sci. Technol.* 2019. Vol. 56. Article ID 3721–3731.
5. Kazemeini H., Azizian A., Ahmadi K. Preparation of Synbiotic Yogurt Sauce Containing Spirulina platensis Microalgae Extract and Its Effect on the Viability of *Lactobacillus acidophilus*. *Biomed Res. Internonal*. 2023. Vol. 2023. Article ID 8434865.
6. Siva Kiran R.R., Madhu G.M., Satyanarayana S. V. Spirulina in combating protein energy malnutrition (PEM) and protein energy wasting (PEW) – A review. *J. Nutr. Res.* 2015. Vol. 1. P. 62–79.
7. Hernández F.Y., Khandual S., López I.G. Cytotoxic effect of Spirulina platensis extracts on human acute leukemia Kasumi-1 and chronic myelogenous leukemia K-562 cell lines. *Asian pacific J. Tropical Biomed.* 2017. Vol. 7. P. 14–19.
8. Spirulina platensis, a super food? / F. Jung et al. *J. Cell. Biotechnol.* 2019. Vol. 5. P. 43–54.
9. Spirulina platensis: Food and function. / S.M. Hosseini et al. *Curr. Nutr. Food Sci.* 2013. Vol. 9. P. 189–193.
10. Sengupta S., Bhowal J. Optimization of Ingredient and Processing Parameter for the Production of Spirulina platensis Incorporated Soy Yogurt Using Response Surface Methodology. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* 2017. Vol. 6. P. 1081–1085.

REFERENCES

1. About Functional Foods: The Probiotics and Prebiotics State of Art. / A. Ballini et al. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*. 2023. Vol. 12, No. 4. Article ID 635.
2. Trends and technological advancements in the possible food applications of Spirulina and their health benefits: A Review. / N.K. Alfadhly et al. *Molecules*. 2022. Vol. 27. Article ID 5584.
3. Advances in delivery methods of *Arthrospira platensis* (Spirulina) for enhanced therapeutic outcomes. / O.A. Elfar et al. *Bioengineered*. 2022. Vol. 13. P. 14681–14718.
4. Development of a carotenoid enriched probiotic yogurt from fresh biomass of Spirulina and its characterization. / P. Patel et al. *J. Food Sci. Technol.* 2019. Vol. 56. Article ID 3721–3731.
5. Kazemeini, H., Azizian, A., & Ahmadi, K. (2023). Preparation of Synbiotic Yogurt Sauce Containing Spirulina platensis Microalgae Extract and Its Effect on the Viability of *Lactobacillus acidophilus*. *Biomed Res. Internonal*. Vol. 2023. Article ID 8434865.
6. Siva Kiran, R.R., Madhu, G.M., & Satyanarayana, S. V. (2015). Spirulina in combating protein energy malnutrition (PEM) and protein energy wasting (PEW) – A review. *J. Nutr. Res.* Vol. 1. P. 62–79.
7. Hernández, F.Y., Khandual, S., & López, I.G. (2017). Cytotoxic effect of Spirulina platensis extracts on human acute leukemia Kasumi-1 and chronic myelogenous leukemia K-562 cell lines. *Asian pacific J. Tropical Biomed.* Vol. 7. P. 14–19.
8. Spirulina platensis, a super food? / F. Jung et al. *J. Cell. Biotechnol.* 2019. Vol. 5. P. 43–54.
9. Spirulina platensis: Food and function. / S.M. Hosseini et al. *Curr. Nutr. Food Sci.* 2013. Vol. 9. P. 189–193.
10. Sengupta, S., & Bhowal, J. (2017). Optimization of Ingredient and Processing Parameter for the Production of Spirulina platensis Incorporated Soy Yogurt Using Response Surface Methodology. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* Vol. 6. P. 1081–1085.

N. Oflenko, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor (Poltava University of Economics and Trade). *Analysis of quality indicators of functional yogurt using spirulina biomass*

Abstract. The biotechnological production of functional yogurt with the addition of spirulina biomass as a prebiotic additive to support the viability of lactic acid bacteria was investigated. An analytical review of the literature was conducted, in particular regarding the perspective of adding spirulina as a functional component.

Microbiological and biochemical characteristics of Spirulina platensis were analyzed according to the literature, and the biotechnological method of obtaining spirulina biomass was considered.

The subject of the study is the study of the effect of dry biomass of Spirulina platensis on the qualitative characteristics of functional yogurt. The purpose of the work: improvement of the biotechnological production of functional yogurt by adding spirulina biomass. Adding dried biomass of blue-green algae Spirulina platensis to yogurt will provide an additional source of biologically active substances and growth factors for lactic acid bacteria in the milk fermentation process and will allow maintaining a high number of viable lactic acid bacteria during the shelf life of yogurt.

Samples of functional yogurt with the addition of dry Spirulina platensis biomass using a classic starter culture based on lactic acid bacteria were obtained. The content of dry spirulina was 0.5, 1 and 2 % (wt./vol.). The quality indicators of the obtained functional yogurt were analyzed in accordance with the requirements of DSTU. Within 14 days, all samples withstood tests for active and titrated acidity, titer of viable lactic acid bacteria. It was determined that the optimal addition of Spirulina platensis biomass in an amount of 1 % is required, which ensures the improvement of the microbiological properties of the product, while maintaining high consumer qualities. Based on the conducted studies, it was concluded that the use of spirulina biomass has a positive effect on yogurt both during preparation, reducing the duration of fermentation, and during product storage, ensuring a high titer of viable lactic acid bacteria.

Key words: functional nutrition, functional yogurt, lactic acid bacteria, cyanobacterial biomass, Spirulina platensis.