

УДК 604.2:661.74:664.951.2

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2025.30>

ЗАСТОСУВАННЯ МОЛОЧНОКИСЛОЇ МІКРОФЛОРИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ СОЛЕНОЇ РИБИ *CLARIAS GARIEPINUS*

Ярослав Олександрович Кислиця

аспірант

<https://orcid.org/0009-0005-2223-8428>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

03041, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

Аліна Анатоліївна Менчинська

кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-8593-3325>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

03041, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

Світлана Григорівна Даниленко

доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0003-4470-4643>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

03041, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

Анотація. У статті наведено результати дослідження впливу молочнокислих бактерій (МКБ) на показники якості та безпечності філе африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*). Досліджено мікробіологічну безпеку, активність води (aw) та рівень рН соленого напівфабрикату протягом 5-денного періоду зберігання. Як біозахисні агенти застосовувалися *Lactobacillus plantarum* та комбінація *Lactobacillus casei* з *Lactobacillus rhamnosus*. Контрольний зразок не оброблявся бактеріями. Метою дослідження було встановити ефективність використання лактобактерій для покращення показників якості та безпечності рибної продукції.

За результатами мікробіологічного аналізу встановлено повну відсутність патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів у дослідних зразках після оброблення молочнокислими бактеріями *Lactobacillus plantarum* та зразку обробленому *Lactobacillus casei* з *Lactobacillus rhamnosus*, тоді як у контрольному зразку виявлено наявність бактерій групи кишкової палички. Зменшення активності води в оброблених зразках відбувалося поступово протягом зберігання – з початкових значень у межах 0,909–0,955 до 0,602–0,724 на п'ятий день. Таке зниження свідчить про метаболічну активність лактобактерій, зокрема утворення органічних кислот і екзополісахаридів, що зв'язують вільну воду й ускладнюють ріст мікроорганізмів.

Визначено динаміку зміни рН у філе: у контрольному зразку рН коливалося в межах 6,19–6,36, тоді як у зразках з LAB зафіксовано тенденцію до незначного підвищення або стабілізації цього показника (максимальне значення – 6,66). Така поведінка рН є важливою для забезпечення стабільного кислотно-лужного середовища, що додатково обмежує розвиток небажаної мікрофлори.

Таким чином, отримані результати підтверджують доцільність і ефективність застосування молочнокислих бактерій у технологіях обробки та зберігання філе *Clarias gariepinus*. Молочнокислі бактерії сприяють комплексному покращенню мікробіологічної безпеки, фізико-хімічної стабільності та є перспективною природною альтернативою хімічним консервантам для забезпечення продовженого терміну зберігання рибної сировини.

Ключові слова: африканський кларієвий сом, молочнокислі бактерії, мікробіологічна безпека, активність води, рН, біотехнологічна обробка

UDC 604.2:661.74:664.951.2

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2025.30>

APPLICATION OF LACTIC ACID BACTERIA FOR ENSURING THE SAFETY OF SALTED CLARIAS GARIEPINUS

Yaroslav Kyslytsia

Postgraduate student

<https://orcid.org/0009-0005-2223-8428>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine

Alina Menchynska

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8593-3325>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine

Svitlana Danylenko

Doctor of Technical Sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0003-4470-4643>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine

Abstract. This article presents the results of a study on the effects of lactic acid bacteria (LAB) on the quality and safety indicators of African catfish (*Clarias gariepinus*) fillets. Microbiological safety, water activity (aw), and pH levels of the salted semi-finished product were monitored over a 5-day storage period. As bioprotective agents, *Lactobacillus plantarum* and a combination of *Lactobacillus casei* with *Lactobacillus rhamnosus* were used. The control sample was not treated with bacteria. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of LAB application in improving the quality and safety of fish products.

Microbiological analysis showed a complete absence of pathogenic and opportunistic microorganisms in the LAB-treated samples, while in the control sample, coliform bacteria were detected. A gradual decrease in water activity was observed in the treated samples—from initial values of 0.909–0.955 to 0.602–0.724 on the fifth day of storage. This reduction reflects the metabolic activity of LAB, particularly the production of organic acids and exopolysaccharides, which bind free water and hinder microbial growth.

The dynamics of pH changes were also evaluated: in the control sample, pH ranged from 6.19 to 6.36, while in LAB-treated samples, a trend toward slight increase or stabilization was noted (maximum value – 6.66). This may be attributed to the fermentative activity of LAB, the buffering capacity of fish proteins, and the generation of low-molecular compounds during storage. Such pH behavior plays a significant role in maintaining a stable acid-base environment, which additionally inhibits the development of undesirable microflora.

Thus, the obtained results confirm the feasibility and effectiveness of using lactic acid bacteria in the processing and storage of *Clarias gariepinus* fillets. LAB treatment contributes to the comprehensive improvement of microbiological safety and physicochemical stability, representing a promising natural alternative to chemical preservatives for extending the shelf life of fish raw materials.

Keywords: African catfish, lactic acid bacteria, microbiological safety, water activity, pH, biotechnological treatment.

ВСТУП. У сучасних умовах важливим завданням є створення харчових продуктів, які поєднують високу харчову цінність з безпечністю. Від якості та безпечності продуктів

безпосередньо залежить стан здоров'я споживачів, тому пріоритет надається технологіям, що дозволяють мінімізувати мікробіологічні ризики без використання синтетичних консервантів. Особливо це актуально для продукції з риби, яка є біологічно цінною, але вразливою до швидкого псування. Впровадження сучасних біотехнологічних підходів, зокрема застосування молочнокислих бактерій, відкриває нові можливості для підвищення стабільності рибної сировини під час зберігання.

Споживання риби асоціюється зі зниженням ризику розвитку метаболічного синдрому, онкологічних захворювань, дегенеративних уражень сітківки ока та психічних розладів, таких як депресія (Sisovic et al., 2017; Zang et al., 2018). Крім того, риба є джерелом вітаміну D, вітаміну B12, йоду та селену, що сприяють зміцненню кісток, кровотворенню та стабільному функціонуванню щитоподібної залози. Водночас актуальним є пошук нових джерел рибної сировини для виробництва функціональних продуктів із високим вмістом білка та низькою калорійністю. У цьому контексті перспективним об'єктом є африканський кларієвий сом (*Clarias gariepinus*), який характеризується високою харчовою цінністю, хорошими смаковими якостями та економічною ефективністю вирощування. Його культивування активно розвивається у країнах Азії, Африки та Європи (Kyslytsia & Menchynska, 2025). Завдяки високому вмісту білка, ненасичених жирних кислот і низькому вмісту жиру, ця риба є оптимальною сировиною для створення продуктів здорового харчування.

Сучасна харчова наука й технології спрямовані на створення безпечних рибних продуктів із мінімальним вмістом солі та без використання шкідливих консервантів. Впроваджуються інноваційні технологічні рішення, зокрема використання природних антимікробних агентів, біоконсервації, високого тиску, ферментації, модифікованої газової атмосфери, що дозволяють забезпечити мікробіологічну стабільність без негативного впливу на харчову цінність та органолептичні властивості. Серед природних методів перспективним напрямом є застосування молочнокислих бактерій як біозахисних культур, здатних інгібувати патогенні мікроорганізми, стабілізувати кислотно-лужний баланс і знижувати активність води, що особливо актуально при зберіганні рибної сировини.

Однією з проблем при зберіганні рибної сировини є швидке мікробіологічне псування. У зв'язку з цим особливу увагу привертають біотехнологічні підходи до збереження її якості, зокрема використання молочнокислих бактерій (МКБ) як природного біозахисного чинника. МКБ здатні пригнічувати ріст патогенних мікроорганізмів завдяки синтезу органічних кислот, перекису водню, бактеріоцинів та екзополісахаридів, а також впливати на активність води (*aw*), яка є одним із ключових параметрів мікробіологічної стабільності (Hassan et al., 2021).

Крім активності води, не менш важливим показником якості харчових продуктів, зокрема рибної сировини, є рівень pH. Зміни цього параметра впливають на функціонування ферментних систем, активність патогенів та інтенсивність окислювальних процесів у м'язовій тканині. Молочнокислі бактерії, продукуючи органічні кислоти, перекис водню, бактеріоцини та екзополісахариди, змінюють кислотність середовища, що пригнічує розвиток патогенів і збільшує тривалість зберігання рибної сировини (Silva et al., 2018; García-González et al., 2019; Labuza & Altunakar, 2021).

Таким чином, дослідження впливу молочнокислих бактерій на мікробіологічну безпеку та фізико-хімічні показники рибної сировини, зокрема активність води та рівень pH, є важливим напрямом у забезпеченні якості та подовженні термінів зберігання продуктів із африканського сома.

Мета дослідження полягала у встановленні ефективності біотехнологічного оброблення філе африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*) із застосуванням молочнокислих бактерій *Lactobacillus plantarum* та комбінації *L. casei* з *L. rhamnosus* як природного біозахисного чинника для підвищення мікробіологічної стабільності, стабілізації фізико-хімічних показників і подовження терміну зберігання рибної сировини без використання хімічних консервантів.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Молочнокислі бактерії (МКБ) є широко досліджуваними мікроорганізмами з точки зору їх антагоністичних властивостей до патогенів та псувальної мікрофлори у продуктах тваринного походження. Їх застосування у рибній промисловості, зокрема при зберіганні філе африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*), викликає значний науковий інтерес. У роботі Mercy Olorunshola та співавт. (2025) було продемонстровано, що штами МКБ, виділені з кишківника африканського сома, мають антимікробну активність щодо мультирезистентних ентеробактерій, таких як *Enterobacter cancerogenus* та *Enterobacter cloacae* (Olorunshola et al., 2025). Автори зафіксували зони інгібування діаметром понад 20 мм, що свідчить про перспективність таких ізолятів для біозахисту рибної продукції.

Інше дослідження, проведене Nurhayati та ін. (2023), зосереджене на ізоляції LAB із кишечника дикого *Clarias gariepinus*. Ідентифіковані штами *Lactococcus lactis* і *Weissella confusa* продемонстрували антагоністичну дію проти *Edwardsiella ictaluri* – типового збудника бактеріальної септицемії у сомових (Nurhayati et al., 2023). Дослідники вказують на доцільність використання таких LAB як пробіотиків не лише для профілактики хвороб, а й для покращення якості зберігання сировини.

Подібні результати наведено в інших роботах, де LAB, виділені з риби або морепродуктів, проявляють антимікробну дію щодо *Aeromonas hydrophila*, *Salmonella enterica*, *Pseudomonas* spp. і *Listeria monocytogenes*. Водночас, окрім антагоністичних властивостей, LAB сприяють стабілізації фізико-хімічних параметрів продукту, зокрема активності води (*aw*) та pH.

Активність води (*aw*) вважається одним із ключових чинників, що визначає мікробіологічну стабільність рибної сировини.

Окрім *aw*, важливим фактором стабільності рибної сировини є рівень pH, який впливає на активність ферментів, чутливість білкових структур до гідролізу, а також на здатність мікроорганізмів до розмноження. Молочнокислі бактерії, продукуючи органічні кислоти, перекис водню, бактеріюцини та екзополісахариди, змінюють кислотність середовища, що пригнічує розвиток патогенів і збільшує тривалість зберігання рибної сировини (Silva et al., 2018; García-González et al., 2019; Labuza & Altunakar, 2021).

Таким чином, pH та активність води виступають не лише критеріями мікробіологічної стабільності продукту, а й важливими індикаторами ефективності застосування біозахисних технологій. У випадку з африканським кларієвим сомом, з огляду на його високу харчову цінність та популярність в аквакультурі, актуальним є дослідження динаміки зміни *aw* і pH під впливом різних штамів молочнокислих бактерій. Поєднання мікробіологічного контролю з фізико-хімічними показниками дозволяє забезпечити не лише безпеку, а й підвищити стабільність та терміни зберігання рибної сировини без використання хімічних консервантів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. У дослідженні використано філе африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*), вирощеного в умовах рециркуляційної аквакультури. Рибу забивали у віці 9 місяців. Філе обробляли на філе одразу після патрання, охолоджували до температури 0–2 °C.

У якості біозахисних агентів застосовували наступні штами молочнокислих бактерій: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* • *Lactobacillus rhamnosus*.

Штами використовували як індивідуально, так і у складі комбінованих заквасок. Концентрація робочої суспензії становила 10⁸ КУО/мл. Обробку здійснювали шляхом занурення шматків філе у бактеріальні суспензії протягом 10 хвилин при температурі 4 °C. Контрольний зразок не обробляли.

Після оброблення зразки зберігалися у стерильних полімерних контейнерах при температурі +4 °C. Спостереження проводили протягом 5 діб. Відбір проб здійснювали у такі дні: 1 (після оброблення), 2, 3, 4, 5 день зберігання. Для оцінки мікробіологічної безпеки визначали: кількість молочнокислих бактерій (МБК), наявність бактерій групи кишкової

палички (БГКП), патогенних мікроорганізмів, у тому числі *Salmonella* spp. та *Staphylococcus aureus*.

Аналіз проводили згідно з вимогами ДСТУ 30726:2006, ДСТУ ISO 4833:2006, ДСТУ ISO 6579-1:2021. Посіви виконували на селективні живильні середовища. Результати виражали у КУО/г або за фактом наявності/відсутності мікроорганізмів у певному об'ємі.

Активність води (*aw*) у зразках вимірювали за допомогою аналізатора активності води HygroLab C1 (Rotronic, Швейцарія). Перед дослідженням зразки витримували до стабілізації температури при 20 °С. Для кожного зразка проводили щонайменше три вимірювання. Похибка методу не перевищувала $\pm 0,003$ *aw*.

Рівень рН визначали потенціометричним методом за допомогою лабораторного рН-метра рН-150МІ (Україна) з комбінованим електродом. Вимірювання проводили у подрібненому зразку філе, попередньо гомогенізованому у співвідношенні 1:10 з дистильованою водою. Перед вимірюванням прилад калібрували буферними розчинами з рН 4,0 і 7,0. Кожне вимірювання проводили у трьох повтореннях, результати виражали у середньому значенні з точністю $\pm 0,01$ рН.

Отримані дані обробляли за допомогою методів описової статистики з розрахунком середнього арифметичного значення та стандартного відхилення. Побудову графіків і візуалізацію результатів здійснювали у програмному середовищі Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Мікробіологічна оцінка філе *Clarias gariepinus* після оброблення LAB наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Мікробіологічна оцінка м'яса кларієвого сома

Зразок	БГКП (колі-форми), г	МБК, КУО/Г	Staph. aureus,	Патогенні мікроорганізми, у т.ч. <i>Salmonella</i>
Контроль	Наявні в 0,1 г	$1,0 \cdot 10^3$	Відсутні в 1 г	Відсутні в 25 г
<i>Lactobacillus casei</i> + <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Наявні в 0,1 г	$4,0 \cdot 10^6$	Відсутні в 1 г	Відсутні в 25 г
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Відсутні в 1 г	$5,3 \cdot 10^6$	Відсутні в 1 г	Відсутні в 25 г

Джерело: розроблено автором на основі досліджень згідно ДСТУ 30726:2006, ДСТУ ISO 4833:2006, ДСТУ ISO 6579-1:2021.

Мікробіологічні дані, наведені у таблиці 1, свідчать про суттєві позитивні зміни у санітарному стані філе африканського кларієвого сома після біооброблення молочнокислими бактеріями *Lactobacillus plantarum*. У цьому зразку повністю відсутні бактерії групи кишкової палички, не виявлено *Staphylococcus aureus* та патогенних мікроорганізмів, включаючи *Salmonella* spp.

Оброблення комбінацією *L. casei* + *L. rhamnosus* не дало позитивного ефекту щодо бактерій групи кишкової палички. Присутність БГКП може свідчити про незначну залишкову контамінацію або конкуренцію між компонентами закваски на ранньому етапі колонізації.

Кількість молочнокислих бактерій (МБК) становила $4,0 \cdot 10^6$ КУО/г у зразку з комбінацією *L. casei* + *L. rhamnosus* і $5,3 \cdot 10^6$ КУО/г у зразку з *L. plantarum*, що вказує на активне розмноження LAB у тканині риби та створення несприятливих умов для розвитку умовно-патогенної мікрофлори. Ці показники узгоджуються з попередніми дослідженнями, де LAB характеризувалися високим рівнем колонізації субстрату при температурі 4–6 °С (Gaggia et al., 2011).

Контрольний зразок, який не зазнавав обробки LAB, виявився мікробіологічно нестабільним: БГКП були виявлені вже у 0,1 г продукту, а кількість молочнокислих бактерій

становила лише $1,0 \cdot 10^3$ КУО/г. Така низька кількість LAB у контрольному зразку свідчить про відсутність захисної мікрофлори, яка могла б конкурувати з контамінантами та пригнічувати їх ріст. Виявлення кишкової палички у незначній масі продукту вказує на високий рівень фонові контамінації, що є типовим для риби без спеціальної обробки.

В цілому, результати підтверджують ефективність LAB у якості біозахисного чинника. Їх антагоністична дія реалізується через синтез молочної кислоти, перекису водню, бактеріоцинів, а також за рахунок зниження рН середовища і конкуренції за субстрат. У зразках з *L. plantarum* спостерігається повна елімінація патогенної мікрофлори, що свідчить про високу ефективність цих штамів у забезпеченні мікробіологічної безпеки продукції.

Отримані дані узгоджуються з висновками Olorunshola et al. (2025), які вказували на здатність LAB, ізолюваних із кишечника африканського сома, пригнічувати ріст мультирезистентних ентеробактерій.

Таким чином, результати мікробіологічної оцінки свідчать про перспективність застосування LAB у переробці африканського сома. Особливо ефективною виявилась дія *L. Plantarum*.

Активність води (water activity, aw) є одним із ключових фізико-хімічних показників, що визначає доступність вільної води у харчовому продукті для росту та розмноження мікроорганізмів. Вона характеризує енергійний стан води і виражається у відносній величині – від 0 (відсутність доступної води) до 1,0 (вільна вода). На відміну від вологості, яка визначає загальний вміст води в продукті, aw дає уявлення саме про ту частку вологи, яка може бути використана мікроорганізмами для своєї життєдіяльності.

Більшість патогенних бактерій розвиваються при $aw > 0,91$, дріжджі – при $aw > 0,88$, а плісняві гриби – при $aw > 0,75$. Зниження цього показника нижче критичних меж дозволяє пригнічувати ріст небажаної мікрофлори та подовжити термін зберігання продукції. Саме тому контроль за aw є важливою складовою при розробці технологій зберігання, консервування та пакування харчових продуктів (García-González et al., 2019; Labuza & Altunakar, 2021; Fadhel et al., 2022).

Зведені дані змін активності води протягом досліджуваного періоду представлені на рисунку 1.

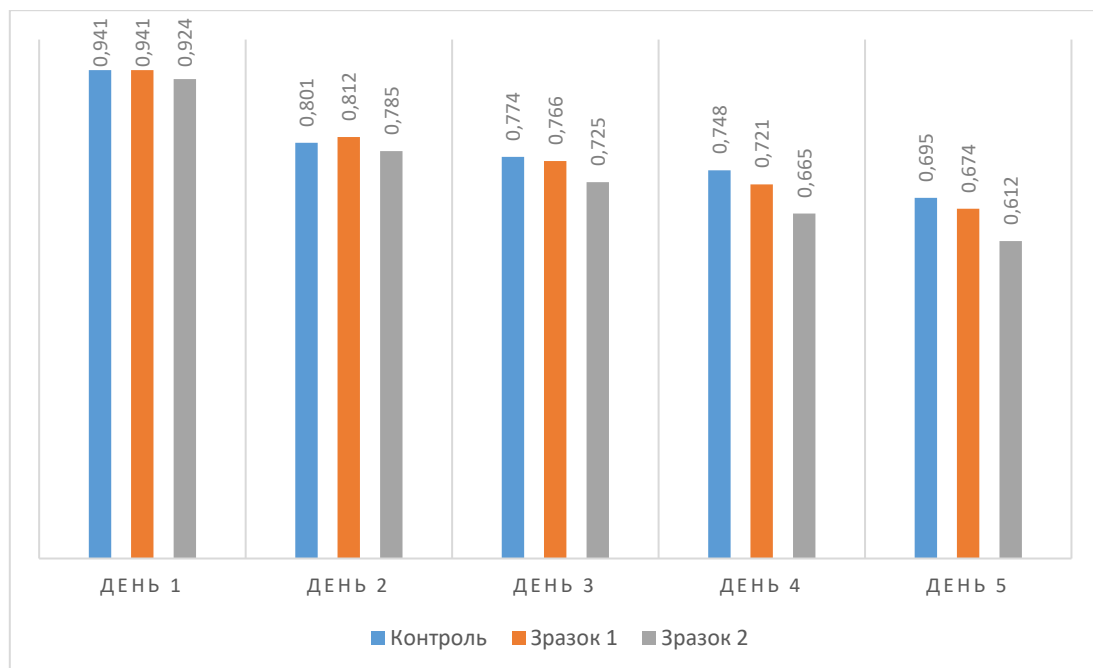


Рисунок 1. Динаміка зміни активності води соленого м'яса кларієвого сома
Джерело: розроблено автором.

У численних дослідженнях відзначається, що застосування LAB у процесі ферментації або біообробки рибної сировини сприяє поступовому зниженню активності води. Наприклад, Gaggia та ін. (2011) наводять дані щодо зменшення a_w з 0,96 до 0,75–0,80 в умовах зберігання при 4–6 °C. Це зниження обумовлено метаболічною активністю LAB, які продукують органічні кислоти, екзополісахариди та інші речовини, що зв'язують вільну воду та змінюють осмотичні характеристики середовища.

Отримані результати свідчать про активну метаболічну діяльність LAB у м'язовій тканині африканського сома. Зменшення a_w є наслідком продукції органічних кислот, екзополісахаридів та зміни осмотичного тиску, що узгоджується з сучасними дослідженнями щодо біозахисних механізмів LAB у рибній продукції (Silva et al., 2018; García-González et al., 2019; Fadhel et al., 2022).

Таке зниження активності води не лише обмежує ріст патогенів, але й сприяє формуванню стабільних умов зберігання без потреби у хімічних консервантах.

У день біооброблення активність води (a_w) у дослідних зразках становила в межах 0,909–0,955, що є типовим значенням для свіжої рибної сировини. Протягом усього періоду зберігання (5 днів при температурі +4 °C) у зразках, оброблених молочнокислими бактеріями, спостерігалось поступове зниження a_w .

Найбільш виражене зменшення активності води було зафіксовано у зразку, обробленому *Lactobacillus plantarum*, де на п'ятий день a_w становила 0,612. Це свідчить про високу здатність даного штаму активно зв'язувати вільну воду, що є критичним фактором у стримуванні розвитку патогенної мікрофлори.

Комбінація *Lactobacillus casei* та *L. rhamnosus* забезпечила також суттєве зниження a_w – до 0,674, проте цей показник був дещо вищим, ніж у зразку з *L. plantarum*. У контрольному зразку, який не піддавався обробці LAB, a_w залишалася вищою і становила 0,695, що вказує на меншу мікробіологічну стабільність соленого продукту без біооброблення.

Динаміка змін рН у контрольному та дослідних зразках наведена на рисунку 2.

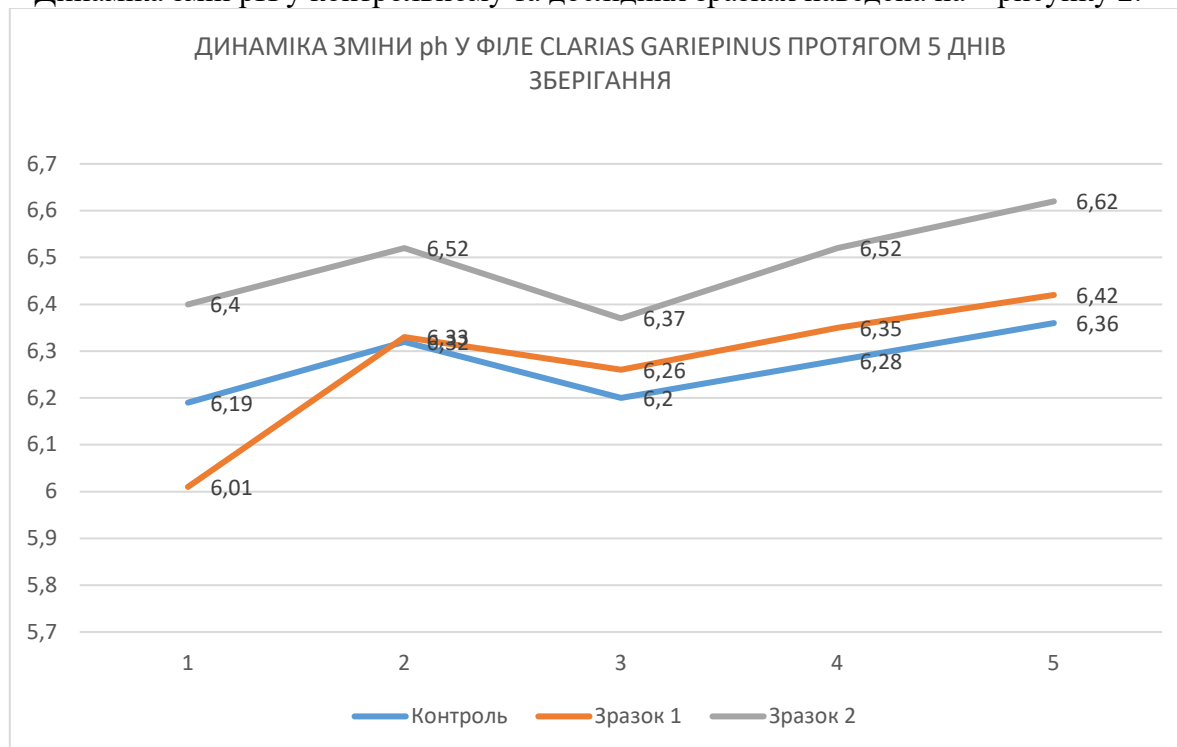


Рисунок 2. Динаміка зміни рН середовища соленого м'яса кларієвого сома

Джерело: розроблено автором

Графік зміни рН у філе *Clarias gariepinus* протягом п'яти днів зберігання демонструє чіткі відмінності між контрольним зразком та зразками, обробленими молочнокислими

бактеріями (рисунк 2). У контрольному зразку початкове значення рН становило 6,19, після чого відзначалося незначне зростання до 6,36 на п'ятий день. Така динаміка є типовою для рибної сировини без біозахисної обробки і свідчить про автолітичні процеси, пов'язані з розпадом білкових сполук і вивільненням основ, зокрема аміаку та амінів. Ці сполуки зумовлюють поступове лужне зміщення рН середовища, що водночас створює сприятливі умови для розвитку псувної мікрофлори.

Результати демонструють, що LAB сприяють зниженню активності води внаслідок метаболічних процесів, таких як утворення органічних кислот та екзополісахаридів, які здатні зв'язувати вільну воду й знижувати водоутримувальну здатність середовища. Це є важливим фактором у пригніченні росту умовно-патогенної мікрофлори та подовженні терміну придатності продукту.

Дослідження показує, що LAB мають стабілізуючий ефект як на a_w , так і на рН, особливо у рибних продуктах, які зберігаються в умовах охолодження. У ферментованій рибі, зокрема у продуктах із *Clarias gariepinus*, рівень рН може або знижуватися за рахунок активного утворення кислот, або стабілізуватися завдяки буферним властивостям білків, що залежить від штаму LAB і часу зберігання (Sánchez-Martín et al., 2025).

У дослідному зразку 1, який було оброблено комбінацією *Lactobacillus casei* та *L. rhamnosus*, спостерігалось стабільне і поступове підвищення рН: від 6,01 у перший день до 6,42 на п'ятий день зберігання. Помірне зростання цього показника може бути пов'язане з утворенням LAB деяких лужних метаболітів – зокрема амінокислот, пептидів або слідів аміаку, – які утворюються внаслідок протеолітичної активності, але не досягають рівня, небезпечного для якості продукції. У той же час, LAB обмежують розвиток сторонньої мікрофлори, підтримуючи загальну кислотно-лужну рівновагу.

Зразок 2, оброблений *Lactobacillus plantarum*, характеризувався найвищим рівнем рН на старті – 6,40, і демонстрував чітку тенденцію до помірного зростання до 6,62 на завершальному етапі зберігання. Такий рівень може бути обумовлений буферною ємністю білкових структур, а також активністю LAB у перерозподілі іонів амонію та впливі на білковий баланс.

Загалом, зразки, оброблені LAB, демонстрували стабільніші значення рН із менш вираженими коливаннями, ніж контроль. Це свідчить про позитивний вплив LAB на кислотно-лужний баланс, а також їхню здатність пригнічувати активність протеолітичної псувної мікрофлори. У поєднанні зі зниженням a_w та відсутністю патогенних мікроорганізмів та БГКП, така поведінка рН є додатковим підтвердженням ефективності LAB як біозахисного інструменту у зберіганні рибної сировини.

Загалом, результати свідчать, що LAB сприяють підтриманню кислотно-лужного балансу в межах, які не є сприятливими для розвитку патогенної та псувної мікрофлори. Це узгоджується з даними які зазначали, що вплив LAB на рН може варіювати залежно від штаму, типу середовища та умов культивування, проте загалом сприяє підвищенню мікробіологічної стабільності. Таким чином, стабілізація рН у дослідних зразках є додатковим чинником, який підтверджує ефективність застосування LAB для зберігання філе *Clarias gariepinus* і забезпечення його мікробіологічної безпеки (Silva et al., 2018; Dabadé et al., 2021; Fadhel et al., 2022).

Згідно з сучасними дослідженнями, LAB впливають не лише на активність води, але й на рН рибної сировини завдяки утворенню органічних кислот, екзополісахаридів і низькомолекулярних метаболітів. Це сприяє стабілізації кислотно-лужного балансу, пригніченню розвитку псувної мікрофлори та підвищенню безпечності охолодженої продукції. Зокрема, Silva et al. (2018) довели, що культури *Lactobacillus plantarum* і *L. casei* здатні зменшувати активність води (a_w) і підтримувати рН у межах 6,2–6,6 у рибній сировині, забезпечуючи мікробіологічну стабільність без використання консервантів. Подібні результати наведені у дослідженні Dabadé et al. (2021), де оброблення африканського сома

культурами LAB дало змогу знизити мікробне навантаження та стабілізувати pH протягом охолодженого зберігання.

У роботі Olorunshola et al. (2025) наведені докази того, що LAB, ізольовані з кишечника африканського сома, мають антимікробну активність проти мультирезистентних патогенів – *Enterobacter spp.* і *Salmonella*, що співвідноситься з нашими результатами, хоча в тій роботі не розглядалася зміна aw і pH. Nurhayati et al. (2023) також підтвердили ефективність LAB у пригніченні *Edwardsiella ictaluri* – типової патогенної флори у сомів.

Зіставлення з даними інших дослідників підтверджує, що LAB, зокрема *L. plantarum*, проявляють широкий антагоністичний спектр дії, не погіршуючи сенсорні та фізико-хімічні властивості рибної сировини.

Таким чином, отримані нами дані підтверджують високий потенціал молочнокислих бактерій як природного біозахисного чинника у зберіганні рибної продукції. Особливістю нашого дослідження є комплексний підхід, що включає одночасне оцінювання мікробіологічної безпеки, активності води (aw) та динаміки зміни pH у філе африканського кларієвого сома *Clarias gariepinus*. Це дозволяє всебічно оцінити ефективність застосування LAB як альтернативи традиційним методам консервування.

У порівнянні з іншими науковими роботами, наші результати демонструють, що найбільш ефективним щодо стабілізації мікробіоти та фізико-хімічного стану рибної сировини є використання *Lactobacillus plantarum*. Водночас застосування комбінації *Lactobacillus casei* з *L. rhamnosus* також виявило значний біозахисний потенціал, що підтверджує доцільність подальших досліджень цих штамів для біотехнологічної обробки рибної продукції.

ВИСНОВКИ. Проведено комплексне дослідження впливу молочнокислих бактерій на мікробіологічну безпеку, активність води (aw) та рівень pH у соленому філе африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*) протягом п'яти днів охолодженого зберігання. Встановлено, що біооброблення філе африканського сома із застосуванням LAB дозволяє ефективно знизити бактеріальне навантаження, забезпечити мікробіологічну стабільність соленої продукції, суттєво зменшити активність води та pH без використання хімічних консервантів.

Результати мікробіологічних досліджень показали позитивний ефект використання *Lactobacillus plantarum* для знищення бактерій групи кишкової палички, що свідчить про перспективність використання LAB у якості природних біозахисних агентів у технології зберігання рибної сировини.

За результатами досліджень фізико-хімічних показників встановлено, що найбільш виражене зменшення активності води було зафіксовано у зразку, обробленому *Lactobacillus plantarum*, де на п'ятий день aw становила 0,612. Це свідчить про високу здатність даного штаму активно зв'язувати вільну воду, що є критичним фактором у стримуванні розвитку патогенної мікрофлори. Комбінація *Lactobacillus casei* та *L. rhamnosus* забезпечила також суттєве зниження aw – до 0,674. В результаті визначення pH, продемонстровано помірне, контрольоване підвищення значень до 6,62–6,66 у LAB-зразках, тоді як у контролі pH залишалося нижчим, але без ознак стабільності. Така динаміка pH у LAB-зразках свідчить про сприятливу біохімічну рівновагу, яка перешкоджає розмноженню патогенної мікрофлори.

Отримані результати підтверджують, що *Lactobacillus plantarum* та комбінація *L. casei* + *L. rhamnosus* мають виражений біозахисний потенціал. Їх застосування забезпечує стабілізацію ключових фізико-хімічних параметрів філе та дозволяє уникнути використання хімічних консервантів. Таким чином, LAB можуть бути ефективно застосовані для покращення безпеки та якості рибної продукції.

Подяки. Автори статті вдячні відділу аналітичних досліджень та якості харчової продукції Інституту продовольчих ресурсів НААН України за допомогу в проведенні мікробіологічних досліджень.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Appleton, K. M., Rogers, P. J., & Ness, A. R. (2010). Is there a role for n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in the regulation of mood and behaviour? *Proceedings of the Nutrition Society*, 69(4), 554–567. <https://doi.org/10.1017/S0029665110003383>
- Baik, I., Abbott, R. D., Curb, J. D., & Shin, C. (2010). Intake of fish and n-3 fatty acids and future risk of metabolic syndrome. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(7), 1018–1026. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2010.04.014>
- Dabadé, D. S., Douny, C., Scippo, M.-L., & Kpoclou, Y. E. (2021). Microbial safety and spoilage of African catfish during chilled storage: Effect of lactic acid bacteria treatment. *LWT*, 148, 111730. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111730>
- Fadhel, S. Z., Al-Nasser, H. A., & Kareem, R. M. (2022). Effect of water activity on microbial growth and shelf-life of fish-based products. *Foods*, 11(4), 502. <https://doi.org/10.3390/foods11040502>
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- García-González, L., Geeraerd, A. H., & Devlieghere, F. (2019). Water activity, microbial stability and biopreservation in seafood. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1461–1489.
- Gaggia, F., Mattarelli, P., & Biavati, B. (2011). Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*, 141(Suppl.), S15–S28. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031>
- Kyslytsia, O., & Menchynska, N. (2025). African catfish (*Clarias gariepinus*) as a promising raw material for healthy food production. *Human and Nation's Health*, 1, 90–92
- Labuza, T. P., & Altunakar, B. (2021). Water activity and food preservation: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 343–355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.006>
- Silva, C. C. G., Silva, S. P. M., & Ribeiro, S. C. (2018). Lactic acid bacteria as natural biopreservatives in seafood: mechanisms and applications. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1823. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01823>
- Morris, M. C., Tangney, C. C., Wang, Y., Sacks, F. M., Barnes, L. L., Bennett, D. A., & Aggarwal, N. T. (2016). MIND diet slows cognitive decline with aging. *Alzheimer's & Dementia*, 11(9), 1015–1022. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2014.04.010>
- Nurhayati, A. P. D., Zulaika, E., Amin, M., Setiawan, E., & Wijaya, Z. M. (2023). Isolation and screening of lactic acid bacteria producing anti-Edwardsiella from the gastrointestinal tract of wild catfish. *Open Agriculture*, 8(1), 20220212. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0212>
- Olorunshola, M. M., Agidigbi, T. S., & Adeniyi, B. A. (2025). Antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from the gut of African catfish (*Clarias gariepinus*) against multi-drug-resistant resident pathogens. *BMC Microbiology*, 25, Article 410. <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04139-5>
- Sánchez-Martín, J., Serrano-Heredia, S. M., Possas, A., Valero, A., & Carrasco, E. (2025). Evaluation of the antimicrobial effect of bioprotective LAB cultures against *Listeria monocytogenes* in cold-smoked rainbow trout. *Foods*, 14(11), 1951. <https://doi.org/10.3390/foods14111951>
- Sisović, D., Živković, M., & Bajić, M. (2017). Fish consumption and prevention of cardiovascular diseases. *Medicinski Glasnik*, 14(2), 214–220. <https://doi.org/10.17392/900-17>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2013). Fish matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 22–38. <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753405>
- Zang, J., Yu, H., Zhu, Z., Lu, Y., & Jiang, Y. (2018). Fish consumption and coronary heart disease: Meta-analysis. *Nutrients*, 10(12), 1931. <https://doi.org/10.3390/nu10121931>

Отримано 08.07.2025 р., прийнято до друку 23.10.2025 р.