

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-65>

УДК 579.873:664.67:663.1

КАЛІНІНА ГАЛИНА

Білоцерківський національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6178-7885>

e-mail: halyna.kalinina@btsau.edu.ua

КРИЖАК ЛІЛІЯ

Білоцерківський національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4882-897X>

e-mail: liliakrizhak44@gmail.com

БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО КОНТРОЛЮ ГІДРОЛІТИЧНИХ І ОКИСНИХ ПРОЦЕСІВ У ФАРШЕВИХ М'ЯСНИХ ПРОДУКТАХ ЗА ВИКОРИСТАННЯ СТАРТОВИХ КУЛЬТУР

У ферментованих м'ясних продуктах із підвищеним вмістом жиру за зберігання спостерігається нестійкість ліпідної складової, що зумовлено активним перебігом гідролітичних та окиснювальних реакцій. У результаті цього накопичуються продукти окиснення жирів, що негативно впливає на органолептичні властивості, знижує харчову цінність продукту і може призводити до утворення сполук, потенційно небезпечних для здоров'я людини. Водночас ключову роль у формуванні технологічних характеристик, структури та смако-ароматичних властивостей таких продуктів відіграють стартові культури молочнокислих мікроорганізмів. Хоча їх участь у біохімічних змінах основних компонентів м'ясної сировини добре відома, вплив цих культур на трансформацію ліпідів, зокрема на процеси ліполізу та окиснювального руйнування жирів, досліджено недостатньо.

Метою дослідження було вивчення ліполітичної активності стартових культур молочнокислих бактерій із високими функціонально-технологічними характеристиками та визначення їхнього впливу на інтенсивність гідролітичних і окиснювальних процесів у ліпідах ферментованих м'ясних виробів. Результати показали, що штами *Lbm. casei*, *Lbm. acidophilum* і *Lbm. bavaricus* не проявляють суттєвої ліполітичної активності, тоді як *Lbm. sakei* та *Lbm. brevis* демонструють високі значення цього показника — 12 і 14,5 од./мл відповідно. Разом із тим встановлено, що використання штамів *Lbm. casei* та *Lbm. bavaricus* забезпечує виражений антиоксидантний ефект у ліпідах яловичини, свинини та м'яса птиці, що проявляється у гальмуванні окиснювальних і гідролітичних процесів та зменшенні накопичення продуктів розпаду жирів.

Таким чином, отримані дані підтверджують перспективність використання окремих штамів молочнокислих бактерій у складі стартових культурних композицій при виробництві ферментованих м'ясних виробів. Їх застосування сприяє підвищенню стабільності ліпідної фракції, покращенню якості та безпечності продукції, а також подовженню термінів її зберігання.

Ключові слова: стартові культури, біотехнологічні процеси, ферментація, ліполітична активність, гідроліз, окиснення, оптимізація, технологія.

KALININA HALYNA, KRYZHAK LILIA

Bila Tserkva National Agrarian University

BIOTECHNOLOGICAL APPROACH TO CONTROLLING HYDROLYTIC AND OXIDATIVE PROCESSES IN MINCED MEAT PRODUCTS USING STARTER CULTURES

A significant challenge in the manufacture of fermented meat products is the instability of their lipid fraction during storage. The elevated fat content, often reaching 30–40%, promotes the rapid progression of hydrolytic and oxidative reactions. Consequently, oxidation products accumulate, leading to deterioration of sensory qualities, reduced nutritional value, and the formation of potentially harmful compounds. Meanwhile, lactic acid bacteria used as starter cultures play a key role in shaping the technological, structural, and sensory characteristics of these products. Although their involvement in the biochemical modification of primary meat components is well established, their impact on lipid transformation—particularly lipolysis and oxidative fat degradation—has not been sufficiently explored.

The objective of this research was to assess the lipolytic activity of lactic acid bacterial starter cultures with strong functional and technological properties, as well as to determine their influence on the rate of oxidative and hydrolytic changes in lipids derived from various types of meat raw materials. The findings revealed that *Lbm. casei*, *Lbm. acidophilum*, and *Lbm. bavaricus* showed no significant lipolytic activity, whereas *Lbm. sakei* and *Lbm. brevis* demonstrated relatively high activity levels of 12 and 14.5 U/mL, respectively. In addition, notable antioxidant effects were observed in beef, pork, and poultry lipids when strains such as *Lbm. casei* and *Lbm. bavaricus* were applied, as they effectively suppressed oxidative and hydrolytic reactions and reduced the accumulation of lipid degradation products.

These results highlight the potential of incorporating selected lactic acid bacteria strains into starter culture consortia for fermented meat production. Their application can enhance lipid stability, improve product quality and safety, and prolong shelf life.

Keywords: starter cultures, biotechnology, fermentation, lipolytic activity, hydrolytic reactions, oxidative reactions.

Стаття надійшла до редакції / Received 17.03.2026

Прийнята до друку / Accepted 16.04.2026

Опубліковано / Published 28.05.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Калініна Галина, Крижак Лілія

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Однією з ключових проблем сучасної м'ясопереробної промисловості є збереження стабільної якості та безпечності ферментованих м'ясних виробів за зберігання. Особливу увагу привертає нестабільність жирової фракції, яка за підвищеного вмісту жиру зазнає інтенсивних процесів гідролізу та окиснення. У результаті цих

реакцій накопичуються первинні й вторинні продукти окиснення ліпідів, що негативно впливає на органолептичні показники, знижує харчову цінність продукції та сприяє утворенню потенційно шкідливих для здоров'я сполук, тим самим скорочуючи тривалість зберігання.

Водночас використання стартових культур молочнокислих бактерій є важливим біотехнологічним інструментом у виробництві ферментованих м'ясних продуктів, оскільки вони беруть участь у регуляції ферментаційних процесів, формуванні якісних характеристик та забезпеченні мікробіологічної безпеки. Проте їхній вплив на гідролітичні та окиснювальні зміни ліпідів м'ясної сировини досі залишається недостатньо дослідженим, що ускладнює обґрунтований добір ефективних штамів для стартових культур.

Таким чином, важливим науково-прикладним завданням є вивчення участі молочнокислих бактерій у регуляції процесів ліполізу й окиснення жирів, а також обґрунтування доцільності їх застосування для підвищення стабільності, якості та безпечності ферментованих м'ясних продуктів.

Аналіз досліджень та публікацій

На сьогодні у науково-технічній літературі представлено значний масив даних, що підтверджують позитивний вплив харчових продуктів, збагачених культурами пробіотичних мікроорганізмів, на стан здоров'я людини. Зокрема, встановлено їхню здатність зменшувати ризик розвитку злоякісних новоутворень, полегшувати прояви харчових алергічних реакцій, підвищувати імунний захист організму, проявляти гіпохолестеринемічний ефект, а також сприяти детоксикаційним процесам. Стартові культури належать до групи пробіотичних мікроорганізмів, які беруть участь у формуванні нормобіоти шлунково-кишкового тракту людини [3, 9, 10].

На сучасному етапі значна увага дослідників зосереджена на застосуванні молочнокислих бактерій як стартових культур у технології ферментованих м'ясних виробів. У низці робіт підкреслюється їхня здатність знижувати показник рН, покращувати органолептичні властивості готової продукції, а також удосконалювати технологічні підходи до внесення культур і оптимізації умов ферментації м'ясної сировини [1, 2].

За зберігання м'ясних продуктів під дією біологічних і фізико-хімічних чинників у жировій тканині відбуваються інтенсивні гідролітичні та окиснювальні перетворення ліпідів. Провідна роль у процесах ліполізу належить як власним ліполітичним ферментам жирової тканини, так і ферментам супутньої мікрофлори. Окиснювальні зміни ліпідів відбуваються за механізмом вільнорадикальних ланцюгових реакцій, ініційованих впливом кисню, світла, підвищеної температури, солей важких металів та інших фізико-хімічних факторів [11, 12].

За тривалого зберігання ферментованих м'ясних виробів відбувається накопичення продуктів окиснення ліпідів, що негативно впливає на органолептичні властивості, харчову цінність і безпечність продукту, а також обмежує строк придатності цієї категорії продукції. Окрім окиснювальних змін, суттєве значення мають і гідролітичні процеси за участю ліполітичних ферментів, які також можуть знижувати якість жиромістких продуктів [7, 18, 19].

Роль ліполітичних ферментів стартових культур молочнокислих бактерій у процесах дозрівання ферментованих м'ясних виробів залишається недостатньо вивченою. З одного боку, ліполіз є необхідним для формування характерного смаку й аромату продукції, з іншого – надмірна його інтенсивність може призводити до дефектів, зокрема появи прогірклого присмаку та запаху, а також небажаних змін післясмаку [4, 8].

Ліполіз жирів є важливим етапом формування ароматичного профілю ферментованих м'ясних і молочних продуктів. У процесі його перебігу утворюються ді- та моногліцериди, вільні жирні кислоти (зокрема оцтова, масляна, капронова, валеріанова та інші), а також продукти їх подальшого перетворення — альдегіди, кетони, метилкетони, спирти та ефіри. Дослідження свідчать, що провідна роль у цих реакціях належить молочнокислим бактеріям, здатним синтезувати ліполітичні ферменти, які забезпечують трансформацію ліпідів [14, 17].

Утворені низькомолекулярні леткі жирні кислоти можуть надалі окиснюватися з формуванням пероксидних сполук, які під дією мікробних каталаз перетворюються на карбонільні сполуки. Саме ці продукти відіграють важливу роль у формуванні характерного смаку й аромату готових виробів [5, 6, 15].

Інтенсивність ліполітичних процесів значною мірою залежить від виду сировини, складу мікрофлори, а також умов і тривалості ферментації. Основним показником ступеня ліполізу є вміст вільних жирних кислот, за яким оцінюють глибину гідролітичного розщеплення ліпідів [13, 16].

З огляду на викладене, особливо актуальними є дослідження, спрямовані на науково обґрунтований підбір стартових культур для ферментованих м'ясних продуктів, які здатні не лише забезпечувати контрольований процес дозрівання та формування продукції з пробіотичними властивостями, але й ефективно стримувати окиснювальні процеси в ліпідній фракції за зберігання.

Формулювання цілей статті

Мета дослідження полягала в науковому обґрунтуванні вибору штамів молочнокислих бактерій для виробництва ферментованих м'ясних продуктів на основі оцінки їхньої ліполітичної активності та впливу на показники хімічної стабільності ліпідів за зберігання.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктами дослідження слугували стартові культури молочнокислих бактерій роду *Lactobacillus*, зокрема: *Lbm. delbrueckii*, *Lbm. fermentum*, *Lbm. acidophilum*, *Lbm. plantarum*, *Lbm. bavaricus*, *Lbm. brevis*, *Lbm. paracasei* та *Lbm. sakei*, які характеризуються високим рівнем функціонально-технологічних властивостей.

Культивування клітин молочнокислих бактерій здійснювали у поживному середовищі MRS за температури 37 °C протягом 24 годин. Після завершення інкубації біомасу відокремлювали від культурального середовища шляхом центрифугування (8000 об/хв, 15 хв).

Ліполітичну активність визначали за модифікованою методикою Ота та Ямада. У реакційну колбу об'ємом 20–30 см³ вносили 0,9 см³ нейтральної оливкової олії та 0,7 см³ фосфатного буфера (рН 7,0), після чого суміш інтенсивно перемішували шляхом струшування. Далі додавали 1 см³ культуральної рідини та інкубували протягом 2–3 хв інтенсивного перемішування. Гідроліз проводили за температури 37 °С упродовж 2 годин, після чого реакцію зупиняли внесенням 10 см³ етанолу. Утворені продукти гідролізу титрували 0,05 М розчином NaOH у присутності 1 % розчину тимолфталейну. Контрольні проби готували аналогічно, але без етапу ферментативного гідролізу. Питому ліпазну активність виражали в мкмоль олеїнової кислоти, що утворюється за 1 годину з 1 см³ культуральної рідини при гідролізі субстрату (оливкової олії).

Для експериментальних досліджень використовували яловичину вищого ґатунку, напівжирну свинину та грудні м'язи птиці, на основі яких готували модельні фаршеві системи з умістом жиру 25 %. Подрібнення сировини здійснювали за допомогою лабораторної м'ясорубки з діаметром отворів решітки 4 мм. У підготовлений фарш вносили стартові культури молочнокислих бактерій у кількості 10⁷ КУО/г з подальшим ретельним перемішуванням. Контрольні зразки готували без додавання бактеріальних культур. Зберігання модельних систем проводили в охолоджених умовах за температури 2 ± 2 °С.

Оцінку впливу стартових культур на перебіг окиснювальних процесів у ліпідній фракції здійснювали за показниками кислотного числа (ДСТУ ISO 660:2009), пероксидного числа (ДСТУ ISO 3960:2001) та тіобарбітурового числа (TBARS) із використанням валідованих лабораторних методик.

Виклад основного матеріалу

Досліджувані штами молочнокислих бактерій характеризуються широким спектром функціонально-технологічних властивостей, що підтверджує їхню цінність і доцільність застосування у технології м'ясних продуктів (табл. 1). Зокрема, вони відзначаються високою кислотоутворювальною активністю, яка забезпечує швидке зниження рН та, відповідно, підвищення мікробіологічної безпечності продукції. Крім того, зазначені мікроорганізми проявляють антагоністичні властивості щодо санітарно-показової мікрофлори, що сприяє пригніченню розвитку патогенних і псувальних мікроорганізмів.

Додатковою перевагою є їхня здатність зберігати активність за дії несприятливих факторів середовища, зокрема коливань температури, підвищеного осмотичного тиску та наявності консервувальних компонентів. Це забезпечує стабільність процесів ферментації та їхню технологічну надійність. У сукупності ці властивості підтверджують перспективність використання молочнокислих бактерій як біотехнологічних компонентів у виробництві м'ясних виробів, що може сприяти підвищенню якості, безпечності та подовженню термінів зберігання готової продукції [3, 4, 14].

Таблиця 1

Морфологічні та ферментаційні характеристики молочнокислих бактерій

Культура	Форма та розміри клітин	Характеристика колоній	Оптимальна температура росту, °С	Тип молочнокислого бродіння
<i>Lbm. casei</i>	палички (1,5–2,0) мкм	дрібні, білуваті, куполоподібні	30 – 37	гомоферментативний
<i>Lbm. delbrueckii</i>	палички (0,5–0,8 × 3,5) мкм	дрібні, опуклі, білуваті, блискучі	37 – 42	гомоферментативний
<i>Lbm. fermentum</i>	палички (0,5–0,9) мкм	дрібні, округлі, білі	30 – 45	гетероферментативний
<i>Lbm. acidophilum</i>	палички (0,6–0,9 × 4,5) мкм	дрібні, округлі, білі	30 – 45	гомоферментативний
<i>Lbm. plantarum</i>	палички (0,9–1,2 × 6) мкм	дрібні, плоскі, білуваті	30–37	гомоферментативний
<i>Lbm. bavaricus</i>	палички (0,8–1,0 × 5) мкм	середні, округлі, сіруваті	32 – 37	гомоферментативний
<i>Lbm. brevis</i>	палички (2–4 × 0,7–1) мкм	дрібні, опуклі, білуваті, блискучі	25 – 37	гетероферментативний
<i>Lbm. paracasei</i>	палички (1,5–2,0) мкм	краплеподібні, білувато-кремові	30 – 37	гомоферментативний
<i>Lbm. sakei</i>	палички (0,7–3,0) мкм	округлі, опуклі, білувато-прозорі	30 – 35	гомоферментативний

Використання консорціумів мікроорганізмів у процесі дозрівання ферментованих м'ясних виробів, зокрема сушених і копчених ковбас, із залученням штамів молочнокислих бактерій, здатних до синтезу ліполітичних ферментів, є перспективним напрямом, оскільки сприяє формуванню характерних смакових і ароматичних властивостей, кольору та консистенції продукту. Ліполітична активність також може прискорювати процес дозрівання, покращуючи текстурні характеристики та ароматичний профіль готових виробів.

Водночас слід зазначити, що у вітчизняній науковій практиці подібні дослідження представлені обмежено, тому питання впровадження стартових культур із вираженою ліпазною активністю у технології ферментованих м'ясних продуктів залишаються актуальними як у науковому, так і в прикладному аспектах. Це

відкриває можливості для подальшого відбору та селекції штамів із підвищеною ліполітичною активністю, стабільністю за зберігання та здатністю позитивно впливати на функціональні й органолептичні властивості продукції.

З метою оцінки впливу стартових культур молочнокислих бактерій на гідролітичні процеси трансформації ліпідів було досліджено їхню здатність до продукування ліполітичних ферментів. Варто зазначити, що ліпіди не є основним джерелом енергії для молочнокислих бактерій, тому виявлена ліполітична активність пов'язана переважно з їхніми біосинтетичними потребами.

Результати визначення ліполітичної активності досліджуваних культур наведено на рисунку 1. Встановлено, що її рівень суттєво відрізняється між окремими штамми лактобацил, що, ймовірно, зумовлено їхніми видовими та штамовими особливостями. Отримані дані підтверджують доцільність використання ліпазоактивних культур у створенні функціональних ферментованих м'ясних продуктів із покращеними якісними, органолептичними та стабілізаційними характеристиками.

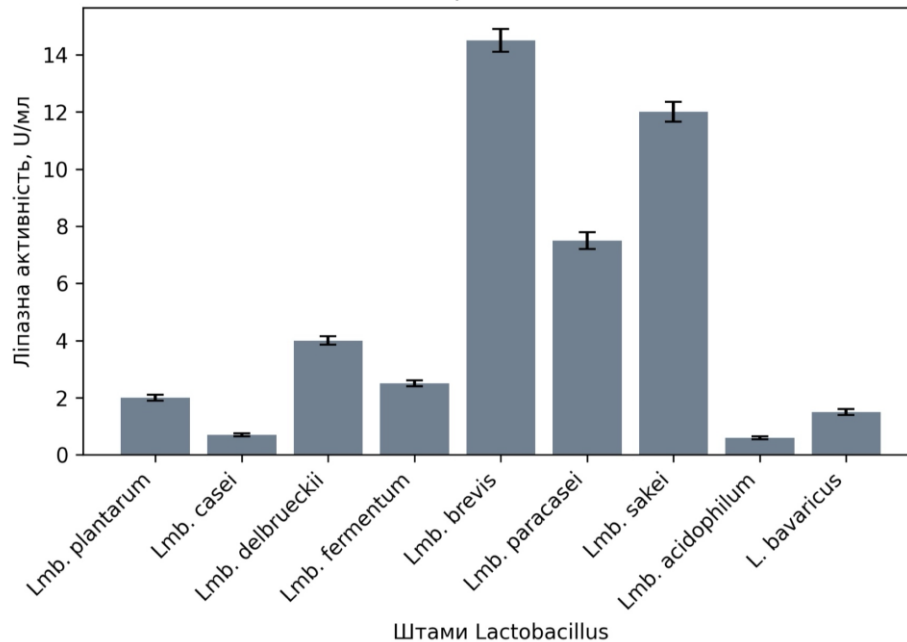


Рис. 1. Ліпазна активність молочнокислих бактерій

Первинний етап скринінгу біохімічних властивостей мікроорганізмів дав змогу розподілити досліджувані штами лактобацил за рівнем їхньої ліполітичної активності. Встановлено, що штами *Lbm. casei*, *Lbm. acidophilum* та *Lbm. bavaricus* не проявляють здатності до синтезу ліполітичних ферментів. Незначний рівень ліполітичної активності (у межах 4–5 од/см³) зафіксовано у штамів *Lbm. delbrueckii* та *Lbm. curvatus*. Найвищі показники активності продемонстрували культури *Lbm. sakei* та *Lbm. brevis*, у яких значення досягали 12,0 та 14,5 од/см³ відповідно.

На наступному етапі досліджень було проаналізовано інтенсивність окиснювальних процесів у ліпідній фракції м'ясного фаршу за умови внесення стартових культур. Для забезпечення коректності експерименту та виключення впливу гідролітичних змін, зумовлених дією бактеріальних ліпаз, було відібрано штами, що не характеризуються ліполітичною активністю (*Lbm. casei*, *Lbm. acidophilum*, *Lbm. bavaricus*). Такий підхід дозволив більш об'єктивно оцінити потенційний антиоксидантний ефект самих мікроорганізмів щодо стабільності жирової фази модельних систем.

Результати дослідження показників первинного та вторинного окиснення ліпідів у модельних фаршевих системах представлено в таблиці 2.

Початковий етап окиснення ліпідів супроводжується утворенням гідропероксидів, кількісний вміст яких є індикатором інтенсивності та глибини перебігу окиснювальних процесів.

Аналіз експериментальних даних щодо пероксидного числа у дослідних зразках (табл. 2) показав, що найбільш активне накопичення пероксидних сполук відбувається у перші години зберігання. Вже після 24 години їх вміст майже подвоювався, а після 48 годин зберігання модельних фаршевих систем за температури 2 ± 2 °C пероксидне число в середньому зросло у 2,4 раза порівняно з початковими значеннями.

Водночас встановлено, що внесення стартових культур молочнокислих бактерій уповільнює формування пероксидів. Після 48 годин зберігання показники кислотного числа у дослідних зразках були нижчими на 15–21 % порівняно з контролем, залежно від виду м'ясної сировини та використаного штаму. Найменші значення кислотного числа у зразках яловичини, свинини та м'яса птиці спостерігалися за використання культури *Lbm. casei*.

Інтенсивність гідролітичних змін у модельних фаршевих системах оцінювали за вмістом вільних жирних кислот, який відображається показником кислотного числа. Він характеризує ступінь розщеплення тригліцеридів із утворенням низькомолекулярних жирних кислот, що безпосередньо впливають на формування смакових властивостей м'ясної продукції за зберігання.

Таблиця 2

Вплив молочнокислих бактерій на пероксидне, кислотне числа та ТБК-числа ліпідів м'ясного фаршу

Культура	Пероксидне число (10 ⁻² г/100 г)			Кислотне число (мг КОН/г)			ТВА (мг MDA/кг)		
	0 год	24 год	48 год	0 год	24 год	48 год	0 год	24 год	48 год
Яловичина									
Контроль	5,3	12,8	15,2	0,3	1,7	2,8	0,12	0,29	0,45
<i>Lbm. casei</i>	5,1	9,2	10,5	0,2	0,5	1,3	0,11	0,15	0,24
<i>Lbm. acidophilum</i>	4,9	10,4	12,1	0,3	1,1	1,8	0,10	0,21	0,33
<i>Lbm. bavaricus</i>	5,0	11,0	12,9	0,3	0,9	1,6	0,11	0,18	0,29
Свинина									
Контроль	5,7	13,5	16,1	0,7	1,4	3,0	0,14	0,42	0,59
<i>Lbm. casei</i>	5,6	9,8	11,2	0,6	1,0	1,6	0,14	0,21	0,30
<i>Lbm. acidophilum</i>	5,6	11,2	12,5	0,6	1,5	2,0	0,15	0,29	0,43
<i>Lbm. bavaricus</i>	5,6	10,7	12,0	0,7	1,3	2,1	0,13	0,26	0,37
Курятина									
Контроль	6,1	14,4	17,2	1,1	2,8	4,2	0,11	0,45	0,66
<i>Lbm. casei</i>	5,9	10,1	12,0	1,0	1,9	2,3	0,11	0,19	0,32
<i>Lbm. acidophilum</i>	6,0	11,8	13,5	1,1	2,1	2,6	0,11	0,34	0,48
<i>Lbm. bavaricus</i>	5,9	12,3	14,1	1,2	2,3	3,1	0,11	0,27	0,39

Отримані результати свідчать, що в контрольних зразках гідролітичні процеси відбувалися значно інтенсивніше, ніж у варіантах із внесенням культур молочнокислих бактерій (*Lbm. casei*, *Lbm. acidophilum*, *Lbm. bavaricus*). Найбільш виражені зміни спостерігалися у фарші з м'яса птиці порівняно зі свининою та яловичиною.

Зокрема, після 48 годин зберігання кислотне число контрольних зразків яловичини, свинини та курятини становило 2,8; 3,0 та 4,2 мг КОН/г відповідно. У дослідних зразках із внесенням стартових культур ці значення були нижчими і дорівнювали 1,7; 1,9 та 2,4 мг КОН/г. Таким чином, застосування молочнокислих бактерій дозволяє знизити інтенсивність гідролізу ліпідів у 1,5–2 рази залежно від виду м'ясної сировини.

Інтенсивність утворення вторинних продуктів окиснення оцінювали за вмістом сполук, що реагують з 2-тіобарбітуровою кислотою, зокрема малонового діальдегіду (МДА).

Встановлено, що початковий рівень МДА у фарші знаходився в межах 0,10–0,15 мг/кг і практично не залежав від виду сировини. Однак уже після 24 години зберігання у зразках із стартовими культурами молочнокислих бактерій відмічалось суттєве гальмування накопичення вторинних продуктів окиснення порівняно з контролем. Після 48 годин вміст МДА в дослідних зразках був у середньому на 35 % нижчим.

Отримані результати підтверджують, що використання культур *Lbm. casei* та *Lbm. bavaricus* ефективно пригнічує розвиток окиснювальних процесів у ліпідній фракції яловичини, свинини та м'яса птиці.

За сукупністю показників ліполітичної активності найбільш придатними для виробництва ферментованих м'ясних продуктів із тривалим терміном зберігання є культури *Lbm. casei*, *Lbm. acidophilum* та *Lbm. bavaricus*.

Водночас штами з підвищеною ліполітичною активністю, зокрема *Lbm. sakei* та *Lbm. brevis*, становлять інтерес для технологій ферментованих м'ясних виробів зі скороченим циклом дозрівання та обмеженим терміном придатності.

Загалом встановлено, що застосування стартових культур молочнокислих бактерій суттєво знижує інтенсивність окиснювальних процесів у ліпідній фракції за зберігання, що свідчить про їхню виражену антиоксидантну дію. Особливо ефективною у цьому відношенні є культура *Lbm. casei*, яка демонструє найвищий рівень захисного впливу щодо утворення продуктів окиснення, потенційно небезпечних для здоров'я людини.

Висновки

Проведені дослідження засвідчили, що культури молочнокислих бактерій *Lbm. casei*, *Lbm. acidophilum* та *Lbm. bavaricus* суттєво впливають на інтенсивність окиснювальних і гідролітичних процесів у ліпідній фракції яловичини, свинини та м'яса птиці за зберігання.

Встановлено, що застосування зазначених штамів сприяє уповільненню утворення первинних продуктів окиснення (гідропероксидів), зниженню швидкості гідролітичного розщеплення тригліцеридів, зменшенню

накопичення вторинних продуктів окиснення, зокрема малонового діальдегіду, а також підвищенню загальної хімічної стабільності ліпідної системи м'ясної сировини.

Доведено, що у дослідних зразках інтенсивність гідролізу ліпідів зменшується у 1,5–2 рази порівняно з контролем, тоді як вміст вторинних продуктів окиснення після 48 годин зберігання є в середньому на 35 % нижчим.

Найбільш виражений антиоксидантний ефект виявлено у культури *Lbm. casei*, що дозволяє розглядати її як перспективний компонент стартових культур для виробництва ферментованих м'ясних продуктів із підвищеною стабільністю та подовженим терміном зберігання. Водночас *Lbm. bavaricus* також демонструє суттєву здатність інгібувати окиснювальні процеси, що підтверджує доцільність її використання у складі бактеріальних консорціумів.

Штами з підвищеною ліполітичною активністю, зокрема *Lbm. sakei* та *Lbm. brevis*, можуть бути ефективними у технологіях ферментованих м'ясних виробів із скороченим циклом дозрівання, де контрольована інтенсифікація біохімічних процесів є технологічно доцільною.

Отримані результати мають важливе практичне значення для м'ясопереробної галузі, оскільки впровадження стартових культур дозволяє підвищити якість і безпечність продукції, знизити рівень утворення потенційно небезпечних продуктів окиснення, стабілізувати органолептичні властивості за зберігання та розширити асортимент функціональних ферментованих виробів із природною антиоксидантною дією.

Таким чином, використання молочнокислих бактерій як біотехнологічного інструменту є перспективним напрямом удосконалення технологій ферментованих м'ясних продуктів і створення нових стартових культур із поєднаними технологічними та антиоксидантними властивостями.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з вивченням механізмів антиоксидантної дії молочнокислих бактерій у ліпідній фракції м'ясної сировини, а також із дослідженням впливу консорціумів стартових культур на інтенсивність окиснювальних процесів за тривалого зберігання. Окремий інтерес становить оцінка ефективності комбінованих культур із різним рівнем ліполітичної активності для регулювання перебігу біохімічних процесів за ферментації, а також розроблення нових штамів із поєднаними антиоксидантними та функціонально-технологічними властивостями.

Література

1. Agafonova, A. N., Bagaeva, T. V., Kitaevskaya, S. V., Romanova, N. K., & Reshetnik, O. A. (2019). Study of the influence of lactic acid bacteria on hydrolytic and oxidation processes in stuffed meat. *Helix*, 9(5), 5318–5322. <https://doi.org/10.29042/2019-5318-5322>.
2. Aydın, B., Çiydem, T., Kaya, E., & Açıık, L. (2021). Evaluation of the antioxidant effects of postbiotics and paraprobiotics in lactic acid bacteria isolated from traditional fermented sausages. *European Journal of Science and Technology*, 28, 849–852. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1011409>.
3. Bhattacharya, D., Nanda, P. K., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Dhar, P., & Das, A. K. (2022). Lactic acid bacteria and bacteriocins: Novel biotechnological approach for biopreservation of meat and meat products. *Microorganisms*, 10(10), 2058. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102058>.
4. Bubnov, R. V., Babenko, L. P., Lazarenko, L. M., Mokrozub, V. V., & Spivak, M. Y. (2018). Specific properties of probiotic strains: Relevance and benefits for the host. *EPMA Journal*, 9(2), 205–223. <https://doi.org/10.1007/s13167-018-0132-z>.
5. García-Díez, J., & Saraiva, C. (2021). Use of starter cultures in foods from animal origin to improve their safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2544. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052544>.
6. Guo, P., Lin, S., Lin, Q., Wei, S., Ye, D., & Liu, J. (2023). The digestive tract histology and geographical distribution of gastrointestinal microbiota in yellow-feather broilers. *Poultry Science*, 102(10), 102844. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102844>.
7. Hu, Y., Zhao, Y., Jia, X., Liu, D., Huang, X., Wang, C., et al. (2023). Lactic acid bacteria with a strong antioxidant function isolated from “Jiangshui” pickles and feces. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1163662. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1163662>.
8. Kleniewska, P., Hoffmann, A., Pniewska, E., & Pawliczak, R. (2016). The influence of probiotic *Lactobacillus casei* in combination with prebiotic inulin on the antioxidant capacity of human plasma. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1340903. <https://doi.org/10.1155/2016/1340903>.
9. Крижак, Л. М., Семко, Т. В., & Іваніщева, О. А. (2023). Дослідження особливостей використання штамів пробіотиків у технології виробництва ферментованих м'ясних продуктів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 13(1), 242–251.
10. Крижак, Л. (2024). Ковбаси крафтові сиров'ялені з додаванням червоного сухого вина. *Товари і ринки*, 50(2), 110–120. [https://doi.org/10.31617/2.2024\(50\)08](https://doi.org/10.31617/2.2024(50)08).
11. Li, S., Zhao, Y., Zhang, L., Zhang, X., Huang, L., Li, D., et al. (2012). Antioxidant activity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from traditional Chinese fermented foods. *Food Chemistry*, 135(3), 1914–1919. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.048>.

12. Liu, Z., Xiao, M., Xu, Y., Li, D., Zhu, W., Huang, T., et al. (2022). Effect of homo- and hetero-fermentative lactic acid bacteria on physicochemical properties, amino acid, and volatile flavor compounds during paocai fermentation by pure culture. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17052>.
13. Moradi, M., Kousheh, S. A., Almasi, H., Alizadeh, A. A., Guimarães, J. T., Yılmaz, N., & Javid, A. L. (2020). Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3390–3415. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12613>.
14. Najjari, A., Boumaiza, M., Jaballah, S., Boudabous, A., & Ouzari, H. (2020). Application of isolated *Lactobacillus sakei* and *Staphylococcus xyloso* strains as a probiotic starter culture during the industrial manufacture of Tunisian dry-fermented sausages. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4172–4184. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1711>.
15. Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>.
16. Shao, X., Wang, H., Song, X., Huang, M., Sun, J., & Xu, X. (2024). Evolution of free amino acids, biogenic amines and volatile compounds in fermented sausages inoculated with *Lactiplantibacillus plantarum* and *Staphylococcus simulans*. *Food Science and Human Wellness*, 13(6), 3642–3651. <https://doi.org/10.26599/fshw.2023.9250046>.
17. Shan, K., Yao, Y. Y., Wang, J. Y., et al. (2023). Effect of probiotic *Bacillus cereus* DM423 on the flavor formation of fermented sausage. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113210>.
18. Vulić, A., Kudumija, N., Lešić, T., & Pleadin, J. (2023). Nutritional quality of selected Croatian traditional dry-fermented sausages. *Meat Technology*, 64(2), 52–57. <https://doi.org/10.18485/meattech.2023.64.2.9>.
19. Vera-Santander, V. E., Hernández-Figueroa, R. H., Jiménez-Munguía, M. T., Mani-López, E., & López-Malo, A. (2023). Health benefits of consuming foods with bacterial probiotics, postbiotics, and their metabolites: A review. *Molecules*, 28(3), 1230. <https://doi.org/10.3390/molecules28031230>.

References

1. Agafonova, A. N., Bagaeva, T. V., Kitaevskaya, S. V., Romanova, N. K., & Reshetnik, O. A. (2019). Study of the influence of lactic acid bacteria on hydrolytic and oxidation processes in stuffed meat. *Helix*, 9(5), 5318–5322. <https://doi.org/10.29042/2019-5318-5322>.
2. Aydın, B., Çiydem, T., Kaya, E., & Açıık, L. (2021). Evaluation of the antioxidant effects of postbiotics and paraprobiotics in lactic acid bacteria isolated from traditional fermented sausages. *European Journal of Science and Technology*, 28, 849–852. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1011409>.
3. Bhattacharya, D., Nanda, P. K., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Dhar, P., & Das, A. K. (2022). Lactic acid bacteria and bacteriocins: Novel biotechnological approach for biopreservation of meat and meat products. *Microorganisms*, 10(10), 2058. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102058>.
4. Bubnov, R. V., Babenko, L. P., Lazarenko, L. M., Mokrozub, V. V., & Spivak, M. Y. (2018). Specific properties of probiotic strains: Relevance and benefits for the host. *EPMA Journal*, 9(2), 205–223. <https://doi.org/10.1007/s13167-018-0132-z>.
5. García-Díez, J., & Saraiva, C. (2021). Use of starter cultures in foods from animal origin to improve their safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2544. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052544>.
6. Guo, P., Lin, S., Lin, Q., Wei, S., Ye, D., & Liu, J. (2023). The digestive tract histology and geographical distribution of gastrointestinal microbiota in yellow-feather broilers. *Poultry Science*, 102(10), 102844. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102844>.
7. Hu, Y., Zhao, Y., Jia, X., Liu, D., Huang, X., Wang, C., et al. (2023). Lactic acid bacteria with a strong antioxidant function isolated from “Jiangshui” pickles and feces. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1163662. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1163662>.
8. Kleniewska, P., Hoffmann, A., Pniewska, E., & Pawliczak, R. (2016). The influence of probiotic *Lactobacillus casei* in combination with prebiotic inulin on the antioxidant capacity of human plasma. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1340903. <https://doi.org/10.1155/2016/1340903>.
9. Kryzhak, L. M., Semko, T. V., & Ivanishcheva, O. A. (2023). Doslidzhennia osoblyvostei vykorystannia shtamiv probiotyktiv u tekhnologii vyrobnytstva fermentovanykh miasnykh produktiv. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu*, 13(1), 242–251. <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.370>.
10. Kryzhak, L. (2024). Kovbasy kraftovi syrovialeni z dodavanniam chervonoho sukhooho vyna. *Tovary i rynky*, 50(2), 110–120. [https://doi.org/10.31617/2.2024\(50\)08](https://doi.org/10.31617/2.2024(50)08).
11. Li, S., Zhao, Y., Zhang, L., Zhang, X., Huang, L., Li, D., et al. (2012). Antioxidant activity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from traditional Chinese fermented foods. *Food Chemistry*, 135(3), 1914–1919. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.048>.
12. Liu, Z., Xiao, M., Xu, Y., Li, D., Zhu, W., Huang, T., et al. (2022). Effect of homo- and hetero-fermentative lactic acid bacteria on physicochemical properties, amino acid, and volatile flavor compounds during paocai fermentation by pure culture. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17052>.
13. Moradi, M., Kousheh, S. A., Almasi, H., Alizadeh, A. A., Guimarães, J. T., Yılmaz, N., & Javid, A. L. (2020). Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3390–3415. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12613>.
14. Najjari, A., Boumaiza, M., Jaballah, S., Boudabous, A., & Ouzari, H. (2020). Application of isolated *Lactobacillus sakei* and *Staphylococcus xyloso* strains as a probiotic starter culture during the industrial manufacture of Tunisian dry-fermented sausages. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4172–4184. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1711>.
15. Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>.
16. Shao, X., Wang, H., Song, X., Huang, M., Sun, J., & Xu, X. (2024). Evolution of free amino acids, biogenic amines and volatile compounds in fermented sausages inoculated with *Lactiplantibacillus plantarum* and *Staphylococcus simulans*. *Food Science and Human Wellness*, 13(6), 3642–3651. <https://doi.org/10.26599/fshw.2023.9250046>.
17. Shan, K., Yao, Y. Y., Wang, J. Y., et al. (2023). Effect of probiotic *Bacillus cereus* DM423 on the flavor formation of fermented sausage. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113210>.
18. Vulić, A., Kudumija, N., Lešić, T., & Pleadin, J. (2023). Nutritional quality of selected Croatian traditional dry-fermented sausages. *Meat Technology*, 64(2), 52–57. <https://doi.org/10.18485/meattech.2023.64.2.9>.
19. Vera-Santander, V. E., Hernández-Figueroa, R. H., Jiménez-Munguía, M. T., Mani-López, E., & López-Malo, A. (2023). Health benefits of consuming foods with bacterial probiotics, postbiotics, and their metabolites: A review. *Molecules*, 28(3), 1230. <https://doi.org/10.3390/molecules28031230>.