

УДК 577.1:579.876:575.2

АНАЛІЗ РОСТУ ШТАМУ *LIMOSILACTOBACILLUS FERMENTUM* НА ГЛЮКОЗО-МАЛЬТОЗНИХ ПОЖИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Хабленко А. Д.^{1,2}, аспірантка, фахівчиня відділу біотехнології
<https://orcid.org/0000-0002-6260-2619>,

*Даниленко С. Г.*¹, д.т.н., завідувачка відділу біотехнології
<https://orcid.org/0000-0003-4470-4643>

*Дуган О. М.*², д.б.н., проф. кафедри промислової біотехнології та біофармації
<https://orcid.org/0000-0002-5646-917X>

*Боднарчук О. В.*¹, д.т.н., с.н.с.,
с.н.с. відділу аналітичних досліджень та якості харчової продукції
<https://orcid.org/0000-0003-3092-4354>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

²Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2025-24-08>

Предмет. Молочнокислі бактерії (МКБ) мають широкий спектр використання у багатьох галузях промисловості. Вибір оптимального поживного середовища є важливим етапом при дослідженні росту та отриманні біомаси МКБ. Одним із важливих вуглеводних компонентів поживних середовищ є мальтоза, що використовуються для культивування багатьох мікроорганізмів. Отже дослідження, що стосуються ефективності мальтози як джерела вуглеводів для МКБ, є актуальними та можуть бути використані з метою подальшої оптимізації середовищ. **Мета.** Дослідження особливостей росту штаму *L. fermentum* на мальтозовмісних поживних середовищах та оцінка впливу мальтози на основні кінетичні параметри культури. **Методи.** У роботі використано штаму *L. fermentum*, який культивували у мальтозовмісних поживних середовищах М – 2% (мас/об) мальтози, Г-М – 1% (мас/об) мальтози і 1% (мас/об) глюкози і контрольному середовищі Г з концентрацією глюкози 2% (мас/об). Кількість біомаси аналізували висівом серійних розведень на агаризоване середовище МРС, зміни рН – потенціометрично, зміни кількості редуруючих цукрів – фотоколориметричним методом. **Результати.** Виявлено позитивний ефект середовища Г-М на ріст штаму за значеннями кількості клітин $9,42 \pm 0,09$ КУО/мл порівняно з М – $9,33 \pm 0,01$ КУО/мл. Встановлено збіжні значення рН при культивуванні на усіх дослідних середовищах та відмінності у споживанні вуглеводів штамом. Найвищі розраховані значення питомої швидкості росту виявлені для дослідних середовищ М ($0,65 \pm 0,01$ год⁻¹) і Г-М ($0,59 \pm 0,06$ год⁻¹), порівняно з Г ($0,45 \pm 0,03$ год⁻¹). **Сфера застосування результатів.** Отримані результати вказують на можливість використання мальтози в якості основного або ж додаткового джерела вуглецю для культивування штаму *L. fermentum* та подальшого використання мальтозовмісних компонентів з метою оптимізації поживного середовища.

Ключові слова: молочнокислі бактерії, поживне середовище, мальтоза, *Limosilactobacillus fermentum*, метаболізм цукрів

ANALYSIS OF THE GROWTH OF A *LIMOSILACTOBACILLUS FERMENTUM* STRAIN IN A GLUCOSE-MALTOSE NUTRIENT MEDIUM

Anna Khablenko^{1,2}, Postgraduate, Department Specialist
<https://orcid.org/0000-0002-6260-2619>

*Svitlana Danylenko*¹, D-r of Sc., Head of the Department of Biotechnology
<https://orcid.org/0000-0003-4470-4643>

*Olexii Dugan*², D-r of Sc., Biological,
Professor of Department of Industrial Biotechnology and Biopharmacy
<https://orcid.org/0000-0002-5646-917X>

*Oksana Bodnarchuk*¹, D-r of Sc., Technics,
Senior Researcher of Department of Analytical Researchers and Quality of Food Products
<https://orcid.org/0000-0003-3092-4354>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Subject. Lactic acid bacteria (LAB) have a wide range of applications across various industrial sectors. Selecting an optimal nutrient medium is an important step in studying the growth and biomass

production of LAB. One of the key carbohydrate components of nutrient media is maltose, which is used for cultivating many microorganisms. Therefore, research concerning the effectiveness of maltose as a carbohydrate source for LAB is relevant and may be applied to further medium optimization. **Purpose.** To investigate the growth characteristics of a *L. fermentum* strain on maltose-containing nutrient media and to evaluate the effect of maltose on the main kinetic parameters of the culture. **Methods.** A *L. fermentum* strain was used in this study and cultivated in maltose-containing nutrient media: M – with 2% (w/v) maltose, GM – with 1% (w/v) maltose and 1% (w/v) glucose, and the control medium G containing 2% (w/v) glucose. Biomass concentration was assessed by serial dilution plating on MRS agar; pH changes were measured potentiometrically; changes in reducing sugar content were determined using the ferricyanide method. **Results.** A positive effect of the GM and M media on strain growth was observed, with viable cell counts of $9.42 \pm 0.09 \log \text{CFU/mL}$ and $9.42 \pm 0.01 \log \text{CFU/mL}$, respectively. Comparable pH values were observed across all experimental consumption by the strain were recorded. The highest calculated specific growth rates were obtained in the M ($0.65 \pm 0.01 \text{ h}^{-1}$) and GM ($0.59 \pm 0.06 \text{ h}^{-1}$) media. **Scope of Results.** The results indicate the feasibility of using maltose as a primary or supplementary carbon source for cultivating *L. fermentum* and support the potential for incorporating maltose-containing components to optimize the nutrient medium.

Key words: lactic acid bacteria, nutrient medium, maltose, *Limosilactobacillus fermentum*, sugar metabolism

Постановка проблеми. Молочнокислі бактерії (МКБ), а саме представники родини *Lactobacillaceae*, мають комплексні харчові потреби у джерелах вуглецю, азоту, а іноді і інших ростових факторах [1, 2]. На сьогодні відомо, що джерело виділення певного штаму МКБ може значною мірою впливати на здатність до споживання різних вуглеводів, що обумовлено високими адаптаційними властивостями МКБ [2]. Оскільки МКБ властивий ферментативний метаболізм, тому джерело вуглецю у поживному середовищі має значний вплив на їх ріст та метаболічну активність [3]. Одними з найпоширеніших об'єктів ізоляції МКБ є ферментована рослинна сировина, зокрема злаки, багаті на крохмаль, мальтодекстрини, ізомальтозу та мальтозу [2, 4, 5].

Найчастіше в якості джерела вуглецю для ізоляції та культивування МКБ вважається глюкоза, яка є компонентом типового середовища МРС [6–8], проте використання інших вуглеводів які є більш наближеними до типових для природного середовища ізоляції може впливати на ріст та фізіологічну активність штамів [6]. Мальтоза – дисахарид, який складається з двох залишків глюкози та є важливим джерелом вуглецю для багатьох мікроорганізмів [9]. Роботи [6, 10], присвячені вирощуванню різних штамів МКБ на мальтозовмісних середовищах свідчать про ефективність їх використання. Детальна характеристика механізмів метаболізму мальтози описана для таких представників МКБ як *Lactobacillus sanfranciscensis* [11, 12], *Limosilactobacillus reuteri* [13], *Lactobacillus brevis* subsp. *lindneri* [14], проте для інших видів, зокрема і *L. fermentum*, спостерігається обмежена кількість публікацій.

Нещодавні дослідження щодо використання мальтози як компонента поживних середовищ свідчать про позитивний вплив мальтози на накопичення біомаси, бактеріоциногенну активність [15] та синтез екзополісахаридів [16] таких представників МКБ як *Pediococcus pentosaceus* [17], *Lactiplantibacillus plantarum* [15], *Lacticaseibacillus paracasei* та *Lacticaseibacillus rhamnosus* [16]. Встановлення параметрів росту штаму *L. fermentum* на мальтозовмісних середовищах можуть бути використані при підборі компонентів або з метою оптимізації поживних середовищ для виробничого культивування, що обумовлює актуальність дослідження.

Метою роботи є дослідження особливостей росту штаму *L. fermentum* на мальтозовмісних поживних середовищах та оцінка впливу мальтози на основні кінетичні параметри культури й утилізацію вуглеводів поживного середовища.

Матеріали та методи. У роботі було використано штам *L. fermentum* виділений з вівсяного квасу. Використовували три поживні середовища на основі МРС: МРС з 2% (мас/об) глюкози (Г), що відповідає типовому складу, наведеному у [8], МРС з 2% (мас/об) мальтози (М) та МРС з 1% (мас/об) глюкози та 1% (мас/об) мальтози (Г-М). В

якості контролю приймали середовище Г, оскільки воно є стандартним середовищем МРС.

Культуру, вирощену на типовому середовищі МРС протягом 16 годин за температури $37 \pm 1^\circ\text{C}$ вносили у середовища у кількості 1% (об/об), що відповідає концентрації 10^7 КУО/мл та культивували протягом 24 годин за температури $37 \pm 1^\circ\text{C}$. З метою дослідження змін параметрів росту штаму відбирали зразки у наступних часових інтервалах: 0, 3, 6, 12 та 24 години. У зразках аналізували кількість клітин (Log_{10} КУО/мл) шляхом висіву серійних розведень на агаризоване середовище МРС; зміну кислотності (рН) – потенціометрично; кількість редуруючих цукрів (С, г/л) – фотоколориметричним методом [18]. До 1 мл зразка додавали 3 мл фериціанідного реактиву, що містив калій гексаціаноферат(III) ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) та натрій карбонат (Na_2CO_3). Суміш нагрівали на водяній бані при кип'ятінні протягом 10 хвилин, після чого охолоджували до кімнатної температури. Оптичну густину реакційної суміші вимірювали при довжині хвилі 400 нм у кюветі з товщиною шару 1 см. Кількість редууючих цукрів розраховували за калібрувальним графіком, побудованим за стандартними розчинами глюкози та мальтози.

З метою оцінки росту штаму на середовищах розраховували питому швидкість росту (μ , год^{-1}) за даними отриманими для експоненційної фази росту штаму у проміжках часу 3 і 6 годин, за формулою [19]:

$$\mu = \frac{\ln(N_6 - N_3)}{t_6 - t_3}, \quad (1)$$

де N_6 – кількість КУО/мл через 6 годин культивування, N_3 – кількість КУО/мл через 3 години культивування, t_3 і t_6 – час через 3 і 6 години культивування відповідно.

Приріст клітин ($GR, \%$) за 24 години культивування розраховували за формулою:

$$GR = \frac{X_{24} - X_0}{X_0} \cdot 100, \quad (2)$$

де X_{24} – Log_{10} КУО/мл через 24 години культивування, X_0 – Log_{10} КУО/мл при внесенні культури 0 годин.

Відсоток утилізації ($U, \%$) джерела вуглецю оцінювали з використанням формули:

$$U = \frac{C_0 - C_{24}}{C_0} \cdot 100, \quad (3)$$

де C_0 – початкова кількість джерела вуглецю, C_{24} – кінцева кількість джерела вуглецю.

Досліди проводили у трьох повторах. Статистичний аналіз даних проводили з використанням t-критерію Стьюдента. Статистично значущу різницю при $p < 0,05$ позначали символом «*».

Результати та обговорення. Оцінка росту штаму з використанням чашкового методу (Log_{10} КУО/мл) вказує на збіжний характер росту на усіх поживних середовищах, що продемонстровано на рисунку 1.

Виходячи з наведених кривих росту спостерігається відсутність вираженої лаг-фази росту штаму *L. fermentum*, що свідчить про високу фізіологічну активність культури. Через 3 години культивування виявлено статистично значущі відмінності для середовища М, які склали $8,07 \pm 0,01$ КУО/мл. Отримані значення є нижчими за контрольні ($8,12 \pm 0,01$ КУО/мл), що обумовлено адаптацією до іншого джерела вуглецю – мальтози, яка є складнішим вуглеводом порівняно з глюкозою. Для середовища Г-М не спостерігалось статистично значуща різниця у накопиченні біомаси порівняно з середовищем Г. Значення накопичення біомаси після 6-годинного культивування вказують на активний ріст штаму та логарифмічну фазу культури. Виявлено статистично значущі відмінності у накопиченні біомаси для обох мальтозовмісних середовищ М та Г-М, як склали $8,92 \pm 0,02$ КУО/мл та

8,86 ± 0,02 КУО/мл, порівняно з 8,70 ± 0,03 КУО/мл для Г. Отримані дані свідчать про позитивну дію мальтози на ріст штаму після його адаптації до джерела вуглецю. Проте після 12 годин вирощування виявлено подальше підвищення кількості клітин на середовищі Г-М та Г – 9,24 ± 0,09 КУО/мл та 9,20 ± 0,02 КУО/мл відповідно, які не мали статистичної значущості. У випадку М спостерігались нижчі значення 9,02 ± 0,02 КУО/мл, що може бути пов'язано з особливостями метаболізму мальтози штамом. Кінцеві значення після 24 годинного культивування свідчать про вихід культури у стаціонарну фазу росту. Результати для середовищ Г-М і Г, для яких зафіксовано максимальні кількості клітин склали 9,42 ± 0,09 КУО/мл та 9,42 ± 0,01 КУО/мл, у випадку середовища М виявлено нижчі значення – 9,33 ± 0,01 КУО/мл. Такі результати свідчать про ефективність використання суміші глюкози і мальтози, що може бути використано при створенні оптимізованих поживних середовищ для культивування досліджуваного штаму *L. fermentum*.

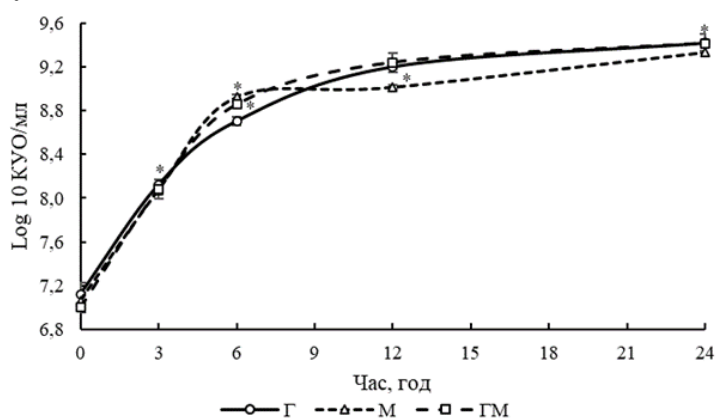


Рис. 1. Динаміка росту штаму *L. fermentum* на середовищах з глюкозою (Г), мальтозою (М) та глюкозою і мальтозою (Г-М)

вихід біомаси зафіксовано для середовища з 2% мальтози, концентрація клітин склала $5,37 \cdot 10^9$ КУО/мл. Дослідження [20] вказують на ефективність використання як мальтози, так і глюкози для культивування штаму *Levilactobacillus brevis*. Штам *L. fermentum* IMDO 130101, при вирощуванні на мальтозі і глюкозі (10 г/л), показав збіжні результати, максимальна кількість клітин склала 9,3-9,4 КУО/мл, проте без статистичної значущої різниці між джерелом вуглецю [21]. Такі результати є збіжними до нашого дослідження, а вищі значення концентрації клітин обумовлені меншою кількістю вуглецю у поживному середовищі. Аналогічні результати, отримані у роботі [22], максимальні кількості клітин спостерігались при культивуванні *L. reuteri* CRL 1100 на середовищі з 1% глюкози і склали 9,2 Log 10 КУО/мл, окрім цього спостерігався вихід штаму у стаціонарну фазу росту через 6 годин культивування, аналогічно до досліджуваного нами штаму.

Динаміка змін рН культуральної рідини при вирощуванні штаму представлена на рисунку 2.

Початкові значення рН після внесення культури для усіх варіантів поживного середовища не мали статистично значущої різниці, проте для середовища Г склали $6,01 \pm 0,05$, середовища з мальтозою М і Г-М мали значення $6,04 \pm 0,02$ та $6,06 \pm 0,02$ відповідно. Перші статистично значущі зміни рН фіксували через 3 години, зокрема для обох глюкозовмісних середовищ спостерігали вищі значення порівняно з контролем Г ($5,75 \pm 0,01$) і склали для М – $5,87 \pm 0,06$ та $5,83 \pm 0,02$ для Г-М. Після 6 годин культивування значення для Г-М і Г склали $5,04 \pm 0,01$ та $5,05 \pm 0,03$, що свідчить про відсутність статистично значущої різниці між ними. Проте для середовища М рН є нижчим і складає $4,99 \pm 0,01$. Отримані результати свідчать про адаптацію культури до мальтози як єдиного

Хоча у науковій літературі спостерігається обмежена кількість досліджень щодо сумішей вуглеводів для культивування різних видів МКБ, проте окремі джерела вуглецю часто використовуються у багатьох дослідженнях. Результати досліджень [15] свідчать про ефективність використання мальтози (20 г/л) як основного джерела вуглецю порівняно з глюкозою. Схожі результати продемонстровано у [17], де було використано *P. pentosaceus*, максимальний

джерела вуглецю та потенційну високу активність ферментів, що розщеплюють мальтозу на глюкозу (α -глікозидази). Значення рН для 6 і 12 годин свідчать про найбільш активне кислотоутворення, що збігається з зафіксованою на рисунку 1 логарифмічною фазою росту штаму. Максимальне зниження активної кислотності зафіксовано для мальтозовмісних поживних середовищ М – на $1,7 \pm 0,03$ та Г-М – на $1,64 \pm 0,01$ од. рН від початкового значення. Після 24 годин культивування виявлено збіжну тенденцію, проте спостерігається зниження швидкості кислотоутворення порівняно з першими 12 годинами, що обумовлено зниженням фізіологічної активності культури, переходом у стаціонарну фазу росту та вичерпанням джерела вуглецю у всіх поживних середовищах.

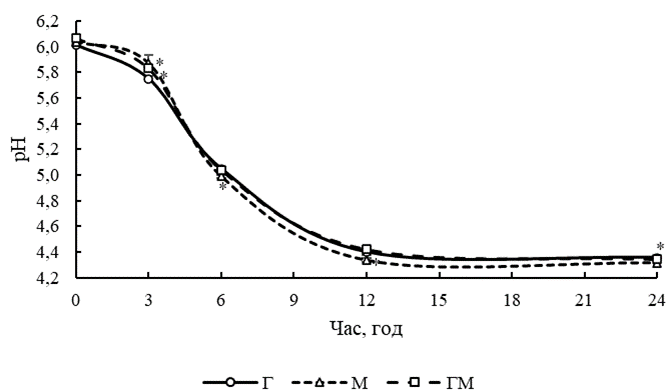


Рис. 2. Зміни рН культуральної рідини при культивуванні штаму *L. fermentum* на середовищах з глюкозою (Г), мальтозою (М) та глюкозою і мальтозою (Г-М)

різними концентраціями вуглецю у поживних середовищах, часом культивування штамів та метаболічними особливостями досліджуваних штамів, про що свідчать описані данні для *Lactobacillus brevis* subsp, *lindneri* CB1. Окрім цього, виявлені відмінності також можуть бути зумовлені специфічними метаболічними властивостями досліджуваного штаму *L. fermentum*, зокрема його здатністю ефективно засвоювати окремі джерела вуглеводів або їхні комбінації.

Результати споживання джерел вуглецю під час культивування представлені на рисунку 3.

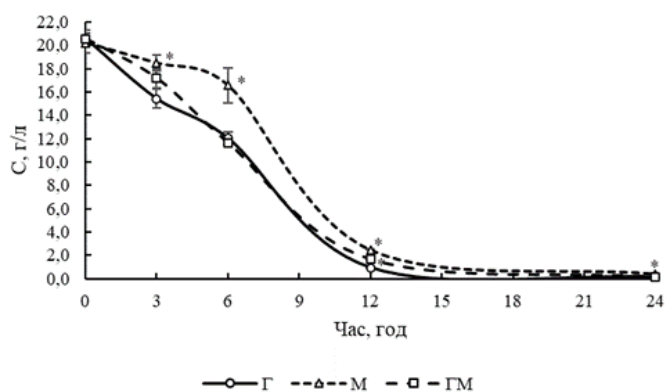


Рис. 3. Динаміка споживання редукуючих цукрів штамом *L. fermentum* на середовищах з глюкозою (Г), мальтозою (М) та глюкозою і мальтозою (Г-М)

глюкози з мальтози. Після 6 годин культивування спостерігали збіжні значення, проте у випадку середовищ з глюкозою кількість редукуючих цукрів знизилась на $8,55 \pm 0,24$ г/л для Г та $8,93 \pm 0,77$ г/л для Г-М. Найвищий рівень споживання усіх цукрів поживних

При оцінці росту штаму *Lactobacillus brevis* subsp, *lindneri* CB1 у середовищах з мальтозою спостерігали зниження рН до 4,35 та 4,31 для 1% та 1,7% мальтози відповідно, проте комбінація мальтози і фруктози знижувала рівень рН до 4,10 після 8 годин культивування. У випадку додавання сорбіту як додаткового компонента вуглецю зниження рН не спостерігалось [14]. У дослідженні [22] рівень рН після культивування на середовищі з глюкозою знизився рН 4,25. Такі відмінності можуть бути пов'язані з

Виходячи з наведеного рисунка для різних варіантів поживного середовища спостерігається різна зміна швидкості споживання вуглеводів. Після 3 годинного культивування зафіксовано статистично значущі відмінності у швидкості споживання цукрів наступним чином: для середовища М, кількість редукуючих цукрів склала $18,48 \pm 0,65$ г/л, порівняно з контролем $15,41 \pm 0,82$ г/л та середовищем Г-М – $17,18 \pm 0,82$ г/л, що може бути обумовлено глікозидазною активністю штаму та утворенням залишків

середовищ спостерігається на 12 годину культивування, що співпадає з логарифмічною фазою росту та активним кислотоутворенням штаму, показаних на рисунках 1 та 2. Після 12 години спостерігається зниження темпу споживання цукрів та їх вичерпання до концентрацій $2,48 \pm 0,05$ г/л для М, $1,67 \pm 0,05$ г/л – Г-М та $0,95 \pm 0,07$ г/л – Г.

Споживання вуглеводів для різних видів МКБ продемонстровано у дослідженні [13]. Зокрема для штамів *L. sanfrancisco* LTH 2581 та *L. reuteri* LTH 3120 спостерігалась збіжна динаміка споживання мальтози та глюкози. Окрім цього при культивуванні на мальтозі збільшувалась концентрація глюкози після 5 годин культивування, що може пояснювати отримані результати щодо більшої концентрації редукуючих цукрів у середовищі з мальтозою. Аналогічні результати щодо споживання глюкози, отримані для штаму *L. reuteri* CRL 1100 при культивуванні на глюкозі (10 г/л). Зокрема зафіксоване зниження концентрації цукрів спостерігалось впродовж перших 8 годин, за цей час було вичерпано $54,4 \pm 0,0$ ммоль/л глюкози, що еквівалентно 9,79 г/л [22]. Враховуючи отримані нами результати та використану концентрацію (2%), можна зробити висновок про збіжність отриманих даних.

Розраховані кінетичні показники, отримані під час культивування штаму на глюкозо- та мальтозовмісних поживних середовищах представлені у таблиці 1.

Таблиця 1
Ростові показники штаму *L. Fermentum*

Середовище	Питома швидкість росту, μ , год ⁻¹	Приріст, GR,%	Відсоток утилізації джерела вуглецю U,%
Г	$0,45 \pm 0,03$	$32,30 \pm 2,11$	$99,29 \pm 0,05$
М	$0,65 \pm 0,01^*$	$32,19 \pm 1,29$	$97,85 \pm 0,07^*$
Г-М	$0,59 \pm 0,06^*$	$34,51 \pm 0,91$	$99,20 \pm 0,18$

Статистично значущу різницю при $p < 0,05$ позначали символом «*».

Найвищі розраховані значення питомої швидкості росту штаму спостерігались для середовища М і склали $0,65 \pm 0,01$ год⁻¹, у той час як для середовищ Г-М і Г значення є меншими і становили $0,59 \pm 0,06$ год⁻¹ та $0,45 \pm 0,03$ год⁻¹ відповідно. Такі результати свідчать про позитивний ефект мальтози та здатність штаму до активного росту на мальтозовмісних поживних середовищах.

Дослідження росту штаму *L. fermentum* IMDO 130101 на середовищах з 1% вуглецю вказують на те що найвища питома швидкість росту спостерігається на мальтозі ($0,82 \pm 0,02$ год⁻¹), що перевищує показник для глюкози ($0,72 \pm 0,01$ год⁻¹) [20]. Ці результати узгоджуються з нашими даними, які також свідчать про перевагу мальтози як джерела вуглецю для активного росту штаму. Для штаму *L. reuteri* CRL 1100 значення питомої швидкості росту при використанні глюкози як єдиного джерела вуглецю склали $0,77$ год⁻¹ [22].

Хоча для середовища Г-М спостерігається найвище розраховане значення приросту клітин, проте воно не має статистично значущої різниці порівняно з контролем і середовищем М. Відсоток утилізації вуглеводів для середовища Г і Г-М не має статистично значущої різниці і складає $99,29 \pm 0,05\%$ та $99,20 \pm 0,18\%$ відповідно. Проте у випадку середовища М спостерігається нижче значення ($97,85 \pm 0,07\%$), що обумовлено неповним вичерпанням вуглецю у середовищі або ж залишковою глюкозою після ферментативного розщеплення мальтози.

Дослідження росту штаму *Levilactobacillus brevis* ATCC 8287, при культивуванні на МРС з мальтозою, свідчать про повне вичерпання джерела вуглецю після 24-годинного культивування; розраховане споживання складало до 100% [20]. У випадку дослідження штаму *Lactobacillus fermentum* IMDO 130101 спостерігали аналогічні результати. Автори повідомляють про повне вичерпання джерел вуглецю після 10 годин для глюкози та мальтози [21]. Дослідження штаму *Lactobacillus brevis* subsp. *lindneri* CB1 свідчили про

вичерпання суміші мальтози (10 г/л) та фруктози (7 г/л) після 8 годин культивування до залишків фруктози у кількості 0,08 г/л [14].

Висновки. Встановлено здатність штаму *Limosilactobacillus fermentum* до росту у середовищах, які містять мальтозу як єдине джерело вуглецю та суміші глюкози і мальтози. Найбільша кількість клітин спостерігається на дослідному середовищі Г-М ($9,42 \pm 0,09$ КУО/мл), проте немає статистично значущої різниці з контрольним середовищем Г ($9,42 \pm 0,01$ КУО/мл). Спостерігалось типове зниження рН для усіх поживних середовищ, проте найнижче значення отримано для середовища М ($4,32 \pm 0,02$), що свідчить про вплив мальтози на кислотоутворення штаму. Спостерігали різницю динаміки споживання редуруючих цукрів при порівнянні з контролем, що пов'язано з різним проявом глікозидазної активності культури. У випадку середовища М та Г-М зафіксовано вищі значення питомої швидкості росту, проте не спостерігалось статистично значущого впливу на приріст культури.

Отримані результати свідчать про доцільність використання мальтози, або мальтозовмісних субстратів в якості складових поживного середовища для культивування штаму.

Бібліографія

1. Hébert E. M., Raya R. R., Savoy de Giori G. Evaluation of Minimal Nutritional Requirements of Lactic Acid Bacteria Used in Functional Foods. *Environmental Microbiology*. Totowa, NJ. С. 139–148. <https://doi.org/10.1385/1-59259-765-3:139>. (дата звернення: 12.04.2025).
2. Mota-Gutierrez J., Cocolin L. Current trends and applications of plant origin lactobacilli in the promotion of sustainable food systems. *Trends in Food Science Technology*. 2021. Т. 114. С. 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.030> (дата звернення: 12.04.2025).
3. Хабленко А., Даниленко С., Дуган О., Стоцька О. Вивчення росту і утилізації основних вуглеводів пивного сула штамом *Limosilactobacillus fermentum*. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2024. Т. 30, № 6. С. 7–17.
4. Merguvu H., Harsa S. T. Lactic acid bacteria: isolation–characterization approaches and industrial applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. С. 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2054936>. (дата звернення: 12.04.2025).
5. Gänzle M. G., Follador R. Metabolism of Oligosaccharides and Starch in Lactobacilli: A Review. *Frontiers in Microbiology*. 2012. Т. 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00340> (дата звернення: 12.04.2025).
6. Vera A., Rigobello V., Demarigny Y. Comparative study of culture media used for sourdough lactobacilli. *Food Microbiology*. 2009. Т. 26, № 7. С. 728–733. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.010> (дата звернення: 12.04.2025).
7. Ooi, M. F., Foo, H. L., Loh, T. C., Mohamad R., Rahim R. A., Ariff. A. A refined medium to enhance the antimicrobial activity of postbiotic produced by *Lactiplantibacillus plantarum* RS5. *Scientific Reports*. 2021. Т. 11, № 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87081-6> (дата звернення: 12.04.2025).
8. Simpson P. J., Fitzgerald G. F., Stanton C., Ross R. P. Enumeration and identification of pediococci in powder-based products using selective media and rapid PFGE. *Journal of Microbiological Methods*. 2006. Т. 64, № 1. С. 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2005.04.019> (дата звернення: 12.04.2025).
9. Bhagavan N. V., Ha C.-E. Simple Carbohydrates. *Essentials of Medical Biochemistry*. 2011. С. 65–74. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-095461-2.00008-4> (дата звернення: 12.04.2025).
10. Dave R. I., Shah N. P. Evaluation of Media for Selective Enumeration of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, and *Bifidobacteria*. *Journal of Dairy Science*. 1996. Т. 79, № 9. С. 1529–1536. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(96\)76513-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(96)76513-x) (дата звернення: 12.04.2025).
11. Neubauer H., Glaasker E., Hammes W., Poolman B., Konings W.N. Mechanism of maltose uptake and glucose excretion in *Lactobacillus sanfrancisco*. *Journal of Bacteriology*. 1994. Т. 176, № 10. С. 3007–3012. <https://doi.org/10.1128/jb.176.10.3007-3012.1994> (дата звернення: 12.04.2025).
12. Ehrmann M. A., Vogel R. F. Maltose metabolism of *Lactobacillus sanfranciscensis*: cloning and heterologous expression of the key enzymes, maltose phosphorylase and phosphoglucomutase. *FEMS Microbiology Letters*. 1998. Т. 169, № 1. С. 81–86. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1998.tb13302.x> (дата звернення: 12.04.2025).
13. Stolz P., Böcker G., Vogel R.F., Hammes W.P. Utilisation of maltose and glucose by lactobacilli isolated from sourdough. *FEMS Microbiology Letters*. 1993. Т. 109, № 2–3. С. 237–242. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1993.tb06174.x> (дата звернення: 12.04.2025).

14. Gobbetti M., Corsetti A., Rossi J. Maltose-fructose co-fermentation by *Lactobacillus brevis* subsp. *lindneri* CB1 fructose-negative strain. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 1995. Т. 42, № 6. С. 939–944. <https://doi.org/10.1007/bf00191194> (дата звернення: 12.04.2025).
15. Zhao D., Meng F., Zhou L., Lu F., Bie X., Sun J., Lu Z., Lu Y. Maltose effective improving production and regulatory biosynthesis of plantaricin EF in *Lactobacillus plantarum* 163. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2021. Т. 105, № 7. С. 2713–2723. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11218-w> (дата звернення: 12.04.2025).
16. Fuso A., Bancalari E., Castellone V., Caligiani A., Gatti M., Bottari B. Feeding Lactic Acid Bacteria with Different Sugars: Effect on Exopolysaccharides (EPS) Production and Their Molecular Characteristics. *Foods*. 2023. Т. 12, № 1. С. 215. <https://doi.org/10.3390/foods12010215> (дата звернення: 12.04.2025).
17. Xu H., Li D., Jiang X., Pei Q., Li Z., Madjirebaye P., Xie M., Xiong T., Liu Z. Screening of Lactic Acid Bacteria Isolated from Fermented Cowpea and Optimization of Biomass Production Conditions. *Foods*. 2025. Т. 14, № 2. С. 150. <https://doi.org/10.3390/foods14020150> (дата звернення: 12.04.2025).
18. Mateles R. I. Ferricyanide Reduction Method for Reducing Sugars. *Nature*. 1960. Т. 187, № 4733. С. 241–242. <https://doi.org/10.1038/187241a0> (дата звернення: 12.04.2025).
19. Kushkevych, I., Kotrsová, V., Dordević, D., Buňková, L., Vítězová, M., Amedei, A. Hydrogen Sulfide Effects on the Survival of Lactobacilli with Emphasis on the Development of Inflammatory Bowel Diseases. *Biomolecules*. 2019. Т. 9, № 12. С. 752. <https://doi.org/10.3390/biom9120752> (дата звернення: 12.04.2025).
20. Zeng, M., Oh, J.-H., van Pijkeren, J.-P., Pan, X. Selective utilization of gluco-oligosaccharides by lactobacilli: A mechanism study revealing the impact of glycosidic linkages and degree of polymerization on their utilization. *Journal of Food Science*. 2023. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16851> (дата звернення: 12.04.2025).
21. Vrancken G., Rimaux T., De Vuyst L., Leroy F. Kinetic analysis of growth and sugar consumption by *Lactobacillus fermentum* IMDO 130101 reveals adaptation to the acidic sourdough ecosystem. *International Journal of Food Microbiology*. 2008. Т. 128, № 1. С. 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.08.001> (дата звернення: 12.04.2025).
22. Gerez C.L., Cuezso S., Rollán G., Font de Valdez G. *Lactobacillus reuteri* CRL 1100 as starter culture for wheat dough fermentation. *Food Microbiology*. 2008. Т. 25, № 2. С. 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.10.011> (дата звернення: 12.04.2025).

References

1. Hébert, E. M., Raya, R. R., Savoy de Giori, G. (2004). Evaluation of Minimal Nutritional Requirements of Lactic Acid Bacteria Used in Functional Foods. *У Environmental Microbiology* (с. 139–148). Humana Press. <https://doi.org/10.1385/1-59259-765-3:139> (date of access: 12.04.2025).
2. Mota-Gutierrez, J., Cocolin, L. (2021). Current trends and applications of plant origin lactobacilli in the promotion of sustainable food systems. *Trends in Food Science Technology*, 114, 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.030> (date of access: 12.04.2025).
3. Khablenko, A., Danylenko, S., Duhan, O., Stotska, O. (2024). Vyvchennia rostu i utylizatsii osnovnykh vuhlevodiv pyvnoho susla shtamom *Limosilactobacillus fermentum*. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, 30 (6), 7–17.
4. Meruvu, H., Harsa, S. T. (2022). Lactic acid bacteria: isolation–characterization approaches and industrial applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2054936> (date of access: 12.04.2025).
5. Gänzle, M. G., Follador, R. (2012). Metabolism of Oligosaccharides and Starch in Lactobacilli: A Review. *Frontiers in Microbiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00340>.
6. Vera, A., Rigobello, V., Demarigny, Y. (2009). Comparative study of culture media used for sourdough lactobacilli. *Food Microbiology*, 26 (7), 728–733. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.010> (date of access: 12.04.2025).
7. Ooi, M. F., Foo, H. L., Loh, T. C., Mohamad, R., Rahim, R. A., Ariff, A. (2021). A refined medium to enhance the antimicrobial activity of postbiotic produced by *Lactiplantibacillus plantarum* RS5. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87081-6> (date of access: 12.04.2025).
8. Simpson, P. J., Fitzgerald, G. F., Stanton, C., Ross, R. P. (2006). Enumeration and identification of pediococci in powder-based products using selective media and rapid PFGE. *Journal of Microbiological Methods*, 64 (1), 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2005.04.019> (date of access: 12.04.2025).
9. Bhagavan, N. V., Ha, C.-E. (2011). Simple Carbohydrates. *У Essentials of Medical Biochemistry* (с. 65–74). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-095461-2.00008-4> (date of access: 12.04.2025).
10. Dave, R. I., Shah, N. P. (1996). Evaluation of Media for Selective Enumeration of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, and

Bifidobacteria. *Journal of Dairy Science*, 79 (9), 1529–1536. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(96\)76513-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(96)76513-x) (date of access: 12.04.2025).

11. Neubauer, H., Glaasker, E., Hammes, W. P., Poolman, B., Konings, W. N. (1994). Mechanism of maltose uptake and glucose excretion in *Lactobacillus sanfrancisco*. *Journal of Bacteriology*, 176 (10), 3007–3012. <https://doi.org/10.1128/jb.176.10.3007-3012.1994> (date of access: 12.04.2025).

12. Ehrmann, M. A., Vogel, R. F. (1998). Maltose metabolism of *Lactobacillus sanfranciscensis*: cloning and heterologous expression of the key enzymes, maltose phosphorylase and phosphoglucomutase. *FEMS Microbiology Letters*, 169 (1), 81–86. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1998.tb13302.x> (date of access: 12.04.2025).

13. Stolz, P., Böcker, G., Vogel, R. F., Hammes, W. P. (1993). Utilisation of maltose and glucose by lactobacilli isolated from sourdough. *FEMS Microbiology Letters*, 109 (2–3), 237–242. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1993.tb06174.x> (date of access: 12.04.2025).

14. Gobbetti, M., Corsetti, A., Rossi, J. (1995). Maltose-fructose co-fermentation by *Lactobacillus brevis* subsp. *lindneri* CB1 fructose-negative strain. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 42 (6), 939–944. <https://doi.org/10.1007/bf00191194> (date of access: 12.04.2025).

15. Zhao, D., Meng, F., Zhou, L., Lu, F., Bie, X., Sun, J., Lu, Z., Lu, Y. (2021). Maltose effective improving production and regulatory biosynthesis of plantaricin EF in *Lactobacillus plantarum* 163. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105 (7), 2713–2723. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11218-w> (date of access: 12.04.2025).

16. Fuso, A., Bancalari, E., Castellone, V., Caligiani, A., Gatti, M., Bottari, B. (2023). Feeding Lactic Acid Bacteria with Different Sugars: Effect on Exopolysaccharides (EPS) Production and Their Molecular Characteristics. *Foods*, 12 (1), 215. <https://doi.org/10.3390/foods12010215> (date of access: 12.04.2025).

17. Xu, H., Li, D., Jiang, X., Pei, Q., Li, Z., Madjirebaye, P., Xie, M., Xiong, T., Liu, Z. (2025). Screening of Lactic Acid Bacteria Isolated from Fermented Cowpea and Optimization of Biomass Production Conditions. *Foods*, 14(2), 150. <https://doi.org/10.3390/foods14020150> (date of access: 12.04.2025).

18. Mateles, R. I. (1960). Ferricyanide Reduction Method for Reducing Sugars. *Nature*, 187 (4733), 241–242. <https://doi.org/10.1038/187241a0> (date of access: 12.04.2025).

19. Kushkevych, I., Kotrsová, V., Dordević, D., Buňková, L., Vítězová, M., Amedei, A. (2019). Hydrogen Sulfide Effects on the Survival of Lactobacilli with Emphasis on the Development of Inflammatory Bowel Diseases. *Biomolecules*, 9 (12), 752. <https://doi.org/10.3390/biom9120752> (date of access: 12.04.2025).

20. Zeng, M., Oh, J., van Pijkeren, J., Pan, X. (2023). Selective utilization of gluco-oligosaccharides by lactobacilli: A mechanism study revealing the impact of glycosidic linkages and degree of polymerization on their utilization. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16851> (date of access: 12.04.2025).

21. Vrancken, G., Rimaux, T., De Vuyst, L., Leroy, F. (2008). Kinetic analysis of growth and sugar consumption by *Lactobacillus fermentum* IMDO 130101 reveals adaptation to the acidic sourdough ecosystem. *International Journal of Food Microbiology*, 128 (1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.08.001> (date of access: 12.04.2025).

22. Gerez, C. L., Cuzzo, S., Rollán, G., Font de Valdez, G. (2008). *Lactobacillus reuteri* CRL 1100 as starter culture for wheat dough fermentation. *Food Microbiology*, 25 (2), 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.10.011> (date of access: 12.04.2025).