

STUDY OF THE GROWTH AND UTILIZATION OF MAJOR CARBOHYDRATES IN BEER WORT BY THE *LIMOSILACTOBACILLUS FERMENTUM* STRAIN

A. Khablenko^{1,2}, S. Danylenko², O. Dugan¹, O. Stotska³

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

²Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

³Institute of Postgraduate Education of the National University of Food Technologies

Key words:

Lactic acid bacteria
Sour beer styles
Acidification
Carbohydrates utilization
Maltose
wort

Article history:

Received 11.11.2024
Received in revised form
25.11.2024
Accepted 13.12.2024

Corresponding author:

O. Stotska

E-mail:

marketing-uaan@ukr.net

Citation: Хабленко А. Д., Даниленко С. Г., Дуган О. М., Стоцька О. В. (2024). Вивчення росту і утилізації основних вуглеводів пивного сусла штамом *limosilactobacillus fermentum*. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 7—17. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-3

ABSTRACT

With the development of craft brewing, the production of atypical and new types of beer, particularly sour varieties, has gained significant popularity. Currently, only a limited number of lactic acid bacteria species are known to be used for the production of sour beer, making the search and study of new strains a relevant task. One of the main criteria for selecting lactic acid bacteria for use in beer acidifying agents is their ability to utilize and efficiently ferment the main carbohydrates of wort - maltose and glucose. A review of the scientific literature shows a relatively small number of studies focused on the growth of individual lactic acid bacteria on maltose and glucose, without emphasizing the acid-producing capability of the studied strains.

Based on the above, research on the growth, acid production, and carbohydrate consumption of lactic acid bacteria *Lmb. fermentum* in media with typical and elevated carbohydrate concentrations (2% and 10%, respectively) was conducted. Maltose and glucose, which are typical components of wort, were chosen as the carbohydrates.

As a result of the study, *Lmb. fermentum* was found to grow in both nutrient media with two carbohydrate concentration variants (2% and 10%). However, both the culture growth rate and active acid production were more effective in the medium with an elevated maltose concentration, while the increased glucose content partially inhibited growth. The use of higher maltose concentrations (10%) promoted greater accumulation of lactic acid compared to standard concentrations (2% maltose), which was due to the gradual consumption of carbohydrates and a longer logarithmic growth phase.

ВИВЧЕННЯ РОСТУ І УТИЛІЗАЦІЇ ОСНОВНИХ ВУГЛЕВОДІВ ПИВНОГО СУСЛА ШТАМОМ *LIMOSILACTOBACILLUS FERMENTUM*

А. Д. Хабленко^{1,2}, С. Г. Даниленко², О. М. Дуган¹, О. В. Стоцька³

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України

³Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

У зв'язку з розвитком крафтового пивоваріння, виробництво нетипових і нових сортів пива, зокрема кислих, набуває значної популярності. На сьогодні відома незначна кількість видів молочнокислих бактерій, які використовуються для виробництва кислих сортів пива, що робить завдання з пошуку та дослідження нових штамів актуальним. Одним із найголовніших критеріїв відбору молочнокислих бактерій для використання у препаратах-підкислювачах пива є їх здатність до утилізації й ефективного зброджування головних вуглеводів пивного сусла — мальтози та глюкози. Аналіз наукової літератури свідчить про відносно невелику кількість статей, присвячених вивченню здатності до росту окремих молочнокислих бактерій на мальтозі та глюкозі, не акцентуючи увагу на здатності до кислотоутворення досліджуваних штамів.

Зважаючи на викладене вище, було проведено дослідження здатності до росту, кислотоутворення і споживання вуглеводів молочнокислими бактеріями *Lmb. fermentum* на середовищах з типовими і підвищеними концентраціями вуглеводів (2 і 10% відповідно). Як вуглеводи обрано мальтозу та глюкозу, які є типовими складовими пивного сусла.

У результаті проведених досліджень встановлена здатність *Lmb. fermentum* до росту на поживних середовищах з двома варіантами концентрацій вуглеводів (2 і 10%). Однак і швидкість росту культури, і активне кислотоутворення було більш ефективним на середовищі з підвищеною концентрацією мальтози, тоді як підвищений вміст глюкози частково інгібує ріст. Використання підвищених концентрацій мальтози (10%) сприяє більшому накопиченню молочної кислоти, порівняно зі стандартними концентраціями (2% мальтози), що обумовлено поступовим споживанням вуглеводів і більш тривалою логарифмічною фазою росту.

Ключові слова: молочнокислі бактерії, кислі сорти пива, підкислення, утилізація вуглеводів, мальтоза, сусло.

Постановка проблеми. Пиво — популярний та один із найпоширеніших алкогольних напоїв у світі (Villacreces, Blanco, & Caballero, 2022). Останніми роками спостерігається значне зростання зацікавленості споживачів крафтовим виробництвом сортів пива (Baiano, 2020; Villacreces, 2022). Збільшення споживання саме крафтових сортів пива обумовлено двома причинами: зростанням зацікавленості

відносно молодих споживачів цим продуктом та особливістю його нестандартних органолептичних властивостей (Baiano, 2020). Технологія крафтового пивоваріння забезпечує виготовлення переважної більшості традиційних сортів пива, зокрема кислих, таких як Gose, Berliner Weisse, Lambic тощо (Dysvik, 2020; Villacreces, 2022). Якщо для традиційного багатотоннажного виробництва типових сортів пива, наприклад, лагерних, використовуються лише певні, теж традиційні, раси дріжджів, то для кислих сортів характерним є використання так званих «шкідників» пивоваріння — молочнокислих бактерій (Zhang та ін., 2020). Критичним технологічним етапом, на якому, зазвичай, залучаються молочнокислі бактерії, є стадія підкислення пивного сусла. Основним і досить важливим завданням молочнокислих бактерій є ефективне підкислення сусла до значень pH (3,2—3,8) (Dysvik та ін., 2020). Підкислення сусла можливе за рахунок накопичення молочної кислоти або сумішей молочної та оцтової кислоти залежно від використаних видів молочнокислих бактерій, а також за рахунок утилізації вуглеводів, притаманних для пивного сусла (Ciosek, Rusiecka, & Poreda, 2019). Головними складовими пивного сусла є вуглеводи: мальтоза, глюкоза, фруктоза, мальтотріоза, мальтотетралоза та інші декстрини, глюкани і пентозани (Ferreira, 2009). Для кислих сортів пива найчастіше використовується ячмінне сусло, концентрація мальтози у якому сягає (7—12)% (Zhuang та ін., 2016). При підборі молочнокислих бактерій для виробництва кислих сортів пива досить важливою є здатність до виживання за високих концентрацій вуглеводів, зокрема мальтози, утилізація вуглеводів та активне накопичення молочної кислоти або суміші молочної й оцтової кислот (Dysvik, 2020; Holubchuk, 2024). На сьогодні відоме невелике видове різноманіття молочнокислих бактерій, що використовують у виробництві кислих сортів пива, що актуалізує пошук і відбір нових промислово цінних штамів для виробництва кислих сортів пива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим фактором відбору молочнокислих бактерій для підкислення пивного сусла є здатність до утилізації головного вуглеводу — мальтози, та здатність до росту за підвищених концентрацій вуглеводів, зокрема мальтози та глюкози (Ciosek et al., 2020). У праці (Fuso та ін., 2023) наводиться інформація про культивування *L. bulgaricus*, *L. rhamnosus* та *L. paracasei* на середовищі MRS з використанням різних вуглеводів з концентрацією 5%. Культивування на середовищі з 5 % мальтозою призводило до приросту біомаси досліджуваних штамів на 12,58%, 2,49% та 10,59% для *L. paracasei*, *L. rhamnosus* та *L. bulgaricus* відповідно.

У дослідженні (Serna Cock, & Rodriguez de Stouvenel, 2006) було виявлено здатність до росту штаму *Lactococcus lactis* subs *lactis* на середовищах з концентраціями глюкози 20 г/л, 60 г/л та 110 г/л. Утилізація глюкози через 24 год склала 92,49%, 90,26% та 57,08%. Окрім цього, спостерігалось підвищення виходу молочної кислоти на середовищі з максимальною концентрацією глюкози.

У праці (Palmfeldt, Paese, Hahn-Hägerdal, & van Niel, 2004) продемонстровано здатність до споживання мальтози штамом *Lc. lactis*. Виявлено підвищене споживання глюкози у кількості 24,4 ммоль·г/год та накопичення молочної кислоти

90%, порівняно з мальтозою 8,0 ммоль·г/год та 11% відповідно. Окрім цього, встановлені вищі значення питомої швидкості росту саме для середовища з глюкозою, які склали до 1,1 год⁻¹.

Дослідження (Endo, Futagawa-Endo, & Dicks, 2011) вказує на можливість стимуляції росту таких видів, як *Lmb. fermentum*, *L. helveticus*, *L. kefir*, *Enterococcus faecium* шляхом культивування на мальтозовмісних середовищах.

У (Olaoye, Onilude, & Dodd, 2008) доведена здатність до активного накопичення молочної кислоти у штамів *Pediococcus acidilacticti* та *P. Pentosaceus*, а також до накопичення молочної кислоти на 10% концентраціях глюкози та мальтози.

На підставі аналізу проведених досліджень можна зробити висновок, що питання здатності до росту молочнокислих бактерій на субстратах з високими концентраціями вуглеводів залишаються малодослідженими, тому вивчення ростових характеристик молочнокислих бактерій, зокрема на середовищах з мальтозою та середовищах з їх підвищеними концентраціями, є актуальним.

Метою дослідження є визначення динаміки росту та кислотоутворення представника молочнокислих бактерій *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів, типових для пивного суслу — мальтози і глюкози.

Матеріали і методи. У дослідженні використано штам *Lmb. fermentum*, виділений з віссяного квасу, виготовленого шляхом 7-денного зброджування зерна вісся, змішаного з водою у співвідношенні 1:4. Культуру *Lmb. fermentum* вирощували протягом 18 год у термостаті за температури 37 °C на загальноживному рідкому поживному середовищі MRS (де Ман, Рогоза, Шарп) з 2% вмістом вуглеводів глюкози згідно з (Zhang та ін., 2020). Було використано чотири рідких середовища на основі бульйону MRS з різними вуглеводами та їх концентраціями: 2% глюкози (2Г), 2% мальтози (2М), 10% глюкози (10Г) та 10% мальтози (10М). 18-годинну культуру засівали у середовища 10% та культивували в термостаті за температури (37 ± 1) °C протягом 24 годин.

Динаміку змін відповідних показників *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів визначали шляхом відбору зразків культури через 0, 3, 6, 12 та 24 год від початку культивування. У відібраних зразках вимірювали, паралельно, рН середовища (для встановлення здатності до кислотоутворення), оптичну густину за довжини хвилі 540 нм (OD540) та проводили висів серійних розведень на агаризоване середовище MRS з 2% глюкози. Кількість вуглеводів у поживних середовищах оцінювали фериціанідним методом згідно з (Pawar, Gehlot, Kumar, & Sharma, 2021).

Відсоткова кількість спожитих вуглеводів за 24 год культивування була розрахована за формулою:

$$C_{\%} = \left(\frac{C_0 - C_{24}}{C_0} \right) \cdot 100,$$

де C_{24} — концентрація відповідного вуглеводу після 24 год культивування, C_0 — концентрація вуглеводу на початку культивування.

Для оцінки ефективності росту та порівняння впливу концентрації вуглеводу на ріст *Lmb. fermentum* було розраховано питому швидкість росту згідно з (Ruiz Rodríguez та ін., 2019) за формулою:

$$\mu = \frac{\ln(N_{t_1}) - \ln(N_{t_0})}{t_1 - t_0},$$

де N_{t_1} — логарифм десятковий від КУО/мл при t_1 — 6 год; N_{t_0} — логарифм десятковий КУО/мл при t_0 — 3 год.

Достовірність отриманих результатів забезпечувалась трикратним проведенням експериментів. Для статистичної обробки даних використовували тест Дункана для порівняння впливу середовищ в один проміжок часу. Результати вважались статистично значущими при значенні $p < 0,05$. Графічне представлення експериментальних даних проводили з використанням Microsoft Excel 2013.

Викладення основних результатів дослідження. Проведені дослідження дали можливість отримати інформацію щодо здатності до росту штаму *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів, що відображено на кривій росту на рис. 1.

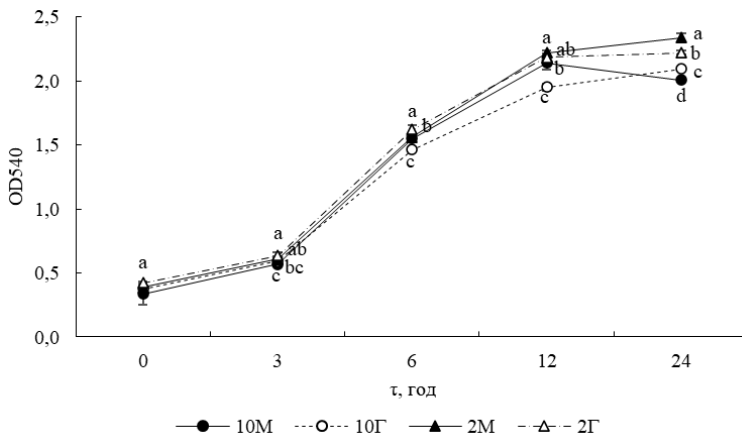


Рис. 1. Динаміка зміни значень OD540 під час культивування на середовищах з різними концентраціями мальтози і глюкози

Представлена на рис. 1 крива росту свідчить, що штам *Lmb. fermentum* може рости й ефективно накопичувати біомасу на всіх поживних середовищах як на мальтозі, так і на глюкозі з концентраціями 2 і 10%. Початкове значення OD540, що характеризує щільність культуральної рідини, є приблизно однаковим для всіх поживних середовищ і не має статистично значущих відмінностей. Через 3 год культивування спостерігаються перші статистично значущі відмінності, зокрема для середовища 10Г — $0,59 \pm 0,01$ та 10М — $0,57 \pm 0,01$ порівняно з 2-відсотковими середовищами. Нижчі значення на початку логарифмічної фази росту можуть свідчити про певне інгібування росту більшими концентраціями вуглеводів. Після 6 год культивування найбільші значення спостерігаються для середовища 2М ($1,56 \pm 0,02$), 10М ($1,55 \pm 0,02$) та 2Г ($1,62 \pm 0,03$). Отримані значення для середовища 10Г менші, порівняно з наведеними, та становлять $1,46 \pm 0,01$, що може свідчити про уповільнену швидкість логарифмічної фази росту штаму. Значення після 12-годинного культивування вказують на збіжні показники, проте найвищі спостерігаються на середовищі 2М і становлять $2,22 \pm 0,02$, що може свідчити про

позитивний ефект мальтози на ріст досліджуваного штаму *Lmb. fermentum*. Значення для середовища 2Г належать до двох груп статистичної значущості та збіжні зі значеннями 2М і 10М, що свідчить про однаковий вплив глюкози і мальтози на ріст штаму. Нижчі значення порівняно з іншими дослідними середовищами спостерігаються для 10Г і становлять $1,95 \pm 0,03$. Після 24-годинного вирощування всі значення є статистично значущими, проте найбільші фіксуються для середовища 2М і становлять $2,34 \pm 0,04$. Примітно, що значення для середовища 10Г стали вищими і піднялись до $2,09 \pm 0,01$. Отже, визначено що досліджуваний штам може ефективно рости на середовищах як з концентраціями вуглеводів 10%, так і 2%.

З метою детального дослідження росту штаму та його життєздатності на середовищах було побудовано криві росту за логарифмічними значеннями КУО/мл, що продемонстровано на рис. 2.

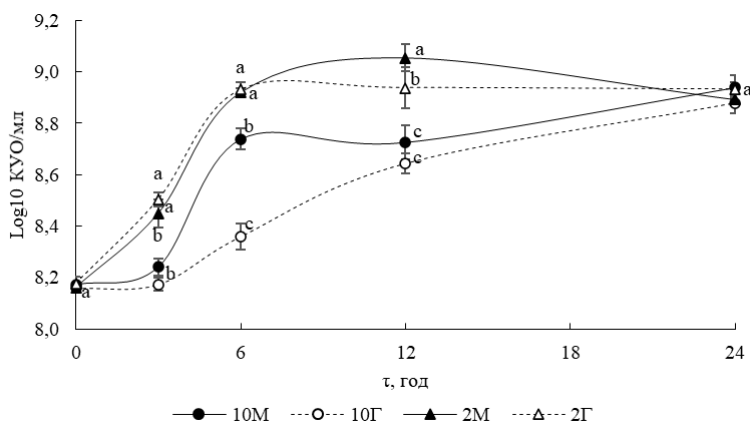


Рис. 2. Динаміка росту *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями мальтози і глюкози

Дані, отримані при початковому внесенні, не показали статистично значущої відмінності поживних середовищ, що може служити контролем для порівняння. Після 3-годинного культивування спостерігаються значущі зміни в прирості культури: для 10-відсоткових концентрацій вуглеводів значення нижчі 10Г — $8,17 \pm 0,03$ КУО/мл, 10М — $8,24 \pm 0,03$ КУО/мл, порівняно з 2-відсотковими 2Г — $8,51 \pm 0,03$ КУО/мл та 2М — $8,45 \pm 0,05$ КУО/мл. Аналогічно до наведених вище значень OD540 спостерігаються нижчі значення для середовища 10Г. 6-годинне вирощування демонструє найбільші значення КУО/мл для середовищ з 2-відсотковим вмістом вуглеводів, які не мають статистично значущої відмінності між собою $8,92 \pm 0,02$ КУО/мл та $8,93 \pm 0,03$ КУО/мл для мальтози і глюкози відповідно. Наведені криві росту підтверджують, що після 6 год культивування на середовищах з концентрацією вуглеводів 2% культура входить у стаціонарну фазу росту. Максимальні значення встановлені для 12-годинної культури з 2% концентрацією вуглеводів; значення для 2М є статистично значущим і більшим, порівняно з 2Г і склало $(9,06 \pm 0,05)$ КУО/мл. Отже, можна зробити висновок про позитивний вплив мальтози на досліджуваний штам *Lmb. fermentum*.

Середовища з 10-відсотковим вмістом вуглеводів демонструють нижчі значення показника накопичення біомаси. Найменші фіксуються для Г10 і складають $8,64 \pm 0,04$ КУО/мл, що може бути обумовленим інгібуванням росту великими концентраціями глюкози. У випадку М10 спостерігаються вищі значення, порівняно з Г10, які складають $8,73 \pm 0,07$ КУО/мл. Після 24 год культивування спостерігається приріст культури на середовищах М10 та Г10 і поступове зниження значень для 2-відсоткових середовищ, що може свідчити про пролонговану логарифмічну та стаціонарну фазу росту і початок фази відмирання відповідно. Зважаючи на представлені результати, можна зробити висновок про здатність до ефективного росту *Lmb. fermentum* на всіх середовищах з переважанням швидкості росту на середовищах з мальтозою, що може свідчити про позитивний вплив мальтози на ріст штаму.

З метою дослідження процесу кислотоутворення штамом було виміряно значення рН та побудовано графіки змін значень рН середовищ, що продемонстровано на рис. 3.

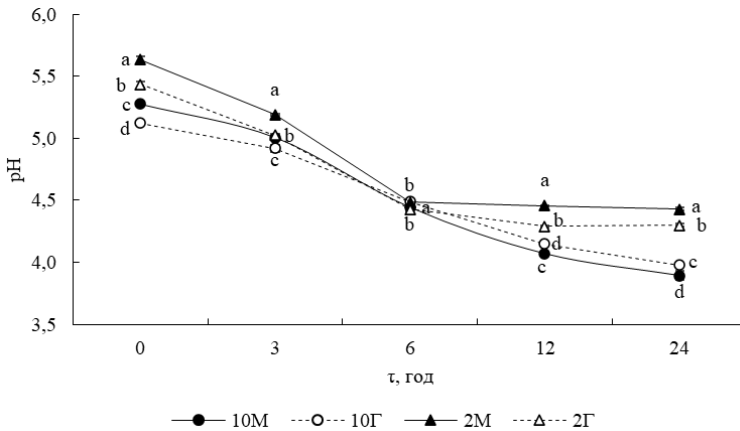


Рис. 3. Динаміка зміни рН при культивуванні штаму *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями мальтози і глюкози

Початкове значення рН для всіх середовищ є різним, що обумовлено різними концентраціями вуглеводів у середовищах та різною буферною здатністю вуглеводів, обраних для проведення дослідження. Проте найвище початкове значення фіксується для 2М і складає $5,63 \pm 0,03$, а найнижче для 10Г — $5,12 \pm 0,01$. Такі початкові значення також можуть впливати на здатність до росту культури, що продемонстровано вище, зокрема нижчими ростовими показниками для варіанта 10Г. Відповідно до рис. 3 спостерігається поступове зниження рН для всіх середовищ, збіжні значення фіксуються після 6-годинного вирощування. Примітно, що збіжні значення (групи статистичної значущості) спостерігаються для середовищ 2М ($4,48 \pm 0,02$) і 10Г ($4,44 \pm 0,02$) та 2Г ($4,43 \pm 0,01$) і 10М ($4,44 \pm 0,02$); відсоток вуглеводу у середовищі не впливає на кислотоутворювальну здатність штаму. Отримані значення для 12 і 24 год культивування на середовищах з 2% вуглеводів є аналогічними при попарному порівнянні, тобто не змінюються через можливе вичерпання джерела вуглецю (глюкози або мальтози). У випадку 10-

відсоткових концентрацій спостерігається подальше зниження рН до кінцевих значень $3,89 \pm 0,04$ та $3,98 \pm 0,01$ для мальтози і глюкози відповідно. Нижче значення рН для 10М може бути обумовлено вищим початковим значенням рН середовища та продемонстрованою вище здатністю штаму до росту на 10-відсотковій мальтозі.

Для подальшого встановлення закономірностей росту *Lmb. fermentum* на поживних середовищах побудовано графіки споживання вуглеводів, що продемонстровано на рис. 4.

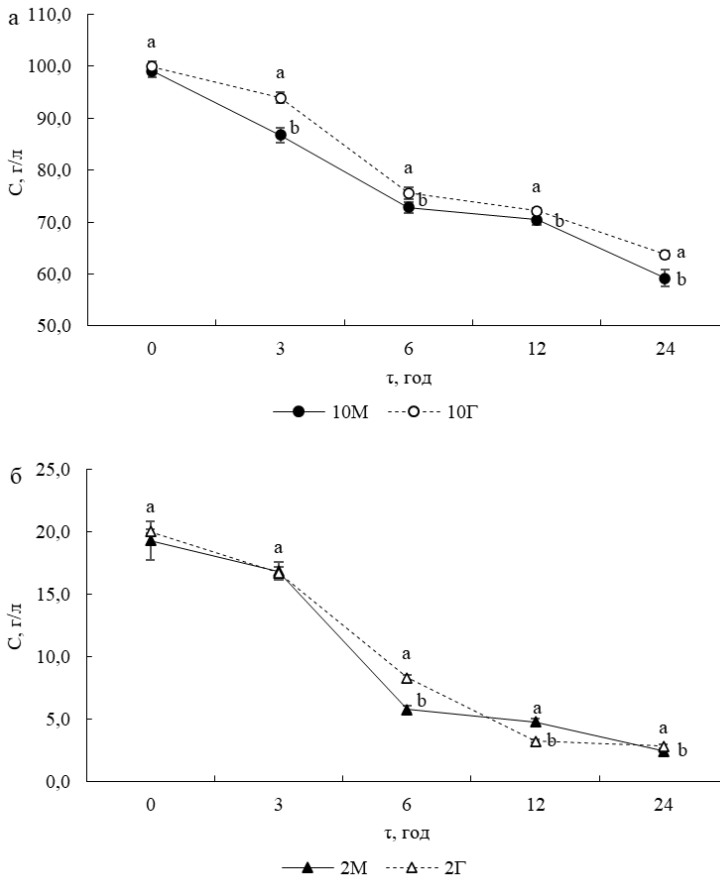


Рис. 4. Динаміка споживання вуглеводів на середовищах з вмістом вуглеводів: а) 10% та б) 2%

Відповідно до побудованих графіків, для обох концентрацій вуглеводів спостерігається зниження вмісту вуглеводів, що обумовлено ростом штаму. У випадку 10-відсоткових концентрацій (рис. 4, а) *Lmb. fermentum* більш активно споживає мальтозу, порівняно з глюкозою, про що свідчать показники отримані на 3, 6 і 24 год культивування. Так, для 10Г значення після 6-годинного вирощування скла-

ли $75,61 \pm 1,17$ г/л, а для 10М — $72,79 \pm 1,09$ г/л. Аналізуючи показники 10-відсоткових концентрацій, можна зробити висновок, що культура постійно споживає як мальтозу, так і глюкозу, проте кінцеві значення для 10М є нижчими ($59,14 \pm 1,62$ г/л), що може свідчити про краще споживання мальтози, порівняно з глюкозою. Аналізуючи отримані результати щодо змін рН та здатності до росту штаму, слід зазначити, що такі результати є цілком закономірними. У випадку 2-відсоткових початкових концентрацій вуглеводів не спостерігається рівномірності та поступового їх зменшення. Найбільше споживання зафіксовано впродовж перших 6 год культивування, що збігається з логарифмічною фазою росту культури. Так, для середовища 2М зміна склала $13,51 \pm 1,66$ г/л та $11,72 \pm 0,04$ г/л для 2Г. Значення після 12 год вирощування склали $4,75 \pm 0,29$ г/л та $3,23 \pm 0,12$ г/л для 2М та 2Г відповідно. Кінцева концентрація для середовища 2М склала $2,43 \pm 0,13$ г/л та $2,82 \pm 0,16$ г/л у випадку 2Г. Такі результати узгоджуються з початком фази відмирання культури, що зафіксовано на рис. 2 для середовища 2М та із зупинкою зміни рН у випадку обох середовищ з 2-відсотковим вмістом вуглеводів, яка обумовлена повним вичерпанням джерела вуглецю в поживному середовищі.

Розраховані відсоткові значення споживання вуглеводів представлені на рис. 5.

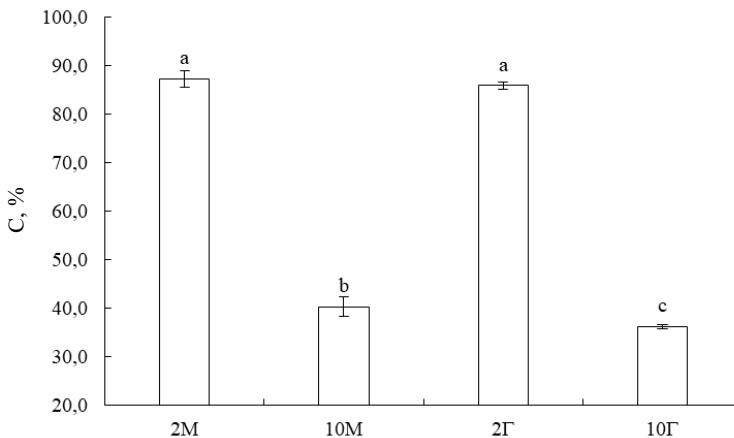


Рис. 5. Порівняння споживання вуглеводів після 24-годинного культивування штаму *Lmb. fermentum*

Відповідно до представленої діаграми спостерігається відсутність статистично значущих відмінностей при порівнянні середовищ 2М та 2Г; кількість спожитих вуглеводів складає $87,32 \pm 1,73\%$ та $85,93 \pm 0,70\%$ відповідно. Проте у випадку поживних середовищ з 10-відсотковими концентраціями вуглеводів спостерігаються статистично значущі відмінності для мальтози і глюкози. При порівнянні ці значення для мальтози є більшими та складають $(40,29 \pm 2,01)\%$, що може свідчити про здатність культури до кращої утилізації мальтози при її високих концентраціях, порівняно з глюкозою.

Для порівняння та оцінки здатності росту штаму *Lmb. fermentum* за логарифмічними значеннями КУО/мл було розраховано питому швидкість росту культури. Порівняння отриманих значень представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Значення питомої швидкості росту при культивуванні *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів

Середовище	$\mu, ((\text{КУО} \cdot \text{мл}^{-1})/\text{год}) \cdot 10^{-2}$
2М	$(1,81 \pm 0,19)^a$
2Г	$(1,63 \pm 0,22)^a$
10М	$(1,95 \pm 0,21)^a$
10Г	$(0,75 \pm 0,29)^b$

Відповідно до розрахованих значень і статистичного аналізу виявлено відсутність статистичної значущих відмінностей між значеннями μ для трьох поживних середовищ: 2М — $(1,81 \pm 0,19) \cdot 10^{-2}$ (КУО·мл⁻¹)/год, 10М — $(1,95 \pm 0,22) \cdot 10^{-2}$ (КУО·мл⁻¹)/год та 2Г — $(1,63 \pm 0,21) \cdot 10^{-2}$ (КУО·мл⁻¹)/год. Отже, можна зробити висновок про відсутність інгібуючого ефекту підвищеної концентрації мальтози на досліджуваній штамі та однакові значення швидкості росту для 2-відсоткових концентрацій мальтози і глюкози. Проте спостерігається нижчий показник для середовища 10Г $(0,75 \pm 0,29) \cdot 10^{-2}$ (КУО·мл⁻¹)/год, що свідчить про несприятливість росту на середовищі з 10-відсотковим вмістом глюкози.

Отже, встановлені закономірності росту *Lmb. fermentum* на середовищах з підвищеними концентраціями вуглеводів, які є притаманними для пивного суслу, зокрема мальтози та глюкози.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено здатність до росту *Lmb. fermentum* на середовищі MRS з підвищеними концентраціями вуглеводів (мальтози та глюкози). Виявлено інгібуючий ефект підвищеної концентрації глюкози, що підтверджено розрахованими значеннями питомої швидкості росту культури. Встановлено вищі значення при вирощуванні штаму на середовищі з 2-відсотковим вмістом мальтози, максимальне значення склало $9,06 \pm 0,05$ КУО/мл після 12-годинного культивування. При культивуванні на середовищах з підвищеними концентраціями вуглеводів спостерігається уповільнена логарифмічна фаза росту, яка обумовлена, певною мірою, нижчими початковими значеннями рН та поступовою утилізацією вуглеводів. Виявлено здатність до кислотоутворення на всіх середовищах, проте мінімальне зафіксоване значення спостерігалось для середовища з 10-відсотковим вмістом мальтози і склало $3,89 \pm 0,04$.

Отримані результати свідчать про можливість використання досліджуваної культури *Lmb. fermentum* для отримання кислого суслу, оскільки виявлено позитивні результати щодо питомої швидкості росту, споживання вуглеводів та кінцевих значень рН. Подальші дослідження будуть зосереджені на використанні пивного суслу для культивування *Lmb. fermentum*, оцінці кислотоутворення та росту на ньому.

Література

A. Olaoye, O., A. Onilude, A., & Dodd, C. E. (2008). Identification of *pediococcus* spp. from beef and evaluation of their lactic acid production in varying concentrations of different carbon sources. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 2(3), 197—207.

- Baiano, A. (2020). Craft beer: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12693>.
- Ciosek, A., Rusiecka, I., & Poreda, A. (2019). Sour beer production: Impact of pitching sequence of yeast and lactic acid bacteria. *Journal of the Institute of Brewing*, 126(1), 53—58. <https://doi.org/10.1002/jib.590>.
- Dysvik, A., La Rosa, S. L., De Rouck, G., Rukke, E.-O., Westereng, B., & Wicklund, T. (2020). Microbial dynamics in traditional and modern sour beer production. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(14). <https://doi.org/10.1128/aem.00566-20>.
- Endo, A., Futagawa-Endo, Y., & Dicks, L. M. T. (2011). Influence of carbohydrates on the isolation of lactic acid bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 110(4), 1085—1092. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.04966.x>.
- Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2009). Beer carbohydrates. *Y Beer in health and disease prevention* (c. 291—298). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373891-2.00027-4>.
- 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>.
- Holubchuk, D., Khablenko, A., Dugan, O., Danylenko, S., & Korzhenivska, A. (2024). Probiotic microorganisms in bread sourdoughs. *Food Science and Technology*, 18(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2848>.
- Kanika Pawar, S., Gehlot, R., Kumar, R., & Sharma, S. (2021). Screening and physico-chemical study of quality jaggery prepared from different early and mid season sugarcane varieties. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, (Of). <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1680>.
- Palmfeldt, J., Paese, M., Hahn-Hägerdal, B., & van Niel, E. W. J. (2004). The pool of ADP and ATP regulates anaerobic product formation in resting cells of *Lactococcus lactis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(9), 5477—5484. <https://doi.org/10.1128/aem.70.9.5477-5484.2004>.
- Pawar, K., Gehlot, R., Kumar, R., & Sharma, S. (2021). Screening and physico-chemical study of quality jaggery prepared from different early and mid season sugarcane varieties. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, (Of). <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1680>.
- Ruiz Rodríguez, L. G., Mohamed, F., Bleckwedel, J., Medina, R., De Vuyst, L., Hebert, E. M., & Mozzi, F. (2019a). Diversity and functional properties of lactic acid bacteria isolated from wild fruits and flowers present in northern argentina. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01091>.
- Ruiz Rodríguez, L. G., Mohamed, F., Bleckwedel, J., Medina, R., De Vuyst, L., Hebert, E. M., & Mozzi, F. (2019b). Diversity and functional properties of lactic acid bacteria isolated from wild fruits and flowers present in northern argentina. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01091>.
- Serna Cock, L., & Rodriguez de Stouvenel, A. (2006). Lactic acid production by a strain of *Lactococcus lactis* subs *lactis* isolated from sugar cane plants. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(1), 40—45. <https://doi.org/10.2225/vol9-issue1-fulltext-10>.
- Villacreces, S., Blanco, C. A., & Caballero, I. (2022). Developments and characteristics of craft beer production processes. *Food Bioscience*, 45, 101495. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101495>.
- Xu, Z., Luo, Y., Mao, Y., Peng, R., Chen, J., Soteyome, T., Bai, C., Chen, L., Liang, Y., Su, J., Wang, K., Liu, J., & Kjellerup, B. V. (2020). Spoilage lactic acid bacteria in the brewing industry. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(7), 955—961. <https://doi.org/10.4014/jmb.1908.08069>.
- Zhang, J., Bu, Y., Zhang, C., Yi, H., Liu, D., & Jiao, J. (2020). Development of a low-cost and high-efficiency culture medium for bacteriocin lac-b23 production by *Lactobacillus plantarum* J23. *Biology*, 9(7), 171. <https://doi.org/10.3390/biology9070171>.
- Zhuang, S., Shetty, R., Hansen, M., Fromberg, A., Hansen, P. B., & Hobley, T. J. (2016). Brewing with 100% unmalted grains: barley, wheat, oat and rye. *European Food Research and Technology*, 243(3), 447—454. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2758-1>.