

ОХМАТ ОЛЕНА

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-0927-8706>e-mail: oxmat.oa@knutd.edu.ua

ЖАЛДАК МАРИНА

Державний торговельно-економічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4490-8673>e-mail: m.zhaldak@knute.edu.ua

МОКРОУСОВ МАКСИМ

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: oxmat.oa@knutd.edu.ua

СВІТОВИЙ РИНОК МОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ

В статті вивчені перспективи застосування молочної кислоти у різних галузях, проаналізовано зовнішньоторговельну діяльність України на ринку молочної кислоти, проведено пошук та порівняння статистичної інформації щодо розвитку ринку молочної кислоти в Україні та світі. Отримані результати дозволяють оцінити поточний стан та потенціал розвитку цього ринку в Україні, а також визначити напрямки для подальших досліджень та впровадження інноваційних технологій.

Ключові слова: молочна кислота, ринок, імпорт, експорт.

OKHMAT OLENA

Kyiv National University of Technologies and Design

ZHALDAK MARYNA.

State University of Trade and Economics

MOKROUSOV MAKSYM

Kyiv National University of Technologies and Design

THE GLOBAL LACTIC ACID MARKET

This article analyzes Ukraine's foreign trade in lactic acid and explores its potential applications in the food, pharmaceutical, medical, and chemical industries. The analysis is based on statistical data from ChemAnalyst and the State Statistics Service of Ukraine. The study found that the largest application of lactic acid is in the production of polylactic acid, driven by the increasing production of biodegradable polymers used for disposable tableware, containers, and food packaging. The food industry ranks second in terms of lactic acid consumption, with applications in fermentation processes, beverage production, and meat and fish processing. The global lactic acid market is characterized by dynamic growth, particularly in regions with developed chemical and food industries. The United States and Europe account for the largest share of the lactic acid market, where lactic acid produced by fermentation is widely used. The rapid growth rate of nearly 9% per year indicates the potential for the market to reach a volume of \$7.93 billion by 2032. This growth is underpinned by the availability of a developing raw material base. Additionally, the expanding range of applications for lactic acid is stimulating market growth. An analysis of Ukraine's foreign trade in lactic acid from 2021 to 2023 reveals a significant imbalance, with imports significantly exceeding exports in both monetary and quantitative terms. Despite the ongoing war in Ukraine, key trading partners have been identified, including China, Uzbekistan, the Netherlands, France, and India. This confirms the relevance and prospects of domestic research in the field of developing technologies for the production and application of lactic acid based on biotechnological principles.

Key words: lactic acid, market, imports, exports.

Постановка проблеми

Молочна кислота, яка була відкрита у 18 столітті, набула широкого використання з кінця 19 століття. Молочна кислота – органічна сполука, яку отримують за допомогою хімічного синтезу або біосинтезу. Вона є природним компонентом багатьох продуктів харчування, вона безпечна для здоров'я людини та легко розкладається в природі, не завдаючи шкоди довкіллю. В наш час молочна кислота є важливою сировиною для виробництва багатьох продуктів, які знаходять своє застосування у харчовій, фармацевтичній, медичній, хімічній та інших галузях [1].

Аналіз останніх публікацій

Традиційним є використання молочної кислоти у харчовій промисловості для виробництва молочнокислих продуктів (кефір, йогурти, сири тощо), консервів, соусів, маринадів, напоїв, кондитерських виробів [2]. Завдяки своїм антимікробним властивостям молочну кислоту використовують як консервант для збільшення терміну зберігання продуктів харчування. Молочну кислоту активно використовують також при силосуванні кормів для сільськогосподарських тварин. Хімічні властивості молочної кислоти [3] обумовлюють її використання в якості регулятора кислотності та стабілізатора продуктів харчування. У косметичній промисловості молочну кислоту та її похідні використовують у виробництві зволожуючих косметичних засобів (наприклад, кремів, лосьйонів), пілінгів, засобів догляду за волоссям, засобів гігієни порожнини рота [4]. Молочну кислоту відносять до альфа-гідроксикислот (АНА-кислоти). АНА-кислоти володіють кератолітичним ефектом, який успішно застосовують у дерматології для поліпшення текстури шкіри, зменшення пігментації, освітлення постакне, звуження пор, видалення відмерлих клітин, які закупорюють пори, зволоження шкіри та підвищення її гладкості, прискорення оновлення клітин епідермісу шкіри [5, 6]. У фармацевтичній промисловості молочну кислоту використовують при синтезі дерматологічних препаратів і препаратів проти остеопорозу, дезінфектантів для шкіри та слизових оболонок, препаратів для лікування опіків і ран [7]. Молочну кислоту часто використовують у фармацевтичному виробництві в якості

електроліту та компоненту діалізних розчинів, призначених для апаратів штучної нирки [8]. Щороку зростає попит на виробництво молочної кислоти для отримання полі-L-молочної кислоти – біорозкладного синтетичного полімеру L-молочної кислоти, який використовують для ініціювання регенеративної реакції загоєння ран, застосовують у нехірургічних методах та косметологічних процедурах уповільнення старіння та пришвидшення відновлення шкіри обличчя, включаючи випадки наявності у пацієнта ліпоатрофії обличчя, викликаної ВІЛ [9-14]. Хімічна промисловість на основі молочної кислоти синтезує широкий спектр матеріалів, асортимент яких налічує лактиди або полілактиди, амід, нітрили молочної кислоти. Найперспективнішою сполукою сьогодні вважають полілактиди – біополімери, які знайшли застосування у сферах тканинної інженерії, терапії ракових захворювань, виробництва лікарських засобів для адресної доставки ліків, виробництва серцево-судинних, ортопедичних і стоматологічних імплантатів, виготовлення медичних інструментів, технологіях 3D моделювання [15, 16]. Полілактиди входять до складу пакувальних матеріалів для збільшення стійкості та безпечності харчової упаковки [17, 18]. Біосумісність та здатність до біодеградації полілактидів спонукають до збільшення обсягів їх виробництва, а відповідно – і виробництва молочної кислоти.

Підсумовуючи вищесказане, очевидним є те, що молочна кислота є цінним компонентом, що знаходить широке застосування в різних галузях промисловості. А зважаючи на стабільне розширення асортименту продуктів, отриманих на основі молочної кислоти, зростання світового ринку по її виробництву є очевидним.

Метою роботи є аналіз світового ринку молочної кислоти та вивчення ключових тенденцій його розвитку. Об'єкт дослідження – показники торговельної діяльності на світовому ринку молочної кислоти. Для роботи використано методи аналізу й синтезу, порівняння та узагальнення. Основою досліджень слугували статистичні дані ChemAnalyst [19] та Державної служби статистики України [20].

Виклад основного матеріалу

Сучасний стан ринку молочної кислоти як в Україні так і у світі характеризується суттєвим зростанням та збереженням потенціалу до зростання на період до 2032 року через розширення галузей застосування даної речовини (рис. 1).

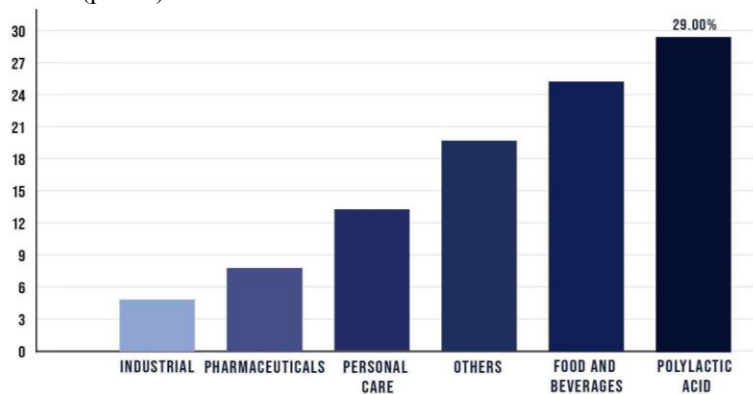


Рис. 1. Напрями застосування молочної кислоти в різних галузях

Наразі, найбільше застосування (майже 30 %) молочна кислота має у виробництві полімолочної кислоти. Лідерство обумовлене збільшенням обсягів виробництва біорозкладних полімерів на основі полімолочної кислоти, як матеріалу для виготовлення одноразового посуду, контейнерів і пакувальних матеріалів для зберігання харчових продуктів. Зважаючи на це, очікується, що найближчим часом 65 % в долі всіх полімерних виробів буде припадати саме на вироби з полімолочної кислоти.

На другому місці, у рейтингу галузей, що використовують молочну кислоту, знаходиться харчова промисловість, з процесами ферментації, отриманням напоїв, виробництвом продуктів з м'яса та риби, використанням молочної кислоти в якості консерванту та регулятора рівня рН. Цікавим є те, що до останнього часу саме харчова промисловість займала чільне місце у світовому рейтингу споживачів молочної кислоти. Але пошук ефективних шляхів розв'язання світових проблем накопичення пластикових відходів змістив традиційну харчову промисловість на друге місце.

Найпоширенішою сировиною для отримання молочної кислоти є цукрова тростина, кукурудза, кассава та інші. Враховуючи позитивні прогнози щодо вирощування цукрової тростини та кукурудзи, можна передбачити здешевлення вартості виробництва молочної кислоти. Сегмент кукурудзяної сировини, за прогнозами, зростатиме на рівні щорічних темпів на 8,2 % з 2023 по 2032 рр. Сегмент ринку цукрової тростини у 2022 р. отримав найбільшу долю доходів на рівні 41 % загально світових показників та його доля у загальному обсязі для виробництва молочної кислоти зафіксована на рівні 69 %. Сегмент молочної кислоти на основі маніоки є нішевим, але зростаючим сегментом індустрії молочної кислоти. Кассава, крохмалистий коренеплід, використовується як сировина для виробництва молочної кислоти, особливо в регіонах, де в достатку є маніока. Молочна кислота на основі кассави використовується у виробництві полімолочної кислоти. Такі країни, як Таїланд, Індонезія та Філіппіни є основними виробниками маніоки. Ринок у цьому регіоні виграє від місцевої доступності маніоки та зростаючого промислового застосування. Для зменшення собівартості виробництва молочної кислоти науковці різних країн проводять дослідження по заміні

традиційної сировини сировиною, отриманою з відходів промислового комплексу за територіальною ознакою. Пропонується використання продуктів переробки сільського господарства та лігноцелюлози [21, 22], біомаси водоростей [23], молочної сироватки [24], відходів харчової промисловості [25, 26].

Розмір світового ринку молочної кислоти станом на 2022 р. (рис. 2.) становив 3,46 млрд. дол США. За прогнозами, очікується його ріст і досягнення рівня 7,93 млрд. дол США до 2032 року. Відповідні розрахунки вказують на щорічні темпи росту на 8,7 % з 2023 по 2032 рр.



Рис. 2. Фактичні та перспективні темпи росту ринку молочної кислоти в період 2022-2032 рр.

Найбільша доля ринку молочної кислоти належить Сполученим Штатам Америки (США) з рівнем доходів 45 % (рис. 3). США широко використовують молочну кислоту, вироблену шляхом ферментації. Значною мірою використовується молочна кислота у харчовій промисловості США.



Рис. 3. Географія ринку молочної кислоти

Друге місце у світовому рейтингу країн ринку молочної кислоти займає Європа з доходами у 31 %, третє – країни Азії та Тихоокеанського регіону з доходом у 16 %. В Азії та Тихоокеанському регіоні спостерігається швидке зростання ринку молочної кислоти, зумовлене індустріалізацією, урбанізацією та збільшенням попиту на екологічно чисту продукцію. Очікується, що регіон покаже найвищі темпи зростання в період 2024-2030 рр. Ринок молочної кислоти в Латинській Америці станом на 2022 р. становив 5 % і зростає, але місцеві органи влади потребують покращення інфраструктури для підтримки розширення ринку.

Зростаюча промислова база та інвестиції в хімічне виробництво на Близькому Сході та в Африці (обсяг ринку 3 %), ймовірно, призведуть до зростання ринку молочної кислоти в перспективі. Однак ринок може зіткнутися з проблемами, пов'язаними з економічною стабільністю та розвитком інфраструктури.

Компаніями, що є ключовими гравцями ринку молочної кислоти у світі є: Corbion (Нідерланди), DuPont (США), Henan Jindan Lactic Acid Technology (Китай), Sulzer (Швейцарія), Mushashino Chemical, Jungbunzlauer (Японія), FoodChem International (Китай), Cargill (США), Galactic (Бельгія), DOW (США), Unitika (Японія), Vaishnavi Biotech (Індія), Spectrum Chemicals (США), Godavari Bio-refineries (Індія), ProAgro GmbH (Австрія), Qingdao Abel Technology (США), Vigon International (США), Henan Xinghan Biology Technology (Китай), Dan Scial (США), Dan Scientifier Scientific (Китай) [19].

Ринок України стосовно молочної кислоти є імпортозалежним, про що свідчать результати статистичного аналізу даних Державної служби статистики України (рис. 4-5) [20].

Аналіз зовнішньоекономічної діяльності України в період 2021-2023 рр. на ринку молочної кислоти вказує суттєві переваги в обсягах імпорту молочної кислоти в Україну як в грошових (рис. 4) так і в кількісних обсягах порівняно з показниками експорту. Порівняно з 2021 р. імпорт молочної кислоти в Україну (в млн. дол США) зріс на 25 % у 2022 році та на 17 % у 2023 р. При цьому в рік початку війни на території України був зафіксований рекордний імпорт молочної кислоти в Україну. Що стосується експорту молочної кислоти в рік початку війни, то він впав на 77 % в 2022 році порівняно з 2021 р і поновив свої грошові показники в

2023 р. Слід вказати, що станом на 2023 р. обсяги імпорту молочної кислоти в Україну в 685 разів вищі за експорт.

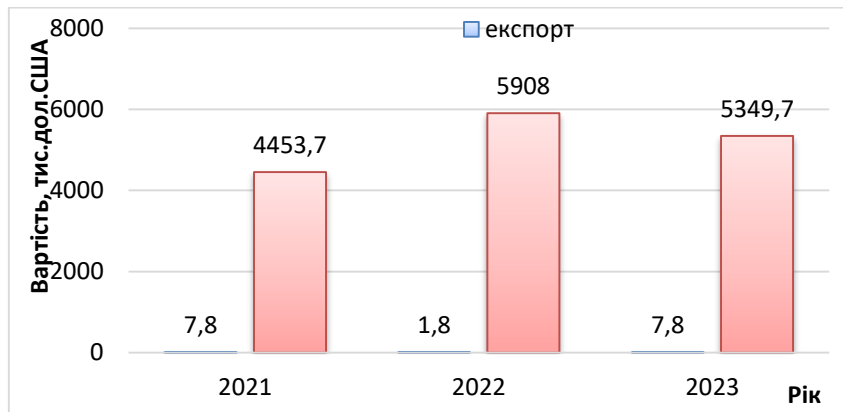


Рис. 4. Обсяги експорту та імпорту молочної кислоти на ринку України в грошових одиницях

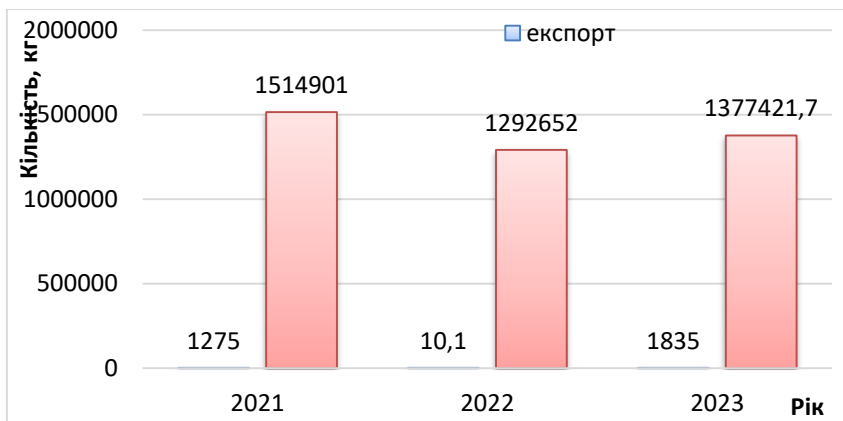


Рис. 5. Обсяги експорту та імпорту молочної кислоти на ринку України в кількісних одиницях

Кількісні обсяги імпорту молочної кислоти за останні 3 роки (рис. 5) фіксують незначне падіння на 15 % в 2022 р. порівняно з 2021 р. та зростання на 12 % в 2023 р. порівняно з 2022 р. При цьому кількість імпорту перевищує експорт молочної кислоти станом на 2023 р. в 750 разів.

Географія імпорту молочної кислоти в Україну (рис. 6) описується в більшій мірі країнами: Китай, Бельгія, Франція, Нідерланди, Німеччина. В меншій мірі імпорт в Україну забезпечують Польща, Індія, Корея.

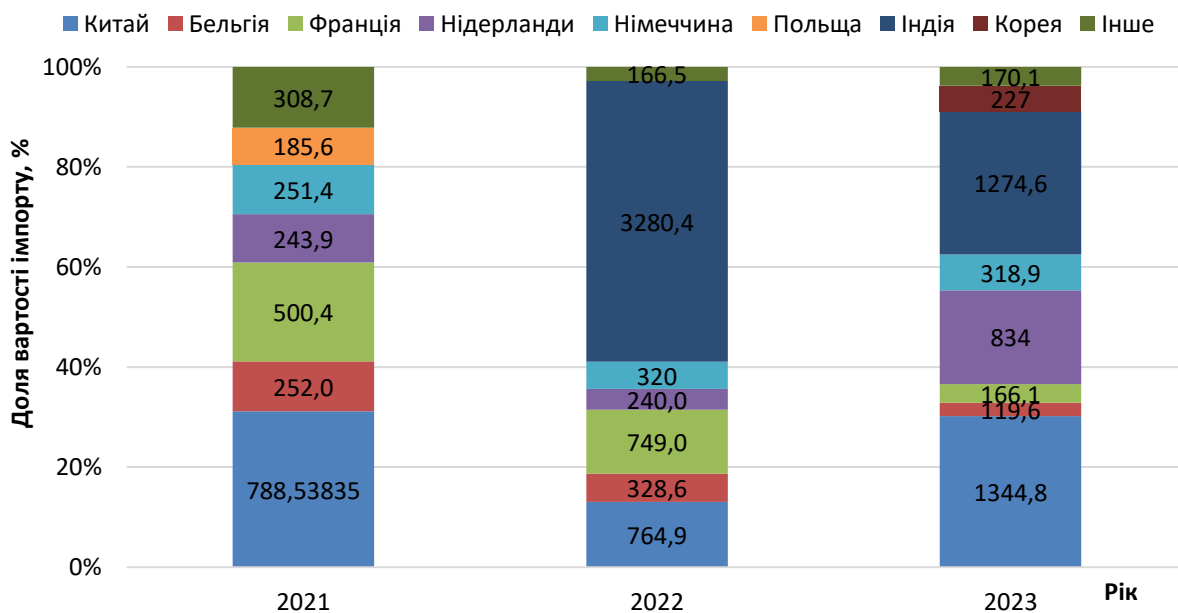


Рис. 6. Географія імпорту в Україну молочної кислоти в грошових одиницях

За вартісними показниками в 2023 р. найбільший імпорт молочної кислоти (майже 80 %) був забезпечений Францією, Китаєм та Нідерландами.

Найбільша кількість молочної кислоти в Україну надходить з Китаю (рис. 7). Така тенденція спостерігається протягом останніх 3 років. Якщо в 2021 р. Україна отримала з Китаю майже 40 % молочної кислоти, в 2022 р. – 38 %, то в 2023 р в Україну надійшло молочної кислоти 902312,2 кг, що становить 64 % від загального імпорту. Друге місце в експорті молочної кислоти в Україну за кількісними обсягами займають Нідерланди, які поставили в 2023 році 230409,8 кг молочної кислоти, що становить майже 17 %.

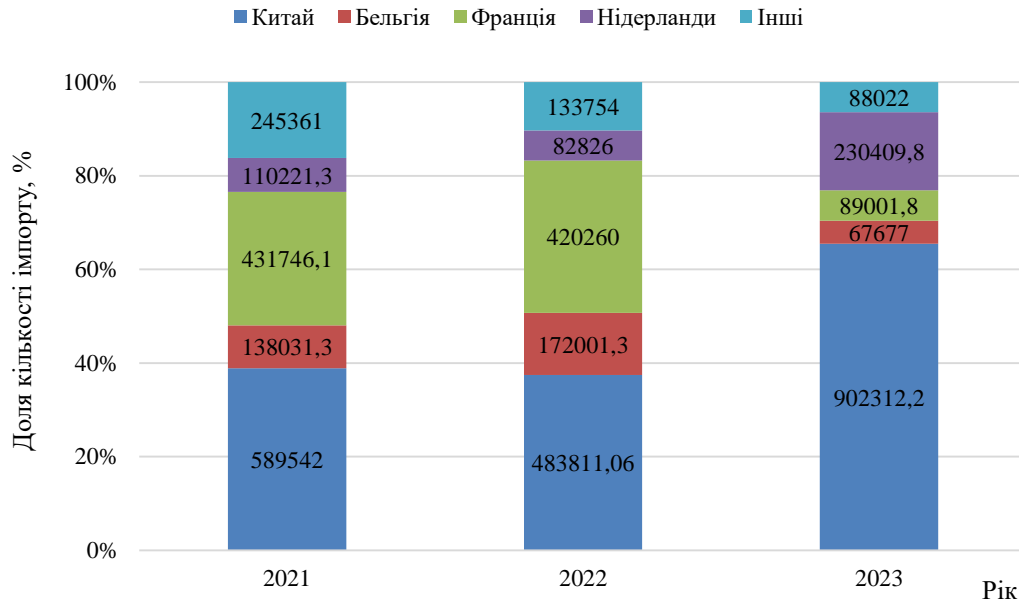


Рис. 7. Географія імпорту в Україну молочної кислоти в кількісних одиницях

За вартісними показниками (рис. 8) Україна експортувала в період 2021-2023 рр. молочну кислоту в США, Узбекистан, Німеччину, Латвію, Молдову та Австрію.

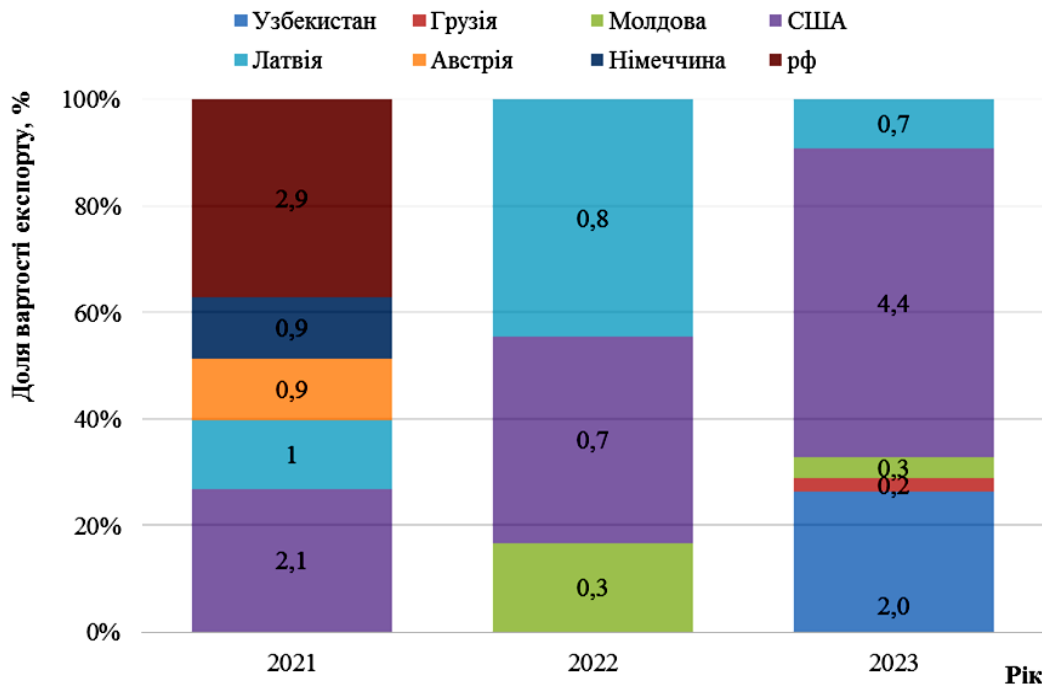


Рис. 8. Географія експорту Україною молочної кислоти в грошових одиницях

Найбільший експорт молочної кислоти на рівні 4,4 млн дол США, що становить 56 % загального експорту. В Узбекистан Україна постачає молочної кислоти 25 % з вартістю 2,0 млн дол США.

Географія експорту молочної кислоти з України (рис. 9) в кількісних одиницях окреслена Узбекистаном, Молдовою та Грузією. При чому в 2022 р. основний експорт молочної кислоти з України був направлений в Молдову (майже 100 %), а в 2023 р. – в Узбекистан (майже 80 %).

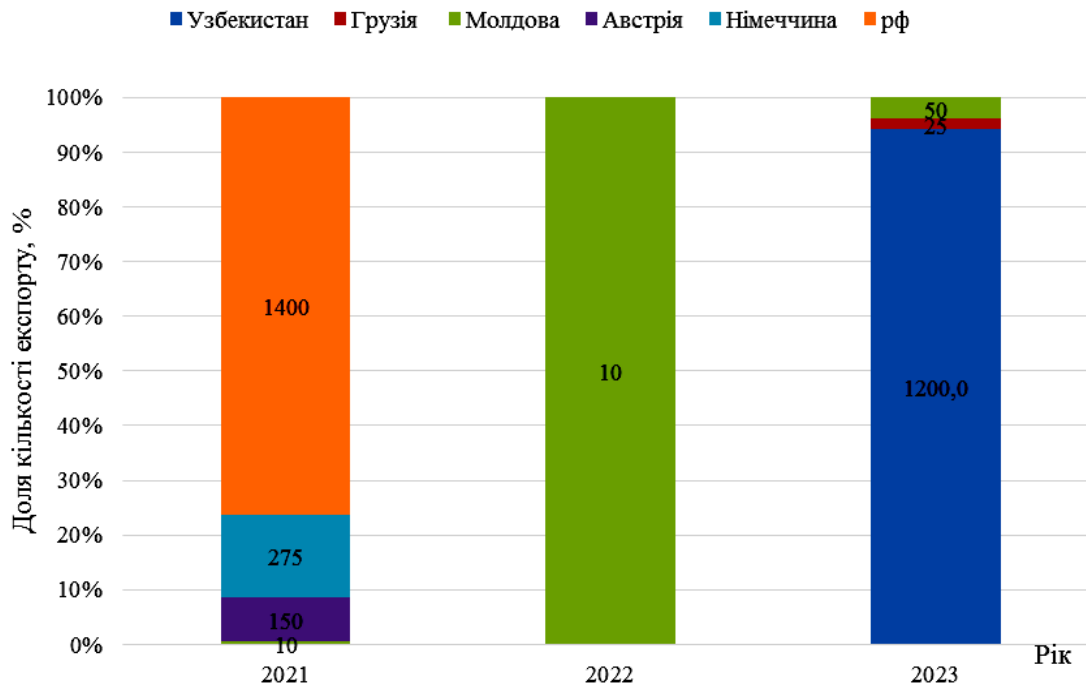


Рис. 9. Географія експорту Україною молочної кислоти в кількісних одиницях

Висновки

Отже, світовий ринок молочної кислоти визначається динамічним розвитком. Стрімкі темпи зростання на рівня майже 9 % в рік свідчать про перспективи підвищення обсягів ринку до рівня 7,93 млрд. дол США станом до 2032 року. Підґрунтям для розвитку ринку молочної кислоти є доступна сировинна база, яка розвивається в Північній Америці, Азі та країнах Тихого океану. Також стимулюється ринок молочної кислоти розширенням галузей застосування. Наразі, спектр за останні роки розповсюдився на харчову, фармацевтичну, хімічну та інші галузі.

Характерною ознакою ринку молочної кислоти в Україні є імпортозалежність. За останні роки ринок не характеризується стабільними тенденціями, що обумовлено війною на території України. Однак є чітко визначені країни-контрагенти на ринку України, серед яких Китай, Узбекистан, Нідерланди, Франція та Індія. Зазначене свідчить про доцільність та перспективи вітчизняних досліджень в напрямі вивчення технологій виробництва та застосування молочної кислоти на основі біотехнологічних принципів.

Література

1. Salovaara H. Lactic acid bacteria in cereal-based products / H. Salovaara, M. Gänzle // *Lipids*. – 1993. – № 2. – 6 p.
2. Martinez F. A. C. Lactic acid properties, applications and production: A review / F. A. C. Martinez, E. M. Balciunas, J. M. Salgado, J. M. D. González, A. Converti, R. P. de Souza Oliveira // *Trends in food science & technology*. – 2013. – № 30(1). – P. 70–83.
3. Lactic acid [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chemanalyst.com/industry-report/lactic-acid-market-3078>. – Title from screen.
4. Smith W. P. Epidermal and dermal effects of topical lactic acid / W. P. Smith // *Journal of the American Academy of Dermatology*. – 1996. – № 35(3). – P. 388–391.
5. Dall'Oglio F. Cosmetics for acne: indications and recommendations for an evidence-based approach / F. Dall'Oglio, A. Tedeschi, G. Fabbrocini, S. Veraldi, M. Picardo, G. Micali // *Giornale italiano di dermatologia e venereologia: organo ufficiale, Societa italiana di dermatologia e sifilografia*. – 2014. – № 150(1). – P. 1–11.
6. Tang S. C. Dual effects of alpha-hydroxy acids on the skin / S. C. Tang, J. H. Yang // *Molecules*. – 2018. – № 23(4). – 863.
7. Bai D. M. Strain improvement of *Rhizopus oryzae* for over-production of L (+)-lactic acid and metabolic flux analysis of mutants / D. M. Bai, X. M. Zhao, X. G. Li, S. M. Xu // *Biochemical Engineering Journal*. – 2004. – № 18(1). – P. 41–48.
8. Abd Alsaheb R. A. Lactic acid applications in pharmaceutical and cosmeceutical industries / R. A. Abd Alsaheb, A. Aladdin, N. Z. Othman, R. Abd Malek, O. M. Leng, R. Aziz, H. A. El Enshasy // *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. – 2015. – № 7(10). – P. 729–735.
9. Rotunda A. M. Poly-L-lactic acid: a new dimension in soft tissue augmentation / A. M. Rotunda, R. S. Narins // *Dermatologic therapy*. – 2006. – № 19(3). – P. 151–158.

10. Nowag B. Biostimulating fillers and induction of inflammatory pathways: A preclinical investigation of macrophage response to calcium hydroxylapatite and poly-L lactic acid / B. Nowag, D. Schäfer, T. Hengl, N. Corduff, K. Goldie // *Journal of Cosmetic Dermatology*. – 2024. – № 23(1). – P. 99–106.
11. Sadick N. S. Poly-l-lactic acid: a perspective from my practice / N. S. Sadick // *Journal of Cosmetic Dermatology*. – 2008. – № 7(1). – P. 55–60.
12. Lowe N. J. Optimizing poly-L-lactic acid use / N. J. Lowe // *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. – 2008. – № 10(1). – P. 43–46.
13. Li K. Application of nonsurgical modalities in improving facial aging / K. Li, F. Meng, Y. R. Li, Y. Tian, H. Chen, Q. Jia, H. B. Jiang // *International journal of dentistry*. – 2022. – № 1. – 8332631.
14. El-Beyrouy C. Poly-L-lactic acid for facial lipoatrophy in HIV / C. El-Beyrouy, V. Huang, C. Darnold J., P. G. Clay // *Annals of Pharmacotherapy*. – 2006. – № 40(9). – P.1602–1606.
15. DeStefano V. Applications of PLA in modern medicine / V. DeStefano, S. Khan, A. Tabada // *Engineered Regeneration*. – 2020. – № 1. – P. 76–87.
16. Singhvi M. S. Polylactic acid: synthesis and biomedical applications / M. S. Singhvi, S. S. Zinjarde, D. V. Gokhale // *Journal of applied microbiology*. – 2019. – № 127(6). – P. 1612–1626.
17. Nampoothiri K. M. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research / K. M. Nampoothiri, N. R. Nair, R. P. John // *Bioresource technology*. – 2010. – № 101(22). – P. 8493–8501.
18. Crescente G. Application of PLA-Based Films to Preserve Strawberries Bioactive Compounds / G. Crescente, G. Cascone, M. G. Volpe, S. Moccia // *Foods*. – 2024. – № 13(12). – 1844.
19. Lactic acid [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chemanalyst.com/industry-report/lactic-acid-market-3078>. – Title from screen.
20. Державна служба статистики України. – Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua/>. – Назва з екрана.
21. Yankov D. Fermentative lactic acid production from lignocellulosic feedstocks: from source to purified product / D. Yankov // *Frontiers in Chemistry*. – 2022. – № 10. – 823005.
22. Li Y. Sustainable lactic acid production from lignocellulosic biomass / Y. Li, S. S. Bhagwat, Y. R. Cortés-Peña, D. Ki, C. V. Rao, Y. S. Jin, J. S. Guest // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2021. – № 9(3). – P. 1341–1351.
23. Panesar P. S. Bioutilisation of whey for lactic acid production / P. S. Panesar, J. F. Kennedy, D. N. Gandhi, K. Bunko // *Food chemistry*. – 2007. – №, 105(1). – P. 1–14.
24. Aravind S. Conversion of green algal biomass into bioenergy by pyrolysis. A review / S. Aravind, P. S. Kumar, N. S. Kumar, N. Siddarth // *Environmental Chemistry Letters*. – 2020. – № 18. – P. 829–849.
25. Macedo J. V. C. Cost-effective lactic acid production by fermentation of agro-industrial residues / J. V. C. Macedo, F. F. de Barros Ranke, B. Escaramboni, T. S. Campioni, E. G. F. Núñez, P. de Oliva Neto // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2020. – № 27. – 101706.
26. RedCorn R. Identifying conditions to optimize lactic acid production from food waste co-digested with primary sludge / R. RedCorn, A. S. Engelberth // *Biochemical Engineering Journal*. – 2016. – № 105. – P. 205–213.

References

1. Salovaara H. Lactic acid bacteria in cereal-based products / H. Salovaara, M. Gänzle // *Lipids*. – 1993. – № 2. – 6 p.
2. Martinez F. A. C. Lactic acid properties, applications and production: A review / F. A. C. Martinez, E. M. Balciunas, J. M. Salgado, J. M. D. González, A. Converti, R. P. de Souza Oliveira // *Trends in food science & technology*. – 2013. – № 30(1). – P. 70–83.
3. Lactic acid [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chemanalyst.com/industry-report/lactic-acid-market-3078>. – Title from screen.
4. Smith W. P. Epidermal and dermal effects of topical lactic acid / W. P. Smith // *Journal of the American Academy of Dermatology*. – 1996. – № 35(3). – P. 388–391.
5. Dall'Oglio F. Cosmetics for acne: indications and recommendations for an evidence-based approach / F. Dall'Oglio, A. Tedeschi, G. Fabbrocini, S. Veraldi, M. Picardo, G. Micali // *Giornale italiano di dermatologia e venereologia: organo ufficiale, Societa italiana di dermatologia e sifilografia*. – 2014. – № 150(1). – P. 1–11.
6. Tang S. C. Dual effects of alpha-hydroxy acids on the skin / S. C. Tang, J. H. Yang // *Molecules*. – 2018. – № 23(4). – 863.
7. Bai D. M. Strain improvement of *Rhizopus oryzae* for over-production of L (+)-lactic acid and metabolic flux analysis of mutants / D. M. Bai, X. M. Zhao, X. G. Li, S. M. Xu // *Biochemical Engineering Journal*. – 2004. – № 18(1). – P. 41–48.
8. Abd Alsaheb R. A. Lactic acid applications in pharmaceutical and cosmeceutical industries / R. A. Abd Alsaheb, A. Aladdin, N. Z. Othman, R. Abd Malek, O. M. Leng, R. Aziz, H. A. El Enshasy // *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. – 2015. – № 7(10). – P. 729–735.
9. Rotunda A. M. Poly-L-lactic acid: a new dimension in soft tissue augmentation / A. M. Rotunda, R. S. Narins // *Dermatologic therapy*. – 2006. – № 19(3). – P. 151–158.
10. Nowag B. Biostimulating fillers and induction of inflammatory pathways: A preclinical investigation of macrophage response to calcium hydroxylapatite and poly-L lactic acid / B. Nowag, D. Schäfer, T. Hengl, N. Corduff, K. Goldie // *Journal of Cosmetic Dermatology*. – 2024. – № 23(1). – P. 99–106.
11. Sadick N. S. Poly-l-lactic acid: a perspective from my practice / N. S. Sadick // *Journal of Cosmetic Dermatology*. – 2008. – № 7(1). – P. 55–60.
12. Lowe N. J. Optimizing poly-L-lactic acid use / N. J. Lowe // *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. – 2008. – № 10(1). – P. 43–46.
13. Li K. Application of nonsurgical modalities in improving facial aging / K. Li, F. Meng, Y. R. Li, Y. Tian, H. Chen, Q. Jia, H. B. Jiang // *International journal of dentistry*. – 2022. – № 1. – 8332631.
14. El-Beyrouy C. Poly-L-lactic acid for facial lipoatrophy in HIV / C. El-Beyrouy, V. Huang, C. Darnold J., P. G. Clay // *Annals of Pharmacotherapy*. – 2006. – № 40(9). – P.1602–1606.

15. DeStefano V. Applications of PLA in modern medicine / V. DeStefano, S. Khan, A. Tabada // *Engineered Regeneration*. – 2020. – № 1. – P. 76–87.
16. Singhvi M. S. Polylactic acid: synthesis and biomedical applications / M. S. Singhvi, S. S. Zinjarde, D. V. Gokhale // *Journal of applied microbiology*. – 2019. – № 127(6). – P. 1612–1626.
17. Nampoothiri K. M. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research / K. M. Nampoothiri, N. R. Nair, R. P. John // *Bioresource technology*. – 2010. – № 101(22). – P. 8493–8501.
18. Crescente G. Application of PLA-Based Films to Preserve Strawberries Bioactive Compounds / G. Crescente, G. Cascone, M. G. Volpe, S. Moccia // *Foods*. – 2024. – № 13(12). – 1844.
19. Lactic acid [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chemanalyst.com/industry-report/lactic-acid-market-3078>. – Title from screen.
20. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. – Rezhym dostupu: <https://www.ukrstat.gov.ua/>. – Nazva z ekrana.
21. Yankov D. Fermentative lactic acid production from lignocellulosic feedstocks: from source to purified product / D. Yankov // *Frontiers in Chemistry*. – 2022. – № 10. – 823005.
22. Li Y. Sustainable lactic acid production from lignocellulosic biomass / Y. Li, S. S. Bhagwat, Y. R. Cortés-Peña, D. Ki, C. V. Rao, Y. S. Jin, J. S. Guest // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2021. – № 9(3). – P. 1341–1351.
23. Panesar P. S. Bioutilisation of whey for lactic acid production / P. S. Panesar, J. F. Kennedy, D. N. Gandhi, K. Bunko // *Food chemistry*. – 2007. – № 105(1). – P. 1–14.
24. Aravind S. Conversion of green algal biomass into bioenergy by pyrolysis. A review / S. Aravind, P. S. Kumar, N. S. Kumar, N. Siddarth // *Environmental Chemistry Letters*. – 2020. – № 18. – P. 829–849.
25. Macedo J. V. C. Cost-effective lactic acid production by fermentation of agro-industrial residues / J. V. C. Macedo, F. F. de Barros Ranke, B. Escaramboni, T. S. Campioni, E. G. F. Núñez, P. de Oliva Neto // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2020. – № 27. – 101706.
26. RedCorn R. Identifying conditions to optimize lactic acid production from food waste co-digested with primary sludge / R. RedCorn, A. S. Engelberth // *Biochemical Engineering Journal*. – 2016. – № 105. – P. 205–213.