

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГІДРОЛІЗУ ЛАКТОЗИ
В МОЛОЧНІЙ СИРОВИНІ****Романчук І. О.**, к.т.н., с.н.с. заст.директора,*Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна*

ORCID 0000-0002-3988-0717

Мінорова А. В., к.т.н., с.н.с.,*зав. відділу молочних продуктів та продуктів дитячого харчування**Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна*

ORCID 0000-0002-7557-1444

Рудакова Т. В., к.т.н., с.н.с.,*відділ молочних продуктів та продуктів дитячого харчування**Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна*

ORCID 0000-0002-7017-735X

*Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна***Моїсєєва Л. О.**, н.с., відділ молочних продуктів та*продуктів дитячого харчування**Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна*

ORCID 0000-0001-8845-1487

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-17>

Проблема лактазної недостатності є актуальною для людей різних вікових категорій та може призводити до зменшення споживання молочних продуктів. Зменшення вмісту лактози досягається різними способами, серед яких найбільш поширеним є застосування ферментних препаратів. В статті наведено результати експериментальних досліджень щодо закономірностей ферментативного гідролізу лактози в різних видах вуглеводомісної сировини ферментними препаратами грибного та дріжджового походження. Досліджено параметри гідролізу лактози у молоці та молочній сироватці, які дозволяють обирати раціональні умови проведення технологічних операцій в залежності від організації технологічних процесів на виробництві. Розроблення технологій низьколактозних кисломолочних продуктів дозволить розширити асортимент молочних продуктів для людей інтолерантних до лактози. Зменшення вмісту лактози у демінералізованій сироватці розширить можливість її використання у складі інших харчових продуктів. Експериментально обґрунтовано необхідність керування умовами проведення технологічних операцій для забезпечення ефективного гідролізу лактози та активності ферментних препаратів. Методом рідинної хроматографії проведено кількісне визначення вмісту лактози, глюкози та галактози у різних видах сировини – знежиреному молоці, кислій та підсирній сироватці за різних умов проведення ферментативного гідролізу лактози ферментними препаратами грибного та дріжджового походження. Виявлено наявність неспецифічної протеолітичної активності, що призводить до збільшення вмісту небілкових азотистих речовин та погіршення органолептичних властивостей сироватки, гідролізованої ферментним препаратом лактази грибного походження. Зменшення вмісту лактози та збагачення складу кисломолочних продуктів сироватковими білками підвищують їх біологічну цінність.

Ключові слова: інтолерантність до лактози, кисломолочні низьколактозні продукти, ферментативний гідроліз, препарат β -галактозидази, глюкоза, галактоза

REGULARITIES OF LACTOSE HYDROLYSIS IN DAIRY RAW MATERIALS

Romanchuk Iryna, PhD, Senior Researcher, Deputy Director,
Institute of Food Resources NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-3988-0717

Minorova Antonina, PhD, Senior Researcher
Head of Department of Dairy Products and Baby Food Products
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-7557-1444

Rudakova Tetiana, PhD, Senior Researcher
Department of Dairy Products and Baby Food Products
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-7017-735X

Moiseeva Liudmyla, Researcher
Department of Dairy Products and Baby Food Products
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0001-8845-1487

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-17>

The problem of lactase deficiency is relevant for people of different ages and can reduce the consumption of dairy products. Reduction of lactose content is achieved in various ways, among which the most common is the use of enzyme preparations. The article presents the results of experimental studies on the patterns of enzymatic hydrolysis of lactose in different types of carbohydrate raw materials by enzyme preparations of fungal and yeast origin. The parameters of hydrolysis of lactose in milk and whey, which allow to choose the rational conditions for technological operations depending on the organization of technological processes in production. The development of technologies for low-lactose fermented milk products will expand the range of dairy products for people intolerant to lactose. Reducing the lactose content of demineralized whey will expand the possibility of its use in other foods. The need to control the conditions of technological operations to ensure effective hydrolysis of lactose and the activity of enzyme preparations is experimentally substantiated. Liquid chromatography was used to quantify the content of lactose, glucose and galactose in different types of raw materials - skim milk, sour and curd whey under different conditions of enzymatic hydrolysis of lactose by enzymatic preparations of fungal and yeast origin. The presence of nonspecific proteolytic activity was revealed, which leads to an increase in the content of non-protein nitrogenous substances and deterioration of organoleptic properties of serum hydrolyzed by the enzyme preparation of lactase of fungal origin. Reducing the lactose content and enriching the composition of fermented milk products with whey proteins increase their biological value.

Keywords: Intolerance to lactose, fermented milk, low-lactose products, enzymatic hydrolysis, β -galactosidase preparation, glucose, galactose

Постановка проблеми. Впродовж останніх років кількість людей, які страждають на лактазну недостатність зростає. Непереносимість лактози – це нездатність організму перетравлювати лактозу, що міститься в молоці або молочних продуктах, через відсутність або недостатнє вироблення лактази - ферменту, потрібного для розщеплення лактози [1,2]. За таких симптомів люди, інтолерантні до лактози, вимушені обмежувати або повністю виключати з раціону харчування традиційні молочні продукти, або приймати препарати лактази постійно [3,4]. В структурі харчування населення багатьох країн, залежно від соціальних та економічних факторів, молочні продукти є вагомим складовою раціону і важливим джерелом білків та поживних речовин [5]. Вимушене обмеження споживання

молочних продуктів призводить до нераціонального харчування, а це, в свою чергу, до зростання рівня захворювання населення, зниження працездатності та скорочення тривалості життя. Крім того, зменшення споживання лактозовмісних молочних продуктів унеможливорює надходження до організму достатньої кількості кальцію, фосфору, вітамінів B2 (рибофлавіну) і D (ергокальциферолу), а також негативно впливає на мікрофлору товстого кишечника та призводить до суттєвого зниження концентрації пробіотичних бактерій вже через чотири тижні [6].

Зменшення або вилучення лактози з молочних продуктів можливе декількома шляхами. Найбільш поширеними методами видалення лактози є фізичні методи (фільтрація або діаліз) та біологічні методи, серед яких переважає ферментативний гідроліз лактози до глюкози і галактози [7,8]. Цей метод знайшов широке промислове застосування в різних галузях виробництва.

Кисломолочні продукти характеризуються зменшеним вмістом лактози, у порівнянні з молоком, але багаті поживними та біологічно активними речовинами (ферментами, вітамінами, антибактеріальними речовинами, поліпептидами, вільними амінокислотами, органічними кислотами), що підвищують їх біологічну цінність, надають специфічні пробіотичні властивості [9,10]. Переважно, ці властивості обумовлені бактеріями, які входять до складу заквасок. Більшість штамів заквашувальних препаратів володіють ферментативною активністю по відношенню до лактози, однак фактичне розщеплення відбувається в незначній кількості [11,12]. Масова частка лактози, що утилізується молочнокислими лактококами становить 0,4-0,45 %. Вміст лактози в кисломолочних продуктах, отриманих з використанням молочнокислих бактерій, коливається в межах 4,0-4,5 %. Серед молочнокислих стрептококів, які переважно є основними представниками промислових заквашувальних препаратів, найбільшим лактозоброджуючим потенціалом володіють термофільні молочнокислі стрептококи. Масова частка лактози, що розщеплюється *Streptococcus thermophilus*, складає 0,8-1,2 %; залишковий вміст лактози в кисломолочних продуктах, отриманих ферментацією цими культурами, становить 3,6-3,9%. Однак, для подальшого зменшення вмісту лактози необхідно використовувати ферментні препарати, які здатні забезпечити гідроліз лактози до регламентованих показників (щонайменше до 0,1 %). На сьогоднішній день для промислового застосування найбільш поширеними є β -галактозидази виділені із дріжджів (*Saccharomyces fragilis*, *Candida pseudotropicalis*, *Torulopsis versatilis*, *Streptococcus lactis*) та грибів (*Penicillium terlikowskii*, *P. multicolor*, *P. canescens*, *Mucor pusillus*, *Alternaria tenuis*) [13,14]. Дріжджові β -галактозидази з оптимумом дії в межах 6,0... 7,0 од. рН представляють інтерес для виробництва безлактозного молока та продуктів на основі цільного молока. Стійкі до низьких температур та кислого середовища грибні β -галактозидази використовуються для гідролізу сироватки [15].

В Україні проводились дослідження щодо застосування ферментних препаратів лактази для гідролізу лактози під час виробництва молока питного [16], морозива [17], напівфабрикатів на основі молочної сироватки [18], згущених продуктів [19], для прискорення реакції меланоїдиноутворення під час виробництва ряжанки і варенцю [20].

З огляду на вище наведене, актуальною задачею є розроблення технологій низьколактозних та безлактозних кисломолочних продуктів, що дозволить не тільки розширити асортимент молочних продуктів для людей інтолерантних до лактози але й комплексно вирішувати проблему використання інших видів лактозовмісної сировини, зокрема демінералізованої сироватки [21].

Мета роботи: встановити закономірності ферментативного гідролізу лактози в різних видах вуглеводвмісної молочної сировини для виробництва низьколактозних кисломолочних продуктів.

Матеріали та методи: для сироватки підсирної та молока знежиреного використовували нейтральну лактазу – ферментний препарат дріжджового походження (GODO-YNL2), для кислої сироватки – кислу лактазу грибного походження (Лактоканесцин Г20х). Гідроліз сироватки проводили за оптимальних температурних умов, рекомендованих виробниками ферментних препаратів, зокрема при 52 ± 2 °C для кислої лактази та 45 ± 2 °C для нейтральної лактази. Оптимальними умовами кислотності середовища нейтральної лактази були рН 6,0-6,5, кислої лактази – рН 4,0-5,0. Підготування сироватки до електродіалізу включало традиційні технологічні операції: видалення жиру та казеїнового пилу шляхом сепарування та пастеризацію. Демінералізацію молочної сироватки проводили поетапно з використанням електродіалізного оброблення (АО «MEGA», Чехія) та нанофільтрації («GEA», Данія). Вміст моноцукрів у розчині з гідролізованою лактозою визначали хроматографічним методом з використанням вискоєфективного рідинного хроматографа LC-6A («Shimadzu») з рефрактометричним детектором, колонка SCR-101-N (250×4,7 мм). Ступінь гідролізу лактози визначали кріоскопічним методом за вимірюванням точки замерзання дослідного зразка на міліосмометрі – кріоскопі термоелектричному МТ – 5-0,2 (РФ).

Основні характеристики молока та сироватки визначали за загальноприйнятими стандартизованими методиками досліджень.

Результати досліджень та їх обговорення.

Ферментативний гідроліз лактози у молоці та сироватці забезпечує накопичення глюкози та галактози у сумішах приблизно в рівних кількостях. За смаковими властивостями вони солодші ніж лактоза, що забезпечує солодкий смак та використовується для опрацювання рецептур зі зменшеним вмістом цукру [22].

Ефективність гідролізу лактози за оптимальних для кожного ферментного препарату умов кислотності середовища залежить від концентрації ферменту та тривалості оброблення. Середні значення показників молочної сировини наведено в таблиці 1. Вміст лактози у знежиреному молоці та сироватці відрізняється несуттєво і коливається у межах від 4,0% до 4,8 %.

Таблиця 1

Середні значення показників лактозовмісної молочної сировини

Показники	Підсирна сироватка	Кисла сироватка	Демінералізована підсирна сироватка (НФ/ЕД)	Молоко знежирене
Масова частка лактози, %	4,5	4,1	8,5	4,7
Масова частка сухих речовин, %	6,7	5,4	20,0	8,9
Кислотність, °Т	15	75	12	18

Лактоза належить до відновлювальних дисахаридів, які складаються з молекул D-глюкози та D-галактози. Моноцукри, які утворюються під час розщеплення лактози, знаходяться у стані мутараційної рівноваги. Широко застосовний метод визначення ступеню гідролізу лактози базується на вимірюванні точки замерзання досліджуваного середовища кріоскопічним методом на міліосмометрі, що дозволяє оперативно визначати перебіг процесу у виробничих умовах. Проте, такий метод не дає уявлення про кількісний вміст в середовищі продуктів гідролізу.

Методом рідинної хроматографії було проведено кількісне визначення вмісту продуктів гідролізу лактози у різних видах сировини – молоці, сироватці кислій та підсирній за оптимальної та зниженої температури ферментації. У виробничих умовах вибір таких температурних умов ферментативного гідролізу дозволяє обирати параметри проведення

технологічних операцій в залежності від організації технологічних процесів на конкретному виробництві.

Динаміка гідролізу кислої сироватки представлена на рисунку 1. Гідроліз сироватки кисломолочної ферментним препаратом кислої грибної лактази Лактоканесцин Г20х проводили за температури 52 ± 2 °С. За досліджуваної тривалості ферментації накопичення продуктів гідролізу описується лінійною залежністю та відповідає ступеню гідролізу лактози на рівні 73 %.

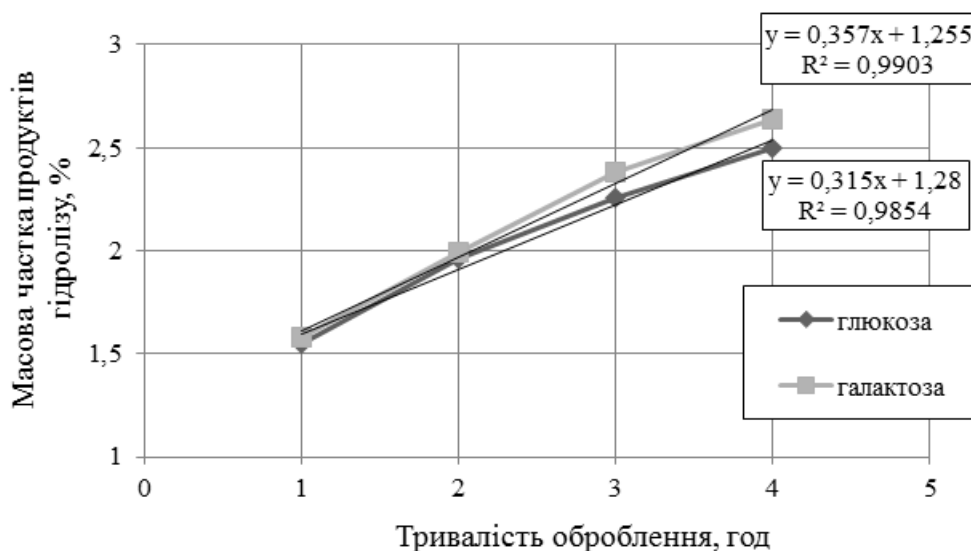


Рис. 1. Динаміка гідролізу лактози сироватки кисломолочної ферментним препаратом Лактоканесцин Г20х за температури 52 ± 1 °С та кислотності 4,5...5,0 од.рН

Динаміка накопичення продуктів гідролізу лактози підсирної сироватки ферментним препаратом нейтральної дріжджової лактази GODO-YNL2 наведена на рисунку 2. За досліджуваних умов ступінь гідролізу лактози становила близько 86 %. Рівняння регресії адекватно описують залежності накопичення глюкози та галактози.

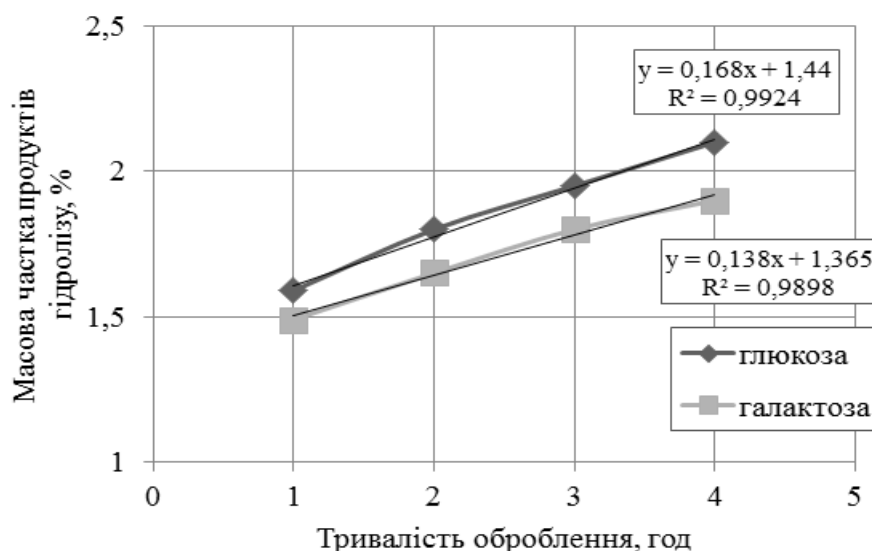


Рис. 2. Динаміка гідролізу лактози ФП нейтральної лактази GODO-YNL2 в сироватці за температури 45 ± 1 °С та кислотності 6,0...6,5 од.рН

Відмічено коливання у співвідношеннях продуктів гідролізу лактози наприкінці ферментації в залежності від виду ферментного препарату. За даними досліджень [22] було встановлено відмінності під час гідролізу лактози ферментними препаратами сироватки при підвищенні температури ферментації. За даними авторів за оптимальних температурних умов ступінь гідролізу був максимальним та призводив до переважного утворення глюкози. У разі підвищення температури ферментації – ступінь гідролізу лактози зменшувався та у середовищі переважала галактоза. Авторами відмічено, що співвідношення між масовими частками глюкози та галактози коливалось в діапазоні від 1,08% до 1,6%.

Нами було досліджено накопичення продуктів гідролізу лактози за ферментації нейтральною лактазою у знежиреному молоці за температур 45 ± 1 °C та 6 ± 2 °C (рис.3).

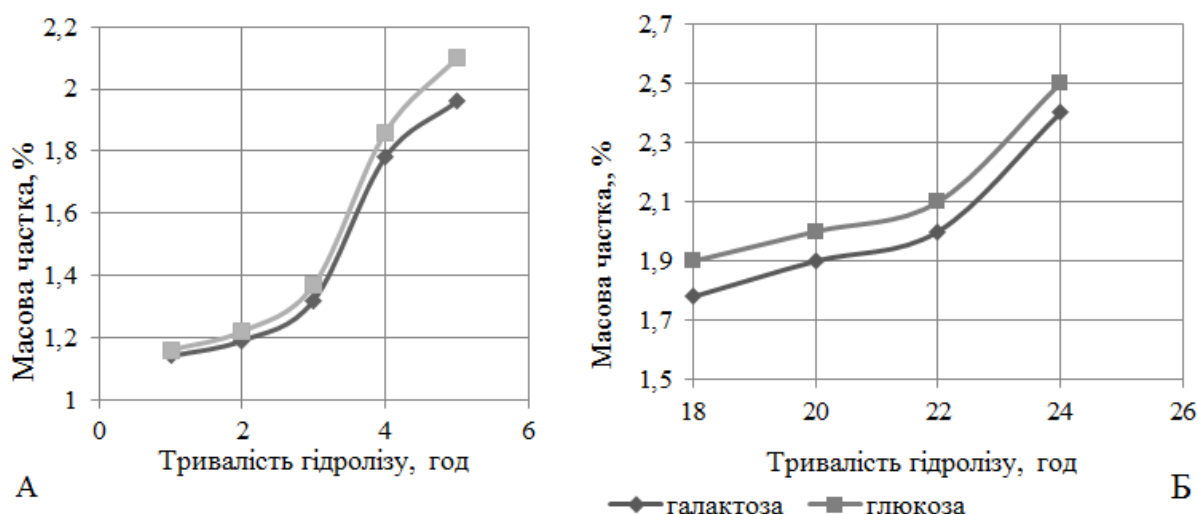


Рис. 3. Динаміка гідролізу лактози ферментним препаратом нейтральної лактази GODO-YNL2 у знежиреному молоці за температур: А - 45 ± 1 °C; Б - 6 ± 2 °C

Ступінь гідролізу лактози в молоці становив 73% після ферментації за температури 45 ± 1 °C протягом 5 годин та 76% - після 24 годин за температури 6 ± 2 °C. Не відмічено зміни у накопиченні моноцукрів зі зміною температурних режимів ферментації.

Аналіз вмісту небілкових азотистих сполук у сироватці, гідролізованій ферментним препаратом грибного походження, свідчить про збільшення їх вмісту зі збільшенням концентрації ферментного препарату (рис. 4). Очевидно, що препарат кислої лактази у своєму складі може містити домішки протеолітичних ферментів. Відмічено, що з накопиченням небілкових азотистих сполук, за наведених умов гідролізу лактози сироватки, супроводжувалось погіршенням органолептичних характеристик.

Максимальний вміст небілкових азотистих сполук у вихідній сироватці через три години гідролізу при внесенні дози ферментного препарату 0,5% досягав рівня $0,70 \pm 0,05$ мг/см³. Допустимою є ферментація кислої сироватки до вмісту небілкових азотистих сполук на рівні $0,605 \pm 0,050$ мг/см³, що не погіршує смакові властивості гідролізованої сироватки.

Використання молочної демінералізованої сироватки як джерела повноцінних сироваткових білків, може бути альтернативою з метою заміни концентратів сироваткових білків у складі білкових молочних продуктів.

Рідка молочна сироватка зі ступенем демінералізації 90% одержана після електродіалізу та нанофільтрації містить близько 2,3% білка та 8...10% лактози. Для зменшення вмісту лактози в демінералізованій сироватці використовували ферментний препарат нейтральної лактази GODO-YNL2 за температури оброблення 45 ± 1 °C (рис.5). Закономірність ферментації була подібною тій, що мала місце у разі гідролізу знежиреного молока. Проте, для забезпечення ступеню гідролізу лактози на рівні 75...80% концентрацію

ферментного препарату було збільшено. Встановлення математичних залежностей між ступенем гідролізу лактози та умовами проведення ферментації потребує подальших досліджень із застосування методів регресійного аналізу.

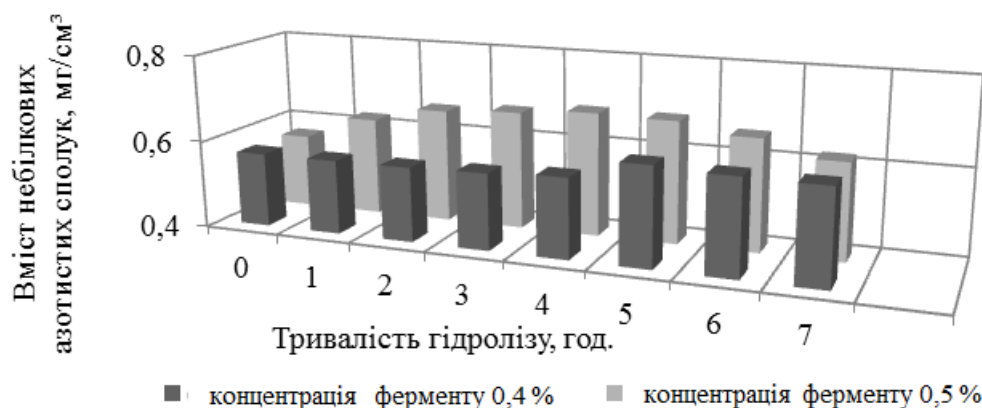


Рис. 4. Зміна вмісту небілкових азотистих сполук (мг/ см³) у кислій сироватці під час оброблення ферментним препаратом кислої лактази

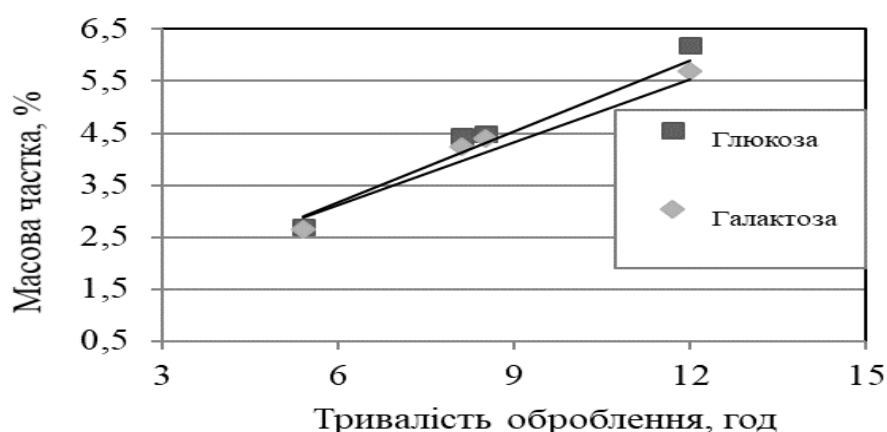


Рис. 5. Динаміка гідролізу лактози демінералізованої сироватки ферментним препаратом нейтральної лактази за температури 45±1 °С

Висновки. На підставі проведених досліджень опрацьовано технологічні параметри ферментативного гідролізу лактози в знежиреному молоці, кислій та підсирній молочній сироватці ферментними препаратами лактази грибного та дріжджового походження, що забезпечують розщеплення лактози на рівні не менше ніж 70...80% від початкового вмісту. Молоко та сироватка з гідролізованою лактозою можуть використовуватись як сировина для ферментації заквашувальними препаратами під час виробництва кисломолочних продуктів.

Бібліографія

1. Suchy, F. J. NIH consensus development conference statement: lactose intolerance and health. NIH consensus and state-of-the-science statements. 2010. 2. P. 1-27.
2. Corgneau, M. Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. Critical reviews in food science and nutrition. 2017. 15. P. 3344-3356. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1123671>

3. Хавкин А. И., Жигарева Н. С. Лактазная недостаточность. Гастроэнтеролог. 2009. 1.С. 78-82
4. Ипатова М. Г., Первичная и вторичная лактазная недостаточность. Фарматека. 2013. 11.С.41-44.
5. Nutrient-Rich Dairy Foods and You. [Online]; IDF Fastsheet, Desember, 2012. International Dairy Federation, Brussels. <https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/04/Nutrient-Rich-Dairy-Food-and-You-1.pdf> (accessed Febr 23, 2018).
6. Staudacher H. M., Lomer M. C., Anderson J. L., Barrett J. S., Muir J. G., Irving P. M., Whelan K. Fermentable carbohydrate restriction reduces luminal bifidobacteria and gastrointestinal symptoms in patients with irritable bowel syndrome. J. Nutr. 2012. Vol. 142. P. 1510–1518.
7. Novalin S, Neuhaus W, Kulbe KD (2005) A new innovative process to produce lactose-reduced skim milk. J Biotechnol 119:212–218.
8. Harju M, Kallioinen H, Tossavainen O (2012) Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products: technological aspects. Int Dairy J 22:104–109.
9. Кигель Н.Ф. Заквасочные культуры для ферментированных молочных продуктов: основные свойства и виды. Молочна промисловість. 2005. 1 (16). С. 26-29.
10. Drewnowski, A. Nutrient density of dairy products. [Online]; IDF World Dairy Summit 'United Dairy World 2009 Berlin 20-24 September 2009. https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/06/Drewnowski_Berlin-manuscript_100916.pdf (accessed Febr 23, 2018).
11. Данильчук Т. Н. Низколактозные молочные продукты. Пути получения. Молочная промышленность. 2013. 11. С.41-42.
12. Ганина В. И., Калинина Л. В., Большакова Е. В. β -галактозидазная активность молочнокислых бактерий и бифидобактерий. Молочная промышленность. 2002. 8. С. 36-37.
13. Karasova, P.; Spiwok, V.; Mala, S.; Kralova, B.; Russell, N.J. Beta- galactosidase activity in psychrophilic microorganisms and their potential use in food industry. Czech J Food Sci. 2002, 20, pp 43-47.
14. Saqib, S., Akram, A., Halim, S., Tassaduq, R. Sources of β -galactosidase and its applications in food industry Biotech. 2017, 7, p 79.
15. Pivarnik, L., Senecal, A. Hydrolytic and transgalactosylic activities of commercial beta-galactosidase (lactase) in food processing. Adv Food Nutr Res. 1995, 38, pp 1–102.
16. Погосян, А. С. До питания ферментативного гідролізу лактози за допомогою β -галактозидази. Молочная промышленность 2006, 3(28), с 44-45.
17. Чагаровская, А. С. Молочное мороженое с гидролизованной лактозой. Молочна промисловість 2008, 5(48), с 68-69.
18. Гнізевич В. А., Юдіна Т. І., Гончар Ю. Технологія напівфабрикатів на основі низьколактозної молочної сироватки та м'якоті гарбуза. Товари і ринки. 2018. №4 С. 105-114.
19. Калинина Е. Д., Романчук И. О. Применения фермента лактазы для гидролиза молочного сахара при производстве сгущенного обезжиренного молока. Збірник наукових праць Луган. нац. ун-ту, серія: технічні науки. Луганськ, 2005. С.224-228.
20. Чагаровский, А. П.; Погосян, А. С. Влияние ферментативного гидролиза лактозы с помощью препарата β -галактозидазы на органолептические и физико-химические показатели молока. Молочна промисловість 2006, 8(33), с 32-35.
21. Sychevskiy, M., Romanchuk, I., & Minorova, A. (2019). Переробка молочної сироватки: перспективи в Україні. Food Science and Technology, 13(4). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1557>.
22. Перевалова Ю. В. Кисломолочный низколактозный продукт. Молочная промышленность. 2008. № 7. 60-61.

References

1. Suchy, F. J. (2010). NIH consensus development conference statement: lactose intolerance and health. NIH consensus and state-of-the-science statements. 2, 1-27.
2. Corgneau, M. (2017). Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. Critical reviews in food science and nutrition.15, P.3344-3356. <http://10.1080/10408398.2015.1123671>
3. Khavkyn A., Zhyhareva N. (2009). Laktaznaia nedostatochnost. [Lactase deficiency]. *Hastroenteroloh. [Gastroenterologist]*.1, 78-82 [in Russian]
4. Ipatova M. (2013). Pervichnaya i vtorichnaya laktaznaya nedostatochnost. [Primary and secondary lactase deficiency]. *Farmateka [Farmateka]*. 11, 41-44. [in Russian].
5. Nutrient-Rich Dairy Foods and You. [Online]; IDFFastSheet, Desember, 2012. International Dairy Federation, Brussels. <https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/04/Nutrient-Rich-Dairy-Food-and-You-1.pdf> (accessed Febr23, 2018).
6. Staudacher H., Lomer M., Anderson J., Barrett J., Muir J., Irving P., Whelan K. (2012). Fermentable carbohydrate restriction reduces luminal bifidobacteria and gastrointestinal symptoms in patients with irritable bowel syndrome. *J. Nutr.* 142, 1510–1518.
7. Novalin S, Neuhaus W, Kulbe KD (2005). A new innovative process to produce lactose-reduced milk. *J Biotechnol* 119, 212–218.
8. Harju M, Kallioinen H, Tossavainen O. (2012). Lactose hydrolysis and other conversion in dairy products: technological aspects. *Int Dairy J.* 22, 104–109.
9. Kyhel N. (2005). Zakvasochnyye kultury dlya fermentirovannykh molochnykh produktov: osnovnyye svoystva i vidy. [Starter cultures for fermented dairy products: basic properties and types]. *Molochna promyslovist [Dairy industry]*. 1(16), 26-29. [in Russian].
10. Drewnowski, A. (2009). Nutrient density of dairy products. [Online]; IDF World Dairy Summit 'United Dairy World 2009' Berlin 20-24 September 2009. https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/06/Drewnowski_Berlin-manuscript_100916.pdf (accessed Febr23, 2018).
11. Danylchuk T.N (2013) Nizkoloaktoznyye molochnyye produkty. Puti polucheniya [Low lactose dairy products. Ways to get]. *Molochnaia promyshlennost [Dairy industry]* 11, 41-42 [in Russian].
12. Hanyina V., Kalynyna L., Bolshakova E. (2002). β -galaktozidaznaya aktivnost molochnokislykh bakteriy i bifidobakteriy. [β -galactosidase activity of lactic acid bacteria and bifidobacteria]. *Molochnaia promyshlennost [Dairy industry]*.8, 36-37. [in Russian].
13. Karasova, P., Spiwok, V., Mala, S., Kralova, B., Russell, N.J. (2002). Beta-galactosidase activity in psychrophilic microorganisms and their potential use in food industry. *Czech J Food Sci.* 20, 43-47.
14. Saqib S., Akram, A., Halim, S., Tassaduq, R. (2017). Sources of β -galactosidase and its applications in food industry *Biotech.*7, 79.
15. Pivarnik L., Senecal A. (1995). Hydrolytic and transgalactosyl activities of commercial beta-galactosidase (lactase) in food processing. *Adv Food Nutr Res.* 38, 1–102.
16. Pohosian, A. (2006). Do pytannia fermentativnoho hidrolizu laktozy za dopomohou β -halaktozydazy [To the question of enzymatic hydrolysis of lactose by β -galactosidase]. *Molochna promyslovist [Dairy industry]* 3(28), 44-45 [in Ukrainian].
17. Chagarovskaya, A. (2008) Molochnoye morozhenoye s gidrolizovannoy laktozoy [Hydrolyzed Lactose Milk Ice Cream]. *Molochna promyslovist [Dairy industry]* 5(48), 68-69 [in Russian].
18. Hnitsevykh V., Yudina T., Honchar Yu. (2018). Tekhnologiya napivfabrykativ na osnovi nizkolaktoznoi molochnoi syrovatky ta miakoti harbuza [Semi-finished technology based on low-lactose whey and pumpkin pulp] *Tovary i rynky [Goods and markets]*. 4, 105-114 [in Ukrainian].
19. Kalinina E., Romanchuk I. (2005). Primeneniya fermenta laktazy dlya gidroliza molochnogo sakkhara pri proizvodstve sgushchenogo obezhzhirenogo moloka [The use of the lactase

enzyme for hydrolysis of milk sugar in the production of condensed skim milk]. Zbirnyk naukovykh prats Luhan. nats. un-tu, seriia: tekhnichni nauky [Collection of scientific works of Lugan. nat. Universities Series: Technical Sciences]. 224-228. [in Russian].

20. Chagarovskiy, A., Pogosyan, A. (2006). Vliyanie fermentativnogo gidroliza laktozy s pomoshchyu preparata β -galaktozidazy na organolepticheskiye i fiziko-khimicheskiye pokazateli moloka [The effect of enzymatic hydrolysis of lactose using the drug β -galactosidase on the organoleptic and physico-chemical characteristics of milk]. Molochna promyslovist [Dairy industry]. 8(33), 32-35 [in Russian].

21. Sychevskiy, M., Romanchuk, I., & Minorova, A. (2019). Pererobka molochnoi syrovatky: perspektyvy v Ukraini [Whey processing: prospects in Ukraine]. Food Science and Technology. 13(4). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1557>.

22. Perevalova Yu. (2008). Kislomolochnyy nizkolaktoznyy product [Low-acid sour milk product]. Molochnaya promyshlennost [Dairy industry]. 7, 60-61. [in Russian].