

A. O. Віхрова, С. Л. Юзьків, І. Р. Бучкевич, М. С. Курка, В. І. Лубенець

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра біологічно активних сполук, фармації та біотехнологій  
anastasiia.vikhrova.bt.2019@lpnu.ua

## ОБґРУНТУВАННЯ СПЕКТРА ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЗИМІВ У ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

<https://doi.org/10.23939/ctas2022.02.118>

Аналіз літературних джерел щодо використання ензимів, ферментних препаратів та іммобілізованих ензимів дав змогу визначити, які саме ензими використовують у певних галузях харчової промисловості. Встановлено, що умовою використання ензимів у харчовій індустрії є доступність, невисока вартість та інертність щодо цільового продукту. Наведено приклади широкого використання ензимів, ферментних препаратів та іммобілізованих ензимів у технологічних процесах харчової промисловості, що сприяють покращенню якості харчових продуктів та удосконаленню умов їх зберігання.

**Ключові слова:** ензим; ферментні препарати; іммобілізовані ензими; ферментація; біокатализатор; продуцент; сировина; гідроліз.

### Вступ

Ферментація багато років є одним із основних процесів у харчовій індустрії, одним з найважливіших біотехнологічних інструментів. Неможливо уявити сучасний світ без таких продуктів, як хліб, крохмаль, молоко, соки, вина тощо. Усі вони виготовляються з використанням ензимів – каталізаторів біотехнологічних процесів. Адже основа будь-якого виробництва – економічність і якість.

З часом використовувані ензими модифікували та створили ферментні препарати. Вони містять поєднання декількох ензимів, які є продуктами метаболізму одного або двох різних мікроорганізмів. Ферментні препарати збільшують вихід продукту та зменшують тривалість процесу його одержання. Світовими лідерами з виробництва ензимів є Данія, Німеччина і США. На території України найбільшим біотехнологічним виробництвом є сьогодні Ладижинський завод біо-та ферментних препаратів.

У результаті поєднання ензиму з носієм були створені гетерогенні біокатализатори, для яких узаконено термін “іммобілізовані ензими”. Для них характерна стабільність та легкість відділення від субстрату. Однак через дороговизну та незначну каталітичну активність у харчових технологіях їх не так часто застосовують.

**Мета дослідження** – аналіз та узагальнення доступної інформації про сучасний стан використання ензимів, ферментних препаратів та іммобілізованих ензимів у харчових технологіях, вплив їх взаємодії на процес біотехнологічного виробництва.

### Матеріали та методи дослідження

Для опрацювання інформації щодо використання ензимів, ферментних препаратів та іммобілізованих ензимів застосовано методи пошуку наукової літератури, аналізу та узагальнення даних. Для систематизації ферментних препаратів використано каталог української компанії “Agroukrtrade”, для оцінювання їх безпеки – Food Chemical Codex (FCC), оновлений у 2022 р.

### Результати досліджень та їх обговорення

Ензими (ферменти) – це білки, які виробляють живі організми для пришвидшення життєво важливих хімічних реакцій. Це високоспецифічні біологічні каталізатори, які беруть участь у всіх процесах, необхідних для життя, таких як реплікація і транскрипція ДНК, синтез білка, участь у метаболізмі та катаболізмі, регуляція клітин і передавання сигналу, яке часто відбувається через кінази та фосфатази [1].

Ферментація – окисно-відновний процес за участі мікроорганізмів, результатом якого є роз-

щеплення складних органічних сполук на простіші, а саме на прості цукри, вільні амінокислоти тощо. Використання ферментації стало початком розвитку харчової біотехнології [2].

Під час ферментації мікроорганізми та побічні продукти, що утворюються, визначають тип бродіння. Основними типами бродіння, що використовуються у харчовій біотехнології, є молочнокисле бродіння, спричинене переважно бактеріями *Lactobacillus*, та спиртове бродіння, спричинене дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* [3].

Використовуючи рослинну, тваринну сировину або мікроорганізми, можна отримати різні ензими. Ензим, одержаний із використанням тваринного чи рослинного матеріалу, проходить етап виділення із клітин твердих частинок, надалі його концентрують та очищають. Здійснивши тонке очищення, отримують аналітичні ензими, а завдяки висушуванню у псевдорозрідженому шарі добувають технічні ензими (схема 1).

Мікробіологічне одержання ензимів має переваги над тканинним та рослинним. Важливою

особливістю одержання ензимів є те, що кожен мікроорганізм містить великий набір ензимів. Це сприяє використанню тих самих видів мікроорганізмів як продуцентів для одержання різних ензимів, причому застосовують ті самі способи очищення, що й для рослинної та тваринної сировини.

Дослідження світового ринку продажів ензимів виявило, що обіг харчових ензимів становить 31 % від загальної їх кількості, 6 % – кормові, решта – технічні. Виробництвом ензимів займається порівняно велика кількість компаній Європи, США та Японії. У Європі домінує Данія Novozymes (45 %) і Danisco (17%), причому після того, як останній конгломерував Genencor (США), перевершивши DSM (Нідерланди) і BASF (Німеччина) з 5 % і 4 %. Темпи розвитку на ринках, що розвиваються, дають підстави припустити, що компанії Індії та Китаю можуть приєднатися до лідерів у найближчому майбутньому.

### ОДЕРЖАННЯ ЕНЗИМІВ

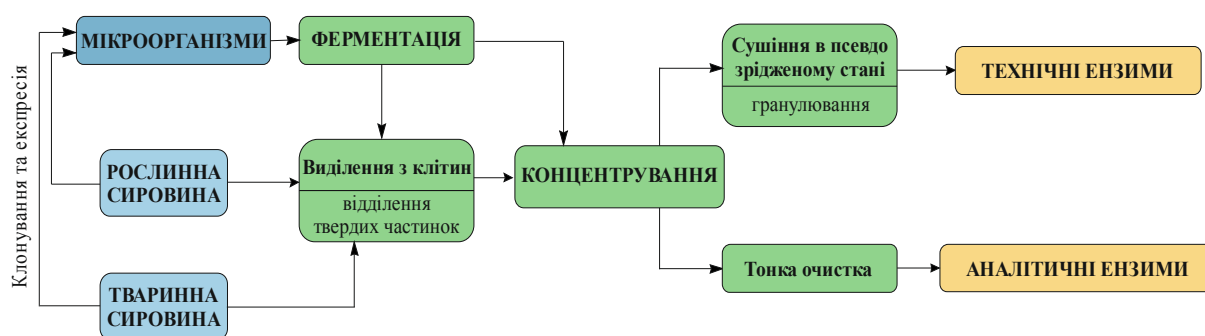


Схема 1. Отримання ензимів

### ВИРОБНИЦТВО ЕНЗИМІВ

■ Novozymes ■ Danisco ■ DSM ■ BASF ■ Інші

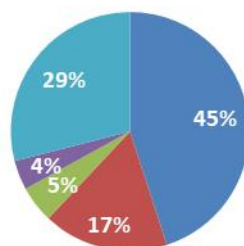


Рис. 1. Світовий обіг харчових ензимів

Розмір світового ринку ензимів оцінено в 10,69 млрд доларів США в 2020 р. З 2021 р. простежується тенденція до зростання річних темпів (CAGR) на 6,5 % кожного наступного року. Харчова грамотність споживачів привела до зростання попиту на функціональні продукти харчування, що постійно збільшує попит на екопродукцію. Збільшення глобального населення та постійна урбанізація сприяють зростанню ринку

екологічних продуктів харчування у найближчі роки [4].

### Застосування ензимів у харчових технологіях

**Хлібопечення.** Випічка передбачає використання ензимів із трьох джерел: ендогенних ензимів у борошні, ензимів, пов'язаних із метаболічною активністю доміантних мікроорганізмів та екзогенних ензимів, які додають у тісто (схема 2).

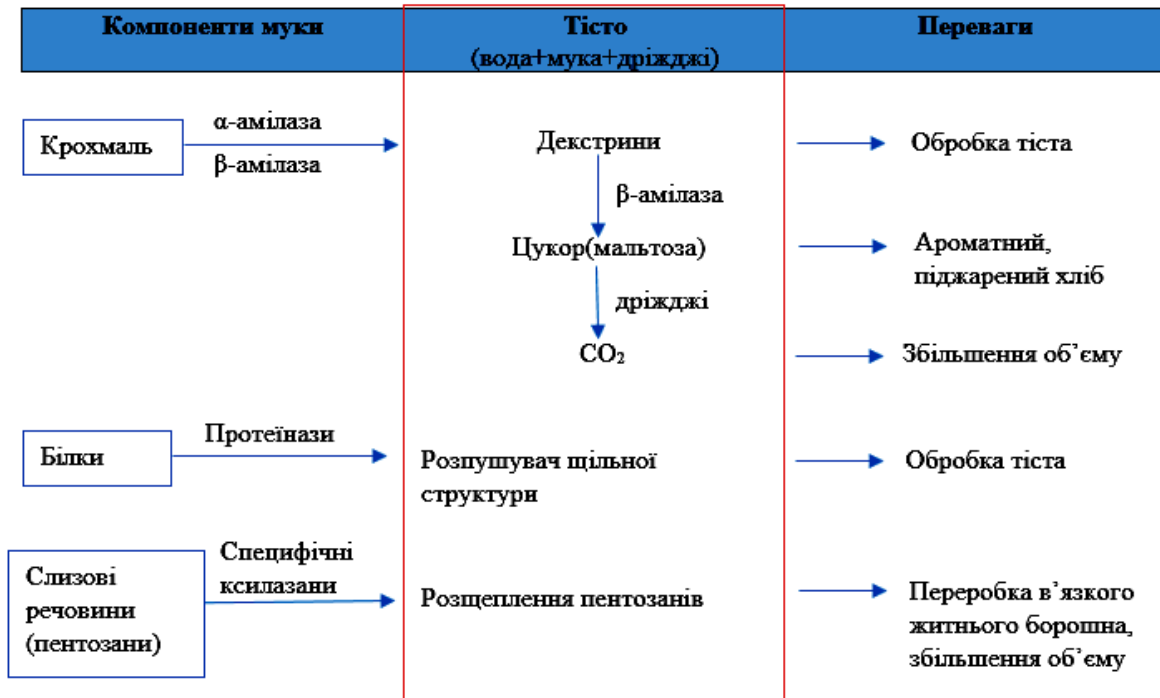


Схема 2. Ензими в хлібопеченні

Таблиця 1

### Специфічність дії ензимів хлібопечення

Ензими	Дія	Результат
$\alpha$ -Амілаза (з солоду, <i>Bacillus</i> , <i>Aspergillus</i> ); глюкоамілаза (з <i>Aspergillus oryzae</i> )	– Розщеплення крохмальних гранул борошна, гідроліз крохмального клейстера з утворенням мальтози і глюкози	– Збільшення об'єму, поліпшення структури скоринки, покращення смакових якостей
Протеїнази (з пліснявих грибів)	– Розщеплення глютену	– Еластичність тіста, збільшення вмісту газу
Ксиланаза (з <i>Trichoderma viride</i> )	– Руйнування слизистих речовин	– Покращення механічних властивостей хліба (пористість, рівномірність)
$\beta$ -Амілаза (з <i>B. stearothermophilus</i> , <i>Aspergillus</i> )	– Збільшення терміну зберігання, насиченості аромату	– Запобігає взаємодії крохмалю і глютену

Доповнення борошна та тіста ферментними препаратами (технічними ензимами) є звичайною практикою для стандартизації борошна, це також допоміжний засіб для випічки. Для модифікації тіста ензими можна додавати окремо або в складних сумішах, які можуть діяти синергетично. Це забезпечує досягнення високого ступеня пористості та якості хлібобулочних виробів.

Дріжджі, які використовують для приготування хліба, містять ензим мальтазу, який розщеплює мальтозу на глюкозу. Коли клітина дріжджів стикається із молекулою мальтози, вона поглинає її. Потім мальтаза зв'язується із мальтозою і розділяє її на дві частини. Клітини дріжджів містять інвертазу, ензим, який може розщеплювати сахарозу. Інвертаза працює на невеликому відсотку сахарози, що міститься у борошні. Ці два ензими відповідають за вироблення основної частини глюкози, необхідної дріжджам для бродіння.

Протеази можна розділити на дві великі групи відповідно до місця їх дії: екзопептидази та ендопептидази. Екзопептидази розщеплюють пептидний зв'язок проксимальніше аміно- або карбоксикінців субстрату, тоді як ендопептидази розщеплюють пептидні зв'язки, віддалені від кінців субстрату. Більша частина протеолітичної активності пшеничного та житнього борошна відповідає аспарагіновим протеазам і карбоксипептидазам, які активні в кислотному рН. Аспарагінові протеази пшениці частково пов'язані із глютенном, проте протеолітична активність здорового, непророслого зерна, як правило, низька.

Протеази використовують у великих комерційних масштабах у виробництві хліба, хлібобулочних виробів, крекерів і вафель. Ці ензими додають, щоб зменшити час замішування, забез-

печити необхідну консистенцію та однорідність тіста, регулювати міцність клейковини в хлібі, контролювати текстуру хліба та покращувати смак. Протеази істотно замінили бісульфіт, який раніше використовували для контролю консистенції за рахунок зменшення дисульфідних зв'язків білка глютену, тоді як протеоліз руйнує пептидні зв'язки. В обох випадках кінцевим ефектом є ослаблення клейковини. У виробництві хліба грибкова кислотна протеаза використовується для модифікації сумішей із високим вмістом глютену. Коли протеази змішуються в суміші, вони зазнають часткового гідролізу, суміш стає м'якою, легко витягується та замішується.

Додавання певних типів пентозаназ або ксиланаз у правильній дозі підвищує оброблюваність тіста. Додавання функціональних ліпаз модифікує природні ліпіди борошна, стабілізує тісто, уповільнює швидкість черствіння випічки. Додавання ензимів під час виробництва хліба дає змогу контролювати якість вихідного продукту [1].

#### Виробництво молочної продукції.

З молока виготовляють велику кількість різноманітних цінних харчових і технічних молочних продуктів. Це різні види питного молока, сухих молочних продуктів, кисломолочних продуктів, вершків, сирів, масла, морозива. З вторинної молочної сировини отримують молочний білок, харчовий та технічний казеїн, молочний цукор, згущену молочну сироватку, замітник незбираного молока (схема 3). У молочній промисловості ензими можуть використовуватися у новітніх технологіях, наприклад, у виробництві низьколактозних продуктів (молоко питне, дитяче харчування, сири, йогурти, згущене молоко і напої на основі сироватки з видаленою лактозою тощо).

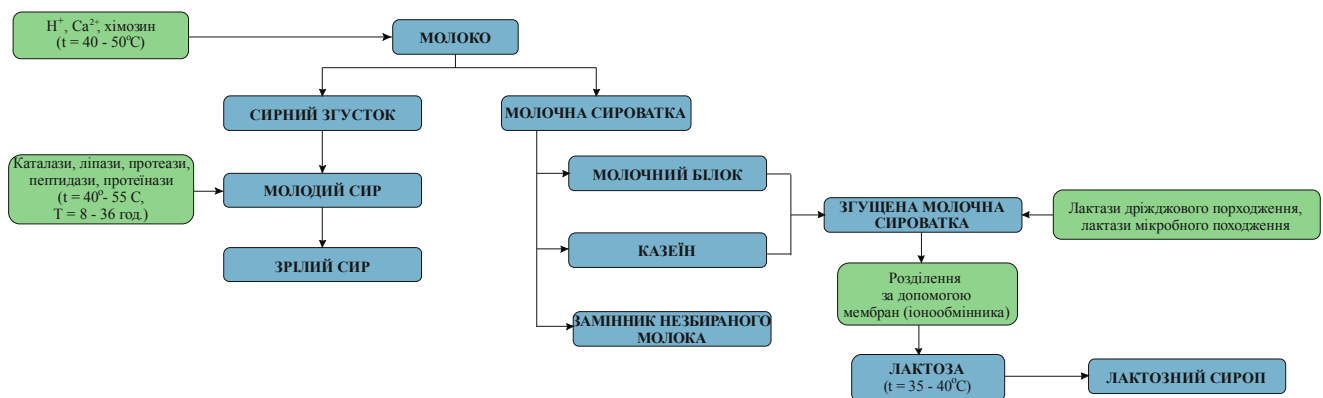


Схема 3. Принципова блок-схема перероблення молока

**Специфічність дії ензимів молочних продуктів**

Ензими	Дія	Результат
Кислі протеїнази	– Сприяють розщепленню харчових та тканинних білків до амінокислот за допомогою гідролізу пептидних зв'язків	– Згортання молока
Нейтральні протеїнази і пептидази	– Сприяють розщепленню поліпептидів і дипептидів; виділенню поодиноких амінокислотних залишків з олігопептидів, що утворюються в результаті дії позаклітинної протеїнази	– Прискорене дозрівання сиру, знежирення, одержання ферментно-модифікованого сиру, виробництво гіпоалергенних продуктів на основі молока
Ліпази (з <i>Aspergillus niger</i> )	– Гідролізують ефірні зв'язки	– Прискорене дозрівання сиру, одержання ферментно-модифікованого сиру та інших молочно-жирових продуктів
$\beta$ -галактозидаза (з <i>Streptococcus thermophilus</i> )	– Гідролізує лактозу на глюкозу та галактозу	– Одержання сироваткових продуктів зі зниженим вмістом лактози
Лактопероксидаза	– Використовує перекис водню для окиснення тіоціанатного іона гіпотіоціану активної бактерицидної молекули	– Холодна стерилізація молока
Каталаза	– Розщеплює білки, чутливі до високої температури	– Заміняє пастеризацію молока під час виготовлення деяких швейцарських сирів, зберігає корисні натуральні молочні ензими
Лізоцим (з яєчного білка або <i>Micrococcus lysodeikticus</i> )	– Застосовується проти <i>Clostridium tyrobutyricum</i> , для запобігання дефектам у молочно-кислих продуктах	– Замінник нітратів для сирів, альтернативний засіб для боротьби з “пізнім видуванням”, дефектом текстури шілін і неправильних отворів, – спричиненим масляним бродінням

У технологіях молочних продуктів широко використовують протеази, ліпази, амінопептидази, лактази, каталазу, лізоцим, лактопероксидазу тощо (табл. 2) [5].

*Виробництво крохмалю і крохмалепродуктів*

Крохмаль наявний як складова речовина в листках, бульбах, насінні та коренях багатьох рослин. Промислова деградація крохмалю зазвичай ініціюється  $\alpha$ -амілазами. Разом з іншими ензимами, що розкладають крохмаль,  $\alpha$ -амілази входять до сім'ї глікозилгідролаз. Основними продуктами крохмале-паточного виробництва є: сухий крохмаль, модифіковані крохмалі (розщеп-

лені крохмалі й заміщені крохмалі), декстрини, різні види крохмальних паток (карамелева, карамелева низькооцукрена, глюкозна високооцукрена, мальтоза), глюкоза (технічна, харчова, кристалічна), глюкозо-фруктозні сиропи (схема 4).

Виробництво картопляного крохмалю в Україні з кожним роком зростає. Модифікований крохмаль найчастіше використовують у харчовій промисловості для виготовлення хліба, желейних виробів, згущеного молока і морозива.

Крохмаль зазвичай модифікують хімічно або ферментативно до широкого спектра похідних. Часто додають харчову добавку E1422 – ацетильований дикрохмалодипат, який використовується як

стабілізатор маси, наповнювач, згущувач та емульгатор, що сприяє підвищенню в'язкості продукту.

Він добре зв'язує вологу, що виділяється під час нагрівання, дає змогу досягти стабільної консистенції.

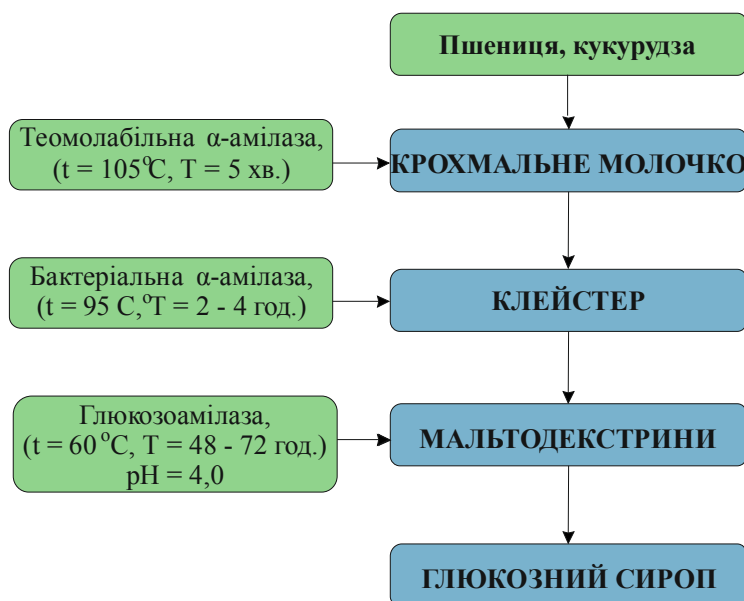


Схема 4. Принципова блок-схема ферментації крохмалепродуктів

Таблиця 3

### Специфічність дії ензимів крохмалепродуктів

Ензими	Дія	Результат
$\alpha$ -Амілази	– Розкладають крохмаль, здатні гідролізувати $\alpha$ -1,4-глікозидні зв'язки полісахаридів, що приводить до утворення коротколанцюгових декстринів	– Перетворення крохмалю на менші декстрини, які згодом ферментуються дріжджами; покращення смаку, кольору скоринки і тостових якостей хліба [7]
$\beta$ -Амілази (з <i>Bacillus stearothermophilus</i> )	– Повністю руйнують 1,4-глюкозидний лінійний ланцюг амілози, блокуються утвореною мальтозою, утворюють до 65 % теоретично можливої кількості мальтози, декстринів та невеликої кількості інших цукрів, швидко денатуруються за температур понад 60 °C, рН-стабільність від 4,5 до 7,5	– Зниження в'язкості, отримання ферментно-модифікованого сиру, гіпоалергенних продуктів на основі молока [6]
Глюканотрансферази	– Здійснюють реакцію трансглікозилювання, в якій частина донорної молекули переноситься на акцепторну молекулу; – 4- $\alpha$ -глюканотрансферази (аміломальтази) утворюють зв'язок $\alpha$ -1,4-, а 4- $\alpha$ -глюканоглюкогідролази, утворюють зв'язок $\alpha$ -1,6- (або точку розгалуження)	– комерційне застосування під час перероблення крохмалю на харчові інгредієнти
Циклодекстрин глікозилтрансфераза (з <i>Bacillus</i> , вирощеної у нейтральному або лужному середовищі)	– Розриває $\alpha$ -глікозидний зв'язок, після чого переносить невідновний кінець на відновний із утворенням циклічної молекули	– Гідролізує розчинний крохмаль, амілопектин або амілозу і розщеплює декстрини, мальтоолігосахариди або глюкозу/мальтозу

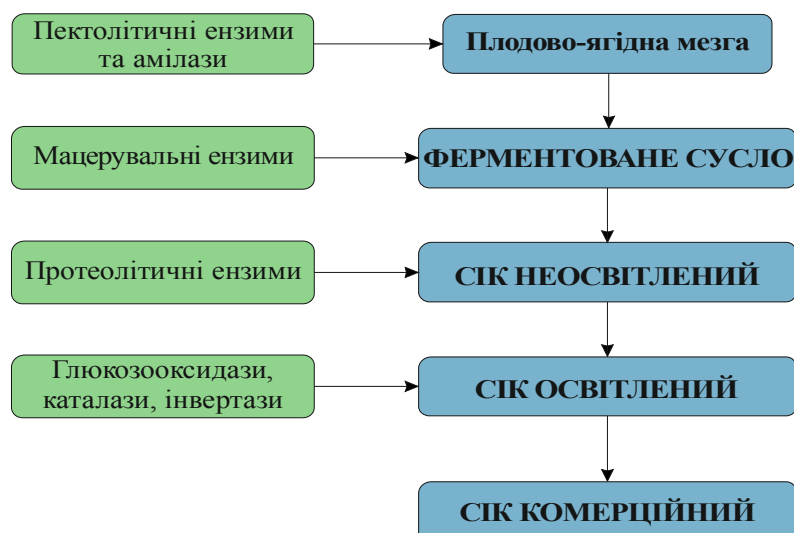


Схема 5. Принципова блок-схема ферментації плодово-ягідних соків

Таблиця 4

#### Специфічність дії ензимів під час виробництва плодово-ягідних соків

Ензими	Дія	Результат
Пектинази (з <i>Aspergillus</i> та <i>Rhizopus</i> )	– Гідроліз ефірних зв'язків пектину	– Зниження в'язкості пектину, збільшення виходу соку, покращення фільтрування
Целюлази (з <i>Sporotrichum thermophile</i> )	– Каталізують гідроліз целюлози [8], розщеплюють протопектин	– Збільшують вихід соку, змінюють в'язкість, сприяють освітленню фруктових соків
Геміцелюлази (з <i>Aspergillus niger</i> , <i>Trichoderma sp. i</i> <i>Humicola sp.</i> )	– Гідроліз полісахаридів, що належать до геміцелюлоз	– Освітлення фруктових соків, зменшення в'язкості, гідроліз геміцелюлози у фруктових шкірках, які послаблюють клітинну стінку
Глюкозооксидази і каталази	– Окиснення глюкози	– Сприяють запобіганню окиснювальним процесам і мікробіологічному псуванню під дією аеробних мікроорганізмів, стабілізують плодово-ягідні соки
Протеолітичні ензими	– Усувають білкове помутніння	– Освітлення фруктових соків, збереження первинного хімічного складу продукту [6], сприяють покращенню смаку та аромату
Інвертази	– Каталізують гідроліз сахарози	– Поліпшення органолептичних властивостей і харчових цінностей
Нарингіназа	– Розщеплює сполуку нарінгін, яка міститься у цитрусових	– Усунення гіркого смаку, покращення якості соку

#### Виробництво плодово-ягідних соків

Ензими є технологічними допоміжними засобами, які використовують у всьому світі для перероблення фруктів, зокрема для виробництва прозорого фруктового соку та концентрату. Ен-

зими полегшують виробництво висококонцентрованих соків (схема 5). Ензими, які використовують у виробництві соки, – це пектинази, амілази, глюкоамілази, целюлази, геміцелюлоза та нарінгіназа. Амілази додають разом із пек-

тиназами на початковому етапі виробництва, коли плодово-ягідна мезга містить крохмаль [1].

Пектин – це полісахарид, який утримує сік у заторі, зменшує кількість жмиху та вихід соку, уповільнює освітлення соку та унеможлиблює випаровування води під час отримання концентратів. Пектинази є важливими комерційними ензимами для виробництва освітлених та стабільних соків. Основна мета – зменшити в'язкість пектину в заторі або соці, пришвидшити соковідділення. Серед промислових продуцентів пектолітичних ензимів потрібно назвати *A. niger*, *A. wentii*, *A. oryzae*, *A. foetidus*, *P. expansum*, *P. italicum*, *Rhizopus spp.*

Пектинази для фруктових промисловості мають статус GRAS (загалом визнані безпечними) і повинні відповідати загальним специфікаціям харчових ензимів, визначеним JECFA Food Chemical Codex (5-ге вид., 2004 р.), XVI Європейським настановним комітетом з харчо-

вих продуктів (SCF) 199117 та Французьким законодавством про ензими 2006 [6].

#### Виробництво вин

Ензими відіграють ключову роль у процесі виробництва вина.

У комерційному виноробстві найчастіше використовують:

- пектинази, глюканази, ксиланази та протеази – для поліпшення освітлення і переробки вина;
- глікозидазу – для виділення сортових ароматів від сполук-попередників;
- уреазу – для відновлення етилкарбамату;
- глюкозооксидази – для відновлення рівня алкоголю.

Використання промислових ензимів забезпечує вина червоних сортів винограду насиченим кольором, зменшує тривалість мацерації, відстоювання та фільтрації [6].

Таблиця 5

#### Специфічність дії ензимів під час виробництва вин

Ензими	Дія	Результат
Пектинази (з <i>Aspergillus</i> та <i>Rhizopus</i> )	– Розщеплює пектин	– Зниження в'язкості, підвищення прозорості та стабільності
Геміцелюлази, целюлази (з <i>Sporotrichum thermophile</i> , <i>Thermoascus aurantiacus</i> , <i>Humicola grisea</i> )	– Діють на полісахаридну фракцію клітинної стінки клітин шкірки винограду, розщеплюючи її, вилучають фенольні сполуки	– Покращення мацерації шкірки, процесів освітлення, фільтрації та стабільності
Уреаза (з <i>L. fermentum</i> )	– Розщеплює сечовину на аміак і вуглекислий газ, запобігаючи утворенню уретану (етилкарбамату)	– Усунення відходів реакцій, запобігання утворенню етилкарбамату
Циннамилестерази (у білих винах)	– Сприяють гідролізу кумаринової та ферулової кислот, які після декарбоксілювання штамом дріжджів POF+ (phenyl off flavour) призводять до утворення вініл-4-фенолу та вініл-4-гваяколу	– Усунення неприємного запаху, стабілізація кольору
Антоціанази (у червоних винах)	– Вивільняють антоціани зі зв'язаних вуглеводів, утворюють продукти гідролізу нестабільної форми антоціанідину	– Втрата кольору [6]



*Виробництво виноробних ензимів.* Для виробництва ензимів, які використовують у виноробстві, відібрані штами культивують у ферментерах в аеробних умовах. Наприклад, *A. niger* для виробництва пектинази і  $\beta$ -глікозидаз, *T. Harzianum* у випадку  $\beta$ -глюканази і *L. fermentum* – для уреаз. Добре підібраний склад середовища вирощування сприяє оптимальній ферментативній активності. Середовище для вирощування, багате на пектин, сприяє виділенню мікроорганізмами пектинази (пектолітичні ензими) у середовище. Після ферментації пектинази побічні ензими та мікроорганізми відділяють за допомогою центрифуги, ультрафільтрації та концентрування [6].

*Склад і рецептура виноробних ензимів.* У виноробстві здебільшого застосовують пектинази, до яких належать пектинліаза, пектинметилестераза і полігалактураназа. Активність типу пектинліази, відома як деполімеризація, розриває пектиновий ланцюг між двома метильованими галактурановими кислотами, тоді як полігалактураназа віддає перевагу неметильованому субстрату. Активність пектинметилестерази не деполімеризує ланцюг пектину, але вивільняє молекулу метанолу із галактуранових етерифікованих кислот. Це полегшує дію полігалактуранази. Пектинази, розщеплюючи пектин, забезпечують очевидні технічні переваги, такі як прискорення стадій попередньої ферментації, збільшення виходу вільного соку, покращення освітлення та пресування, що сприяє загальному поліпшенню якості виноградного суслу із посиленням аромату та зростанням концентрації поліфенолів.

Природа і багатокомпонентний склад субстрату для росту, який використовують у виробництві ензимів, індукують вироблення широкого пулу ферментативної активності. Завдяки використанню штамів *A. niger*, спеціально відібраних для енологічних цілей, ферментні препарати компанії DSM Food Specialties (Німеччина) розроблено так, щоб природним способом підтримувати будь-яку небажану активність на незначному рівні. Побічні дії певних ензимів інколи спричиняють небажаний ефект для одних вин, а для інших – позитивний, проте це допускається регламентом.

#### *Виробництво м'ясної продукції*

У виробництві м'ясної продукції широко використовують протеази. Переробляючи м'ясо,

для його розм'якшення додають різні екзогенні протеази, здатні перетравлювати білки сполучної тканини та м'язів. Папаїн, бромелайн і фіцін використовують для розм'якшення м'яса в комерційних масштабах.

Ліпази іноді застосовують для формування смаку в ковбасному виробництві. На практиці використовують ендогенні ензими, ензими із заквасок або ізольовані комерційні ензими.

Трансглютаміназу можна використовувати для конструкційної інженерії з метою формування структурних властивостей м'ясних продуктів, одержуваних різними технологіями.

Окиснювальні ензими можуть бути альтернативою трансглютамінази для створення поперечних зв'язків у білкових матрицях. Відомо, що оксидоредуктази, зокрема тирозинази та лаккази, перехресно зшивають білки м'яса.

L-глутамінову кислоту використовують як підсилювач смаку. Наприклад, унікальний смак ферментованого соєвого соусу зумовлений здебільшого глутаміною кислотою. L-глутаміназа, що виробляється заквасками, відіграє важливу роль у формуванні смаку під час виробництва ковбас [6].

#### *Ензими в переробленні риби*

Ензимну технологію використовують нині в рибопереробній промисловості для полегшення перероблення м'яса риби, поліпшення якості готової продукції. Застосовувані ферментативні реакції м'які й не спричиняють побічних ефектів, таких як втрата поживної цінності продуктів (схема 6).

*Застосування протеаз.* Протеази є найбільш вивченими ензимами для промислової біообробки. Для рибної промисловості використовують протеази, які сприяють збереженню смакових властивостей та відновленню пігменту м'яса риби, у виробництві гідролізатів рибного білка для зниження його в'язкості, видалення шкірки.

*Застосування транглютамінази.* Транглютамінази використовують для одержання гелів сурімі та рибного фаршу, зазвичай змішуючи ензим із рибною пастою або сурімі-золям перед застиганням. Рибний желатин стає все вживанішим як альтернатива желатину кісток і шкіри великої рогатої худоби та свиней [6].

### Обґрунтування спектра застосування ензимів у харчових технологіях

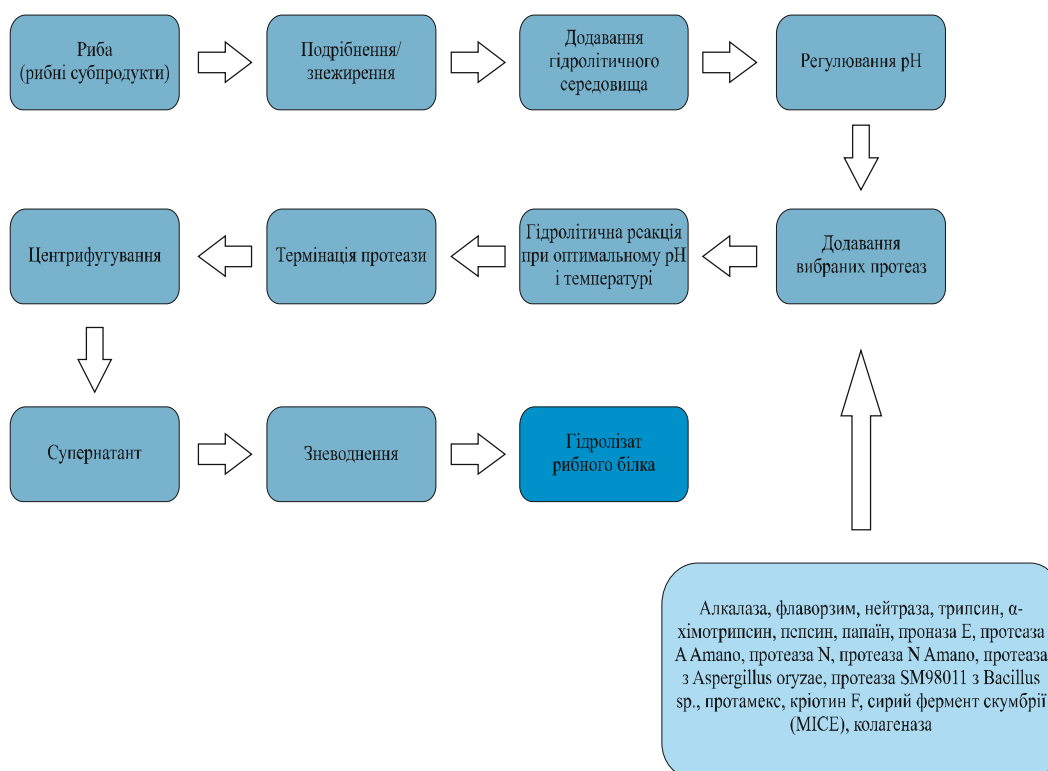


Схема 6. Блок-схема одержання гідролізату рибного білка за допомогою ферментації

### Ферментні препарати

Застосування ферментних препаратів у галузях харчової промисловості дає змогу інтенсифікувати технологічні процеси, покращувати якість готової продукції, збільшувати її вихід, а також заощаджувати цінну харчову сировину.

Ферментні препарати складаються із біологічно активних білків, іноді поєднані із металами, вуглеводами та/або ліпідами. Їх отримують із тваринних, рослинних або мікробних джерел, до їх складу входять клітини, частини клітин або безклітинних екстрактів. Вони містять один або кілька активних компонентів, а також носії, розчинники, консерванти, антиоксиданти та інші речовини, відповідно до належної виробничої практики (GMP). Ферментні препарати можуть бути рідкими, напіврідкими, сухими або іммобілізованими. Сировиною для ферментних препаратів є тканини тварин, рослин та мікроорганізми.

Тканини тварин, які використовують для приготування ензимів, повинні відповідати вимогам належної гігієнічної практики та перевірки якості м'яса.

Рослинна сировина, що використовується у виробництві ферментних препаратів, повинна складатися із компонентів, які не залишають

шкідливих для здоров'я залишків у оброблених готових продуктах харчування за нормальних умов використання.

Мікробними джерелами ферментних препаратів можуть бути нативні штами або мікроорганізми, отримані із нативних штамів у результаті селективного серійного культивування чи генетичної модифікації. Штами виробництва харчових ферментних препаратів повинні бути непатогенними та нетоксичними. Виробничі штами повинні підтримуватися в умовах, що забезпечують відсутність зношення штамів. У виробництві ферментних препаратів необхідне культивування промислових штамів за допомогою методів та умов, застосовуваних послідовно і відтворювано від партії до партії. Дотримання належних умов унеможливить утворення токсинів організмом-джерелом, а також запобігатиме проникненню мікроорганізмів, які можуть стати джерелом токсичних матеріалів та інших небажаних речовин. Поживні середовища, що застосовують для вирощування мікробних джерел, повинні складатися із компонентів, які не залишають шкідливих для здоров'я залишків у оброблених готових продуктах харчування за нормальних умов використання [9].

### Застосування ферментних препаратів у харчових технологіях

Найбільшим біотехнологічним промисловим майданчиком на території України сьогодні є Ладизинський завод біо- та ферментних препаратів. Це єдиний вітчизняний виробник хар-

чових ензимів. Виробничі потужності заводу дають змогу випускати до 6000 товарних тонн продукції на рік [10].

У табл. 6 наведено коротку характеристику ферментних препаратів, які використовують у харчовій промисловості [11].

Таблиця 6

Коротка характеристика продукції Ладизинського заводу біо- та ферментних препаратів “Ензим” (Вінницька обл., м. Ладизин)

Назва препарату	Препаративна форма та ферментна активність	Продуцент ферментного препарату	Активний ензим	Застосування у харчовій промисловості
1	2	3	4	5
Альфалад БТ	Рідина: ферментна активність 900 од./мл	<i>Aspergillus oryzae</i> та <i>Penicillium canescens</i> , вирощені глибинним способом	$\alpha$ -Амілаза бакте- ріальна високоте- мпера-турна	У харчовій промисловості для низькотемпературної схеми розварювання крохмалевмісної сировини
Альфалад БН	Рідина: ферментна активність 2000 од./мл	<i>Aspergillus oryzae</i> та <i>Penicillium canescens</i> , вирощені глибинним способом	$\alpha$ -Амілаза бакте- ріальна середньо- темпера-турна	У харчовій промисловості для високотемпературної схеми розрідження крохмалевмісної сировини
Амілоризин	Порошок: ферментна активність 5000, 10000 од./г	<i>Aspergillus oryzae</i> , вирощені глибинним способом	$\alpha$ -Амілаза грибна	У харчовій промисловості, а саме в хлібопеченні, для корекції вуглеводно- амілазного комплексу тіста
Інвертаза	Рідина: ферментна активність 10000 од./мл Порошок: ферментна активність 50000 од./г	<i>Penicillium canescens</i> , у результаті спрямованої глибинної ферментації штаму з подальшим відділенням фермен- ту від штаму проду- цента, очищенням і концентруванням	Інвертаза	Як харчова добавка кондитер- ської промисловості ( <i>in situ</i> у виробництві фруктових соків і джемів, у кондитерських ви- робках для приготування ін- вертованого сиропу із повною інверсією цукру, збільшення водоутримувальної здатності солонких начинок, для зни- ження в'язкості цукрових па- стоподібних мас)
Беталад	Рідина: фер- ментна активність 10000 од./мл	<i>Myceliophthora fergusii</i> , вирощені глибинним способом	$\beta$ -глюканаза	У технологічних процесах різних галузей: виробництво спирту і пива, целюлозно- паперової та текстильної промисловості
Глюкозоокси- даза	Порошок: ферментна активність 5000 од./г	Продуцент не вказа- ний	Глюкозооксидаза	У харчовій промисловості для поліпшення окиснювальної дії, для виробництва сухої клейковини із фуражної пшениці зі слабкою клейко- виною для її зміцнення. У виробництві сухих яечних продуктів для знецукрення ячного білка

1	2	3	4	5
Глюколад	Рідина: ферментна активність 6000 од./мл та 11000 од./мл	<i>Aspergillus awamori</i> , без застосування технологій генної інженерії.	Глюкоамілаза	У харчовій промисловості для оцукрення крохмалю в будь-яких схемах розварювання, покращує якісні характеристики готових виробів, збільшує вихід готового продукту
Ліпаза	Порошок: ферментна активність 5000000 од./г	Продуцент не вказаний	Ліпаза	Під час виробництва сиру і перероблення молока каталізує гідроліз нерозчинних естерів-ліпідних субстратів, допомагаючи переварювати, розчиняти і фракціоновані жири
Пектолад	Порошок: ферментна активність 35 од./г	<i>Aspergillus foetidus</i> , вирощені глибинним способом	Пектиназа	Для збільшення соковіддачі та поліпшення фільтрації під час віджимання, для освітлення соків і виноматеріалу. Фермент сприяє отриманню соку без м'якоті з сировини з високим вмістом пектину (сливи, агрус, чорна смородина, айва тощо)
Протолад	Порошок: ферментна активність 50000 од./г	Селекційний штам <i>Bacillus subtilis</i>	Містить бактеріальну протеазу	У харчовій промисловості для перероблення борошна із сильною клейковиною, виробництва спирту, пивоваріння, хлібопечення, виробництва хлібних та кондитерських виробів з тіста, перероблення м'яса і риби, у шкіряній промисловості, в інших галузях, де потрібне розщеплення білка
Транзим	Порошок: ферментна активність 100 од./г	Продуцент не вказаний	Трансглутаміназа	Підсилює важливі функціонально-технологічні характеристики протеїнів завдяки здатності каталізувати внутрішньомолекулярне перехресне зшивання білкових молекул, що позитивно впливає на текстуру продукту. Виробництво м'ясних виробів і напівфабрикатів, сиру, кисломолочних продуктів, кулінарія, борошномельна і хлібопекарська галузь

Альфалад БТ – рідкий концентрований амілолітичний препарат для низькотемпературної схеми розварювання крохмалевмісної сировини. Препарат гідролізує внутрішні  $\alpha$ -1,4-зв'язки крохмалю, що приводить до швидкого зниження в'язкості суслу і готує його до дії глюкоамілази. Кінцевими продуктами дії препарату є декстрини різної молекулярної маси та олігосахариди. Оптимальні умови дії Альфаладу БТ такі: рН = 5,5–6,5, температура 90–95 °С. Ефективність препарату зберігається за рН = 4,0–7,2 і температури 70–95 °С. Альфалад БТ рекомендований для використання на етапі приготування замісу за низькотемпературної схеми розварювання. Подавати його можна в чан замісу або безпосередньо у варильний апарат. Препарат вносять із розрахунку 0,55–0,65 л/т умовного крохмалю.

Альфалад БН – рідкий концентрований амілолітичний препарат для високотемпературної схеми розрідження крохмалевмісної сировини. Оптимальні умови дії Альфаладу БН такі: рН = 5,0–6,0, температура 55–62 °С. Ефективність препарату зберігається за рН = 4,5–7,0 і температури 45–70 °С. Препарат вносять із розрахунку 0,3–0,5 л/т умовного крохмалю [11, 12].

Протолад – ферментний препарат бактеріальної протеази, отриманий спрямованою ферментацією селекційного штаму *B. subtilis* із подальшим очищенням. Протолад каталізує гідроліз високомолекулярних білків із утворенням низькомолекулярних пептидів. Препарат також застосовують для перероблення м'яса та риби. За рахунок розщеплення білків м'язової тканини досягається зменшення термінів дозрівання м'яса та рибопродуктів під час оброблення, посилюються смак та аромат продуктів за рахунок утворення вільних амінокислот. Також можливе підвищення сортості м'яса та використання відходів переробки для отримання м'ясних та рибних гідролізатів із додаванням добавок.

Основним препаратом, упровадженим у хлібопекарську промисловість, є амилоризин. Препарат отримують з поверхневої культури *A. oryzae* осадженням етанолом. Амилоризин проявляє амілолітичну і протеолітичну активності. Надзвичайно важливе значення для хлібопекарської промисловості має ступінь обсіменіння препарату спорами *Vac. mesentericus* (картопляна паличка) і *Vac. subtilis* (сінна паличка). Ознака ураження хліба картопляною паличкою – тягучий

м'якуш і поява специфічного неприємного запаху і смаку. Тому на хлібзаводах під час випікання хліба із використанням препарату амилоризину П10Х кожен партію препарату необхідно перевіряти на обсіменіння спорами картопляної палички [11, 12].

У хлібопеченні глюкозооксидазу використовують як альтернативний окиснювач, замість бромату калію. Підвищений вміст глюкозооксидази у тісті з пшеничного борошна спричинить істотні зміни у його структурі та якості випеченого хліба. Ефект залежить від кількості ензиму та якості вихідного пшеничного борошна. Глюкозооксидаза здатна відновити хлібопекарську властивість пошкодженої клейковини.

Глюколад – рідкий концентрований високоактивний препарат. Його основа – ензим глюкоамілаза, який гідролізує  $\alpha$ -1,4- та  $\alpha$ -1,6-зв'язки крохмалю, декстринів та олігоцукрів з утворенням глюкози для подальшого споживання її дріжджами. Оптимальними умовами дії глюколаду є рН = 4,5–6,5 і температура 30–60 °С. Глюколад застосовують для оцукрення крохмалю за будь-яких схем розварювання. Норма внесення препарату становить: за високотемпературної схеми розварювання – 0,6–0,8 л/т умовного крохмалю, за низькотемпературної – 0,9–1,2 л/т умовного крохмалю [11, 13].

### Імобілізовані ензими

Імобілізація ензиму означає поєднання селективності, стабільності та кінетики цього ензиму з фізичними та хімічними властивостями носія. Спеціалізована рецептура максимізує фізичну та ферментативну стабільність біокатализатора.

Для імобілізації ензимів використовують багато різних методів, але промисловість завжди надає перевагу простим і економічно ефективним. Найпоширеніші методи ґрунтовані на фізичній імобілізації (адсорбція або фізичне захоплення) та хімічній імобілізації (ковалентне та перехресне зв'язування).

Порівняно із вільними ензимами в розчині, імобілізовані ензими міцніші та стійкіші до змін навколишнього середовища. Гетерогенність імобілізованих ензимів систем дає змогу:

– легко відновлювати як ензими, так і продукти;

**Переваги та недоліки іммобілізованих ензимів у промислових процесах**

Переваги	Недоліки
Легке відділення	Нижча активність ензиму порівняно із нативними ензимами
Знижені витрати на подальше перероблення	Нижча швидкість реакції порівняно з нативними ензимами
Багаторазове використання біокаталізатора	Додаткові витрати на носії та іммобілізацію
Вища стабільність, особливо до органічних розчинників і більших температур	Підлягає забрудненню
Використання реакторів із фіксованим шаром або реакторів періодичної дії без необхідності використання мембрани для виділення ензиму з продукту	Утилізація вичерпаного іммобілізованого ензиму (спалення)
Можлива спільна іммобілізація з іншими ензимами	Дороговизна

- забезпечити багаторазове повторне використання ензимів;
- підтримувати безперервну роботу ферментативних процесів;
- швидко припинити проходження реакцій;
- використовувати різноманітніші конструкції біореакторів.

Вагомими недоліками таких ензимів є їх дороговизна і невисока активність [14].

#### **Використання іммобілізованих ензимів у харчових технологіях**

Широкого використання набули іммобілізовані ензими в технологічних процесах харчової промисловості, таких як гідроліз крохмалю, білків, полісахаридів, освітлення вин, соків, для поліпшення їх фільтрації, інтенсифікації процесів дифузії; в консервній промисловості; в масложировій – для удосконалення процесів рафінації та екстракції, гідролізу масел, покращення якості харчових продуктів, удосконалення умов їх зберігання після оброблення іммобілізованими ензимами [15].

*Одержання глюкозо-фруктозних сиропів.* Ізомеризація глюкози у фруктозу під дією іммобілізованої глюкозоізомерази є одним з найважливіших процесів за участю іммобілізованих ензимів.

Використання іммобілізованої ізомерази глюкози у виробництві кукурудзяного сиропу з високим вмістом фруктози (HFCS) – найбільший комерційний процес за участі іммобілізованого ензиму, як за кількістю проданого ензиму, так і

за обсягом виробленого продукту. Фактично, щорічно виробляється понад 500 т іммобілізованої глюкозо-ізомерази, що дає можливість одержувати приблизно 10 мільйонів тонн HFCS на рік. HFCS також застосовують у виробництві фруктози як підсолоджувач для напоїв та харчових продуктів або безпосередньо використовують як харчовий компонент. Хоча D-ксилоза є природним субстратом ізомерази глюкози, в ензиму широка субстратна специфічність і він ефективно перетворює D-глюкозу на D-фруктозу в промисловому застосуванні.

Два комерційних препарати іммобілізованої ізомерази глюкози основані на недорогих неорганічних носіях, таких як бентонітова глина та діатомова земля з ензимом, зшитим глутаровим альдегідом. Після зшивання ензим – глутаральдегід-композит зневоднюють і механічно екструдують перед сушінням у сушарці із псевдозрідженим шаром. Отримана іммобілізована ізомераза глюкози надзвичайно стабільна, із періодом напіврозпаду понад один рік.

*Епімераза для алюлози.* Алюлоза є підсолоджувачем з нульовою калорійністю, за солодкістю схожа на декстрозу. D-алюлоза є C-3 епімером D-фруктози, структурна відмінність між алюлозою та фруктозою призводить до того, що алюлоза не метаболізується людським організмом і, як наслідок, має нульову кількість калорій. Вважається, що алюлоза не містить калорій і зберігає властивості, подібні до типових моносахаридів. Основним цільовим ринком алюлози є виробники продуктів харчування та напо-

ів. Заміна декстрази, фруктози або HFCS алюлозою істотно зменшує калорійність, не змінюючи властивостей, наданих цукровим компонентом. Зазвичай алюлоза міститься в обробленій патоці з очерету, буяці, каві, обробленій парою, продуктах із пшениці та кукурудзяного сиропу із високим вмістом фруктози.

Останніми роками алюлозу визнано GRAS (загалом вважається безпечною) у США, вона також комерціалізується та використовується як харчовий продукт в інших країнах, таких як Мексика, Колумбія, Чилі та Коста-Ріка. Алюлоза не є схваленим харчовим продуктом у Європі, але окремі виробники алюлози вже подали заявку на її схвалення як нового харчового інгредієнта в Європі. Основний крок до індустріалізації зробив Tate & Lyle, створивши повний промисловий процес з використанням покращених ензимів, іммобілізованих на іонообмінній смолі, розробивши композиції підсолоджувачів, які містять фруктозу, сукралозу та алюлозу [16].

*$\beta$ -галактозидаза для гідролізу лактози.* Концентрація лактози у коров'ячому молоці 4,3–4,5 %, що становить 38–40 % від загальної кількості сухих речовин молока. Лактоза із молока і молочних продуктів гідролізується до галактози і глюкози в шлунку або у верхньому відділі малого кишечника. Видалення лактози з молока і молочних продуктів робить їх прийнятними для людей з непереносимістю лактози, тому молочна промисловість виділила великі ресурси на оброблення лактози  $\beta$ -галактозидазою. Оскільки підсолоджувальна здатність лактози, глюкози та галактози становить відповідно 20, 70 і 58 % від сахарози, гідролізоване молоко набагато солодше від звичайного молока. Промисловість розробила два гідролітичні методи із використанням  $\beta$ -галактозидази. Ензим  $\beta$ -галактозидаза, найвідоміший як лактаза, гідролізує лактозу на її мономери, глюкозу і галактозу, використовується для видалення лактози з молока. Найпростішим, але дорожчим способом є додавання  $\beta$ -галактозидази до незбираного молока; після завершення ферментативного гідролізу ензим дезактивується у ході термічної обробки (як правило, у поєднанні із пастеризацією).

Інший процес передбачає використання іммобілізованої  $\beta$ -галактозидази на знежиреному молоці. Після завершення гідролізу визначену кі-

лькість жиру знову додають до гідролізованого молока. Перевагою застосування іммобілізованих ензимів є відсутність нативних ензимів, які є потенційними алергенами у кінцевому продукті.

Компанія Sumitomo Chemical (Японія) розробила іммобілізовану  $\beta$ -галактозидазу з *Aspergillus oryzae*, де ензим був ковалентно зв'язаний із іонообмінною смолою на основі поліфенольного формальдегіду (Duolite A568). Такий процес успішно використовував кооперативний маслозавод Drouin (Австралія), досягаючи іммобілізації використанням рІ ензиму та зарядів смоли [17].

*Системи модифікації смаку.* Ліпази широко використовують для ферментативної модифікації смаку їжі, однак дуже мало вивчена іммобілізація ліпази. Kosugi та Suzuki успішно фіксували зв'язану з клітинами ліпазу *Pseudomonas mephitica* var. *lipolytica*. Фіксована ліпаза зберігала 83 % активності розчинної ліпази, а оптимальна температура та термостабільність фіксованої ліпази були такими самими, як у розчинної ліпази, виділеної з мікробних клітин.

Фіксована ліпаза може використовуватися постійно для гідролізу трибутирину або триацетину. Вчені іммобілізували свинячу панкреатичну ліпазу захопленням у поліакриламідний гель. Коли кількість з'єднувальних груп на поверхні кульок збільшувалася, реєструвалося супутнє зниження питомої активності зв'язаного ензиму. Діазотування ліпази перед іммобілізацією було згубним для активності ензимів.

В іншому дослідженні іммобілізована грибова ліпаза на сукциніламіноетилагарозі. Іммобілізація цієї ліпази істотно змінила будь-які кінетичні властивості ензиму. Однак цей конкретний ензим переважно гідролізував оливкову олію, а не вершкове масло. Ці експерименти, поки що попередні, можуть привести до нових методів модифікації смаку.

Серед інших застосувань ензимів для модифікації смаку – використання нарингінази та аденозиндеамінази. Наринген – глікозид родини флавоноїдів, який надає гіркоту фруктам, таким як грейпфрути та кислі апельсини. Нарингіназа – це ензим, який гідролізує нарингін з утворенням нарингін-7,3-глюкозиду (прунін), який не гірчить. Іммобілізовану нарингіназу можна застосовувати для знежирення освітленого грейпфру-

тового соку. Іншим дослідженим ензимом, що модифікує смак, є аденозиндеаміназа. Аденозиндеаміназа перетворює аденозин на інозин і була іммобілізована за допомогою поліакриламідних гелів. Інозин, отриманий у такий спосіб, може бути хімічно фосфорильований із утворенням інозину 5'-монофосфату (ІМФ), що застосовують як підсилювач смаку [18].

### Контроль ферментних препаратів

Ферментні препарати, використовувані в харчовій промисловості, містять активний ензим, який відповідає за передбачуваний технологічний ефект у харчових продуктах. Необхідно виконати загальну оцінку безпеки кожного ферментного препарату, призначеного для використання у харчовій промисловості. Ця оцінка повинна передбачати оцінку безпеки організму, що продукує ферментний компонент, оцінку виробничого процесу та побічних ефектів, урахування можливості дієтичного застосування. Розроблено рекомендації щодо оцінювання безпеки харчових ферментних препаратів, отриманих зі штамів мікробів. Міжнародно визнані експертні групи надали рекомендації щодо оцінювання безпеки харчових продуктів та харчових інгредієнтів, розроблені за допомогою біотехнологій, які застосовують до ферментних препаратів [19].

*Характеристика джерела ензиму.* Ензими, використовувані в харчовій промисловості, отримують із тканин тварин, рослинного матеріалу та мікроорганізмів. Ці джерела повинні відповідати принципам, викладеним у монографії “Ферментні препарати” (розділ “Інші вимоги”) поточного видання Кодексу харчових хімікатів (FCC) [20].

Тканини тварин, які використовують для виробництва ензимів, повинні відповідати вимогам щодо інспекції м'яса, і поводитися з ними необхідно відповідно до належної гігієнічної практики.

Рослинний матеріал, що використовується для виробництва ензимів і культуральні середовища, застосовувані для вирощування мікроорганізмів, повинні складатися із компонентів, які не спричиняють шкідливих для здоров'я залишків у готових продуктах за нормальних умов використання. Процес ферментації повинен відбуватися в контрольованих умовах, щоб запобігти забруд-

ненню мікроорганізмами, які можуть бути джерелом токсичних та інших небажаних речовин.

Мікроорганізми, використовувані у виробництві ензимів, повинні бути таксономічно ідентифіковані та прийняті як непатогенні та нетоксикогенні. Певні штами мікроорганізмів, які зазвичай вважають нетоксичними, іноді здатні продукувати токсини у разі культивування в умовах, які сприяють синтезу токсинів. Використовуючи ці мікроорганізми як джерела ензимів, умови бродіння потрібно скоригувати для запобігання синтезу токсинів; необхідно виконати відповідні тести, щоб кінцеві ферментні препарати не містили небезпечних рівнів токсинів. Крім того, такі мікроорганізми можуть бути генетично модифіковані, щоб інактивувати біохімічні шляхи, які беруть участь у синтезі токсинів. Такого результату можна досягти за класичного мутагенезу або генної інженерії.

*Склад ферментного препарату.* Комерційні ферментні препарати, які використовують у харчовій промисловості, зазвичай містять ензим, який каталізує хімічну реакцію і відповідає за його технологічний ефект, а також речовини, що використовують як стабілізатори, консерванти або розріджувачі. Ферментні препарати можуть містити компоненти, отримані від організму-продуцента та процесу виробництва. Для характеристики ферментного препарату потрібна така інформація:

- ідентичність та рівні розріджувачів, стабілізаторів, консервантів і будь-яких інших речовин, що використовують у рецептурі ензиму;
- вторинні ензими, отримані від організмів-продуцентів, які можуть міститися у ферментному препараті;
- залишки інших метаболітів, отриманих від організмів-продуцентів, та речовин, використовуваних для виділення та очищення ензимів;
- вміст загальних органічних твердих речовин (TOS) для комерційного ферментного препарату та для партії ензимів, які використовують у токсикологічних дослідженнях.

*Виробничий процес.* Незалежно від вихідного матеріалу, ферментні препарати повинні вироблятися відповідно до чинної належної виробничої практики (GMP). Для ферментних препаратів, отриманих із тваринного або рослинного матеріалу, зокрема культури тканин, слід охарак-



теризувати вихідні матеріали та описати процеси виділення й очищення ензимів. Для ферментних препаратів, отриманих із мікроорганізмів, необхідно описати процес ферментації, урахувавши всі етапи та контроль, необхідні для підтримки належних умов росту, а також чистоту і генетичну стабільність культури. Потрібно описати виділення ензиму з клітинного матеріалу або з ферментаційного бульйону (залежно від того, чи є ензим внутрішньоклітинним, чи секретованим), вказавши всі хімічні та фізичні процеси оброблення та контроль якості. Усі матеріали, використовані у ферментації та подальшій переробці (зокрема піноутворювачі та флокулянти), мають бути ідентифіковані та вказані як придатні для використання в харчовій промисловості [19].

### Висновки

Аналізування літературних джерел показало, що ензими є зручним і доступним інструментом для інтенсифікації ферментативних реакцій та економічності виробничого процесу. Дослідження світового ринку продажів ензимів виявило, що обіг харчових ензимів становить 31 % від загальної їх кількості й із кожним роком асортимент ензимів зростає. Розглянуто основні ензими, що використовуються у хлібобіченні, виготовленні молочної продукції, виробництві плодово-ягідних соків та вин, глюкозо-фруктозних сиропів та підсолоджувачів, обробленні м'ясних та рибних продуктів.

Із урахуванням потреби використання суміші ензимів створені ферментні препарати. Необхідність розроблення стійкіших ензимів, які можна використовувати багаторазово, зумовила потребу в іммобілізації ензимів. Харчова промисловість використовує найбільшу кількість іммобілізованих ензимів у добре налагоджених промислових процесах, таких як виробництво HFCS, амінокислот. Їх застосовують у всьому світі як основні харчові інгредієнти. Сьогодні наукові відкриття в галузі ензимології створили потенціал для компенсування багатьох виснажених природних ресурсів, що дає змогу вдосконалювати технологічні процеси, покращувати якість готової продукції, економити цінну сировину та знизити кількість відходів виробництва.

### References

1. Chaudhary, S., & Sagar, S. (2015). The use of enzymes in food processing: A Review. *South Asian Journal of Food Technology and Environment*, 01(3 and 4), 190–210. <https://doi.org/10.46370/sajfte.2015.v01i03and04.01>.

2. Paul Ross, R., Morgan, S., & Hill, C. (2002). Preservation and fermentation: Past, present and future. *International Journal of Food Microbiology*, 79(1-2), 3–16. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(02\)00174-5](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00174-5).
3. Taveira, I. C., Nogueira, K. M., Oliveira, D. L., & Silva, R. do. (2021). Fermentation: Humanity's oldest biotechnological tool. *Frontiers for Young Minds*, 9. <https://doi.org/10.3389/frym.2021.568656>.
4. Patel, A. K., Singhanian, R. R., & Pandey, A. (2017). Production, purification, and application of microbial enzymes. *Biotechnology of Microbial Enzymes*, 13–41. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803725-6.00002-9>.
5. Khan, U., & Selamoglu, Z. (2020). Use of Enzymes in Dairy Industry: A Review of Current Progress. *Archives of Razi Institute*, 75(1), 131–136. <https://doi.org/10.22092/ari.2019.126286.1341>.
6. Whitehurst, R., & Oort, M. (2009). *Enzymes in food technology*. Wiley-Blackwell.
7. Варбанець Л. Д., Авдіюк К. В., Борзова Н. В. (2008). Мікробні  $\alpha$ -амілази: виділення, властивості, практичне застосування. *Біотехнологія*, 2, 39–51. [http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3911/2008\\_2\\_39-51.pdf?sequence=1](http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3911/2008_2_39-51.pdf?sequence=1)
8. De Souza, T. S. P., & Kawaguti, H. Y. (2021). Cellulases, Hemicellulases, and Pectinases: Applications in the Food and Beverage Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 14(8), 1446–1477. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02678-z>.
9. Home: Food and agriculture organization of the united nations. FAOHome (n.d.). Retrieved June 2, 2022, from <https://www.fao.org/home/en>.
10. Дехтяренко Н. В. (2013). Виробництво ферментних препаратів в Україні. *Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*, 3, 48–58. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NVKPI\\_2013\\_3\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NVKPI_2013_3_10).
11. Сайт заводу препаратів мікробіологічного синтезу Ензим <https://enzim.ua/index.php?page=main&lng=uk#harchoprom>.
12. Зубар Н. М. (2020). Теоретичні основи харчових виробництв. Київ: Кондор.
13. Agroukrtrade.com. (2014, May 5). *Продукція*. Біотехнологічна продукція в Україні. Retrieved June 2, 2022, from <https://agroukrtrade.com/produksiya/>
14. Basso, A., & Serban, S. (2019). Industrial applications of immobilized enzymes a review. *Molecular Catalysis*, 479, 110607. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110607>.
15. Грегірчак, Н. М. (2011). *Іммобілізовані ферменти і клітини в біотехнології* [конспект лекцій для студ. спец. 8.05140101 "Промислова біотехнологія" ден. та заоч. форм навч.], Retrieved from <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/2306>, НУХТ, Україна.

16. Skinner, S. J., Geaney, M. S., Lin, H., Muzina, M., Anal, A. K., Elliott, R. B., & Tan, P. L. (2009). Encapsulated living choroid plexus cells: Potential long-term treatments for central nervous system disease and trauma. *Journal of Neural Engineering*, 6(6), 065001. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/6/6/065001>.
17. Asia Pacific Business Press. (2005). *Enzymes bio-technology Handbook*.
18. Kilara, A., Shahani, K. M., & Shukla, T. P. (1979). The use of immobilized enzymes in the food industry: A Review. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 12(2), 161–198. <https://doi.org/10.1080/10408397909527276>.
19. Center for Food Safety and Applied Nutrition. (n.d.). *Guidance on data for petitions and Gras notices for enzyme preparation*. U. S. Food and Drug Administration. Retrieved June 2, 2022, from <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-recommendations-submission-chemical-and-technological-data-food-additive-petitions>.
20. *Food Chemicals Codex (FCC)*. Food Chemicals Codex (FCC)/FCC/Online. (n.d.). Retrieved June 2, 2022, from <https://www.foodchemicalscodex.org/>

**A. O. Vikhrova, S. L. Yuzkiv, I. R. Buchkevych, M. S. Kurka, V. I. Lubenets**  
Lviv Polytechnic National University,  
Department of Biologically Active Compounds, Pharmacy and Biotechnology

#### USE OF ENZYMES AND ENZYME PREPARATIONS IN FOOD TECHNOLOGIES

The analysis of literature sources on the use of enzymes, enzyme preparations and immobilized enzymes, allowed to determine which enzymes are used in certain sectors of the food industry. It is established that the condition for the use of enzymes in the food industry is the availability, low cost and inertia relative to the target product. Examples of the wide use of enzymes, enzyme preparations and immobilized enzymes in the technological processes of the food industry are given, which contribute to improving the quality of food products and improving their storage conditions.

**Key words:** enzyme; enzymes preparation; immobilised enzymes; fermentation; biocatalyst; producer; raw material; hydrolysis.