

КОВАЛЬ ЄВГЕН

Вінницький Національний аграрний університет

<https://orcid.org/0009-0004-4007-9902>e-mail: zkoval1998@gmail.com

СОЛОМОН АЛЛА

Вінницький Національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2982-302X>e-mail: Solola78@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФЕРМЕНТІВ У ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА

В статті показано особливості внесення ферментів в харчові продукти хлібопекарської, кондитерської, цукрової, м'ясної, спиртової та крохмале-патокової галузей тощо. Зроблено висновки, що використання ферментів дозволяє інтенсифікувати технологічні процеси, збільшити вихід та якість продуктів.

Ключові слова: харчові технології, ферменти, ефективність, виробництво.

KOVAL EUGENE, SOLOMON ALLA

Vinnytsia National agrarian university

FEATURES OF THE USE OF ENZYMES IN FOOD TECHNOLOGIES TO INCREASE PRODUCTION EFFICIENCY

In the modern food industry, various food additives are actively used to improve the quality of the finished product. Enzymes are extremely effective biological catalysts of protein nature, which, acting in a strictly defined sequence, increase the speed of chemical reactions hundreds of times. The use of enzymes has now become the most important industrial principle of food technology improvement.

The use of enzymes in food technologies is at the stage of active development, their range and the functions they can perform in food systems are expanding. The effectiveness of the introduction of enzymes as technological additives-improvers is beyond doubt.

The article is devoted to highlighting the peculiarities of the introduction of enzymes into food products of the bakery, confectionery, sugar, meat, alcohol, starch and molasses industries, etc. It is shown that the use of enzymes makes it possible to intensify technological processes, increase the yield and quality of products.

The main functions of enzymes in food technology are acceleration of biochemical processes, improvement of organoleptic properties of products, increase of yield of beverages, meat, bread and confectionery products, increase of extractability of beverages, intensification of deep hydrolysis of starch and proteins and milk sugar - lactose, prevention of oxidation processes and development aerobic microorganisms, enrichment of valuable nitrogenous nutrition of yeast wort; combating non-biological clouding of beer, adjusting the technological characteristics of flour, strengthening the gluten framework and improving plasticity in frozen dough, ensuring the rheological characteristics of puff pastry and the necessary consistency at high sugar concentrations in fondant candies, caramel, praline, etc.

It was concluded that the achievement of high product quality, high product yield and intensification of technological processes, which directly affects the production efficiency, are practically impossible without the use of technological additives - enzymes.

Key words: food technologies, enzymes, efficiency, production.

Постановка проблеми у загальному вигляді

В світовому та вітчизняному масштабі харчова промисловість була і залишається пріоритетною і стратегічно важливою галуззю серед всіх існуючих.

Використання ферментів в рецептурах харчових продуктів перетворилося у важливий промисловий принцип удосконалення харчових технологій. Більшість галузей харчової промисловості – хлібопекарська, кондитерська, спиртова, виноробство та пивоваріння, сироробна та крохмале-патокова, виробництво плодово-овочевих соків та безалкогольних напоїв – засновані на використанні різноманітних ферментативних процесів [1].

З існуючих у природі близько 25 тисяч різних ферментів нині описано трохи більше 3 тис. найменувань і ще менша їх кількість використовується, що підтверджує доцільність проведення наукових досліджень в цьому напрямку.

Застосування ферментів дозволяє інтенсифікувати перебіг технологічних процесів в технологіях більшості продуктів харчування, здатне покращити якісні показники продуктів харчування, їх зовнішній вигляд, а також в деяких випадках заощаджувати сировину.

Масштаби використання в харчовій промисловості зростають й інших технологічних добавок – ферментних препаратів (ФП). ФП, на відміну від ферментів, містять, крім активної частини ферменту, значну кількість допоміжних, баластних речовин. Крім того, більшість ФП мають комплексний склад, тобто, крім основного ферменту, який характеризується найбільшим значенням активності, до складу входять інші супутні ферменти. Промисловість в великих кількостях використовує ФП мікробіологічного походження, продуцентами яких є бактерії, дріжджі, гриби.

Ферменти відносяться до технологічних харчових добавок і повинні відповідати вимогам, які ставляться до конкретних технологій не тільки щодо типу реакції, яку вони каталізують, але й стосовно умов та дії: рН, температури, стабільності, присутності активаторів та інгібіторів [2].

Формулювання цілей статті

Мета статті – проаналізувати особливості використання ферментів в технологіях та їх роль в підвищенні ефективності виробництва продуктів харчування.

Виклад основного матеріалу

В сучасних умовах важко уявити галузь харчової промисловості, де б не використовувались ферменти, тому розглянемо найпоширеніші сфери їх застосування.

М'ясна промисловість. У виробництві варених ковбас доцільно вносити ферменти рослинного, тваринного, мікробіологічного походження. Протеолітичні ферменти здатні інтенсифікувати перебіг біохімічних процесів при дозріванні м'яса у 2–2.5 рази, поліпшити соковитість і ніжність, смако-ароматичні показники якості, знизити втрату масової частки вологи. Протеази покращують біологічну цінність м'яса в ковбасі завдяки біотрансформації білків. М'ясо нижчої сортності модифікують ферментами мікробіологічного походження [3, 4].

У сучасній харчовій промисловості, особливо в м'ясопереробній, найбільш розповсюдженим ферментом є трансклятаміназа, яка бере участь у перетворенні білків, ліпідів і вуглеводів [5].

Виробництво плодово-ягідних соків, вин і безалкогольних напоїв. Сировина, яка використовується в цих галузях відрізняється за своїми властивостями і асортимент напоїв доволі широкий, ферменти поділяються на такі групи, залежно від мети застосування:

- 1) збільшення виходу та вмісту екстрактивних речовин в технології неосвітлених соків;
- 2) забезпечення повного гідролізу пектину і азотистих сполук в технології освітлених соків;
- 3) підвищення виходу і гомогенності соків з м'якоттю за допомогою ферментів, що, розм'якшують плодово-ягідну тканину;
- 4) збільшення виходу і вмісту екстрактивних речовин виноматеріалів;
- 5) забезпечення мікробіологічної чистоти та тривалішого терміну зберігання соків, вин, безалкогольних напоїв [6,7].

Спиртова галузь. Ефективність виробництва етилового спирту залежить від того, наскільки якісно проведений гідроліз крохмалю в суслі за допомогою амілаз та методології, за якою відбуваються процеси оцукрення і зброджування.

Солод здійснює розклад крохмалю до цукрів та є поживним середовищем для живлення мікрофлори. Під час оцукрювання крохмалистої сировини також відбувається часткове руйнування клітинних стінок сировини.

Проте швидкість оцукрювання крохмалю під час використання солоду залишається досить низькою, що ускладнює прискорення процесів бродіння. Застосування ферментів мікробіологічного походження дає можливість значно підвищити концентрацію поживних речовин в середовищі і забезпечити глибокий гідроліз крохмалю за коротший період.

Окрім процесу оцукрювання, ферменти, що здійснюють процес розрідження (α -амілази), застосовуються на стадії воднотеплової обробки сировини з метою пом'якшення режиму розварювання, зниження в'язкості і полегшення подальшого транспортування.

Вченими [8] встановлено, що з підвищенням кількості ферменту, який додається на стадії оцукрення, від 6 до 8 одиниць активності, повнота оцукрення збільшується від 90,3 % до 99,9 % від введеного крохмалю. Повне оцукрення сусла відбувається з дозуванням понад 8 од. активності на 1 г введеного крохмалю, тому підвищення дози ферменту економічно недоцільне.

Виробництво пива, квасу. Під час виробництва пива за традиційною технологією необхідні ферменти для підготовки зерна і переведення екстрактивних речовин в розчинний стан на стадії затирання.

Ферменти здатні забезпечити повний перебіг фільтрування затору, бродіння сусла, освітлення і фільтрацію пива та фізико-хімічні (піноутворення, прозорість, стійкість під час зберігання) і органолептичні показники якості пива.

Для боротьби з небіологічним помутнінням пива технологічно рекомендованими є папаїн або комплексні препарати, що включають папаїн і інші протеази. Вони є термостабільними і зберігають свою активність після термічної обробки пива [9].

Хлібопекарська промисловість. У хлібопеченні ферменти застосовують з метою інтенсифікації біохімічних процесів при бродінні тіста та вистоюванні тістових заготовок та випікання хліба. Найвища ефективність від використання ферментів спостерігається при переробці борошна зі зниженою ферментативною активністю, недостатньо еластичною та малорозтяжною клейковиною. У випадку надмірно розтяжної клейковини їх комбінують з поліпшувачами окисної дії.

При додаванні амілолітичних ферментів внаслідок гідролізу крохмалю в тісті накопичуються цукри та декстрини. Завдяки зростанню вмісту цукрів прискорюється процес спиртового бродіння та скорочується тривалість дозрівання тістових заготовок. Аналізуючи готові вироби, спостерігається покращення кольору та аромату хлібобулочних виробів, а наявність декстринів уповільнює процеси черствіння.

Глюкоамілази використовують при приготуванні рідких дріжджів, заварок традиційних та заквашених, а також тіста з борошна, що має низьку здатність утворювати діоксид вуглецю [10,11].

Додають ферменти замість солоду житнього в заварку під час приготування рідких дріжджів, а також у житню закваску, опару або тісто.

Авторами [12] встановлено позитивний вплив додавання α -амілази, целюлази, глюкозооксидази, мальтогенної α -амілази, ксиланази на збільшення об'єму хліба, зниження початкової твердості м'якушки та черствіння.

Дослідження застосування α -амілази та геміцелюлази у виробництві хліба з цільнозернового борошна [13] показали, що додавання ферментів в оптимальних концентраціях значно покращує газоутримувальну здатність тіста, його питомий об'єм і сповільнює черствіння.

Включення в рецептуру целюлази, ксиланози та ліпази забезпечило більш пластичний і міцний каркас клейковини в замороженому тісті, який не руйнується внаслідок дії низьких температур, а глюкозооксидаза посилила клейковину [14].

Кондитерська промисловість. Протеолітичні ферменти і α -амілаза застосовуються у виробництві борошняних кондитерських виробів (БКВ) з метою інтенсифікації процесів бродіння і регулювання фізичних характеристик клейковини борошна, зміни структурно-механічних характеристик тіста, прискорення його дозрівання, якщо це стосується виробів на пресованих або сухих хлібопекарських дріжджах.

У виробництві БКВ (галети, крекери, кекси), доведено технологічну доцільність застосування ферментів протеолітичної та амілолітичної дії в комплексі. Частка незброджених цукрів і азотистих сполук вступає в реакцію меланоїдиноутворення, що позитивно впливає на забарвлення та аромат галет і крекери [15].

При виготовленні мафінів, а також бісквіту, що випікаються в досить товстому шарі за невисокої температури, дозування бактеріальних протеолітичних ферментів є обмеженим, з метою уникнення псування м'якшки. Варто зазначити, що ефективно вносити ферменти протеолітичної та амілолітичної дії в комплексі, при чому здатність амілаз утворювати декстрини повинна бути мінімальна. Комплексне застосування ферментів може розслабити клейковину тіста, що сприятиме зростанню об'єму БКВ під час випікання і утворенню тонких пор в м'якшці. Накопичення декстринів в помірній кількості сприяє збереженню свіжості виробів тривалий час. В приготуванні виробів з листового тіста ферменти здатні прискорювати і полегшувати обробку тіста з метою поліпшення його еластичності і попередження опадання під час випікання.

В технології заварних пряників разом з потребою в регульованому розслабленні тіста важливим є і збереження м'якості виробу, тому ефективним є застосування ферментів протеаз [16].

Фермент інвертази застосовується для виробництва відливних помадних корпусів цукерок, круглих помадних корпусів і рідких фруктових начинок, з метою отримати напівм'яку або рідку консистенцію в середовищі високої концентрації цукру.

Було досліджено, що за умови підвищення температури інвертази інактивується, і за температури відливання (65 °C) активність інвертази знижується. При відливанні помадної маси з кокосових горіхів застосування інвертази ефективно і за рахунок підвищеної водоутримуючої здатності фруктози, яка утворюється під дією цього ферменту [17].

Молочна промисловість. Фермент β -галактозидаза або лактаза, надзвичайно ефективна в процесі каталізу лактози [18]. Ферментативний гідроліз лактози з використанням β -галактозидази є головним технологічно важливим процесом, який каталізує гідроліз β -глікозидного зв'язку, зумовлюючи розклад лактози на глюкозу і галактозу.

Крім застосування β -галактозидаз для розробки низьколактозних та безлактозних молочних продуктів, спостерігалось покращення якості традиційних молочних продуктів. Відомим є рішення щодо раціонального використання підсирної молочної сироватки, що веде до підвищення економічної ефективності виробництва, є важливим кроком в охороні навколишнього середовища та сприяє зростанню екологічності продуктів [19, 20].

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Доступність та якість продуктів харчування впливають на рівень продовольчої безпеки держави та виступають своєрідними індикаторами її соціальної стабільності. В умовах ринкових відносин важливо забезпечити населення конкурентоспроможною продукцією.

Зроблено висновки, що досягнення високої якості виробів, високий вихід продукції та інтенсифікація технологічних процесів, що прямо впливає на ефективність виробництва практично неможливі без застосування технологічних добавок – ферментів.

З'ясовано, що ферменти в харчових технологіях здатні виконувати ряд функцій, серед яких варто виділити:

- прискорення біохімічних процесів при дозріванні м'яса та покращення його органолептичних властивостей;
- збільшення виходу напоїв, підвищення екстрактивності та покращення гомогенності соків з м'якоттю;
- запобігання окиснювальним процесам і розвитку аеробних мікроорганізмів в соках, винах, безалкогольних напоях;
- інтенсифікація глибокого гідролізу крохмалю, пом'якшення режимів розварювання і зниження в'язкості пивного суслу;
- забезпечення інтенсивного гідролізу білків та збагачення цінним азотистим живленням дріжджового суслу; боротьба з небіологічним помутнінням пива;
- інтенсифікація біохімічних процесів при бродінні тіста та вистоюванні тістових заготовок;

- коригування технологічних характеристик борошна, зокрема послаблення клейковини тіста та покращення її пружно-еластичних характеристик;
- зміцнення клейковинного каркасу в замороженому тісті, який менше піддається негативній дії низьких температур;
- забезпечення напів'якої або рідкої консистенції за високих концентрацій цукру в помадних цукерках, карамелі, праліне тощо.

Обґрунтовано, що в кожній із розглянутих харчових технологій мета та принципи застосування ферментів відрізняються, що здебільшого залежить від якості сировини та кінцевого продукту.

Можна зробити висновок, що ферменти протеолітичного, амілолітичного та ліполітичного спрямування ефективно використовуються в технологіях виробництва та є об'єктами наукових досліджень та розробок, що означає подальший активний розвиток цього напрямку.

Література

1. Дубініна А.А., Хацкевич Ю.М., Попова Т.М., Ленерт С.О. Загальна технологія харчових виробництв : навч. посібник / А.А. Дубініна, Ю.М. Хацкевич, Т.М. Попова, С.О. Ленерт. – Харків : ХДУХТ, 2016. – 497 с.
2. Raveendran S., Parameswaran B., Ummalyma S.B., Abraham A., Mathew A.K., Madhavan A., Rebello S., Pandey A. Applications of Microbial Enzymes in Food Industry / S. Raveendran, B. Parameswaran, S. B. Ummalyma, A. Abraham, A. K. Mathew, A. Madhavan, S. Rebello, A. Pandey // Food Technol Biotechnol. – 2018. – №56(1). – P. 16–30. DOI: [10.17113/ftb.56.01.18.5491](https://doi.org/10.17113/ftb.56.01.18.5491).
3. Вогнівенко Л.П., Шинкарук М.В. Обґрунтування використання ферментних добавок при виготовленні варених ковбас / Л.П. Вогнівенко, М.В. Шинкарук // Таврійський науковий вісник ДВНЗ «ХДАУ». – 2020. – № 115. – С. 144–148.
4. Баль-Прилипка Л., Крижова Ю., Гармаш О. Використання ферментних препаратів при виробництві варених ковбас / Л. Баль-Прилипка, Ю. Крижова, О. Гармаш // Продовольча індустрія АПК. – 2017. – № 5. – С. 11–15.
5. Baggio E., Scopel B. C., Rosseto M., Rigueto C.V.T., Dettmer A., Baldasso C. Transglutaminase effect on the gelatin-films properties / E. Baggio, B. C. Scopel, M. Rosseto, C.V.T. Rigueto, A. Dettmer, C. Baldasso // Polymer Bulletin. – 2022. – №79(9). – P. 7347–7361. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/s00289-021-03858-9](https://doi.org/10.1007/s00289-021-03858-9).
6. Палвашова Г., Нікітчина Т. Використання прийомів біотехнології для підвищення виходу соку з капусти білоголової / Г. Палвашова, Т. Нікітчина // Scientific Works. – 2019. – №82(2). – С. 80–88. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v82i2.1170>.
7. Bankar S.B., Bule M.V., Singhal R.S., Ananthanarayan L. Glucose oxidase: an overview / S.B. Bankar, M.V. Bule, R.S. Singhal, L. Ananthanarayan // Biotechnology Advances. – 2009. – №27(4). – P.489–501. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.04.003>.
8. Шейко Т.В., Гутнікевич В.М., Хомічак Л.М. Дослідження впливу ферментного препарату lamipex-750 на якість дифузійного соку / Т.В. Шейко, В.М. Гутнікевич, Л.М. Хомічак // Продовольчі ресурси. – 2022. – №10(19). – С. 162–168. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-18>.
9. Данілова К., Олійнічук С., Заварзіна О. Дослідження динаміки оцукрювання крохмалевмісної сировини ферментним препаратом глюкоамілази в процесі ферментативного гідролізу / К. Данілова, С. Олійнічук, О. Заварзіна // Продовольчі ресурси. – 2022. – №10(19). – С. 72–80. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-08>.
10. Кошова В.М., Мисюра Т.Г., Попова Н.В. Вплив ферментних препаратів на колоїдну стійкість пива / В.М. Кошова, Т.Г. Мисюра, Н.В. Попова // Наукові праці НУХТ. – 2017. – Т. 23. – № 4. – С. 127–132.
11. Атаманова А.А., Колесник Т.О., Андреева О.А. Сучасні дослідження властивостей та використання ферментів / А.А. Атаманова, Т.О. Колесник, О.А. Андреева // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – №5. – С. 257–263.
12. Капрельянц Л.В. Ферменты в пищевых технологиях / Л.В. Капрельянц. – Одесса : Друк, – 2009. – 468 с.
13. Данілова К.О., Олійнічук С.Т., Заварзіна О.С., Кузнєцова І.В., Грушецький Р.І., Грінєнко І.Г. Дослідження динаміки активності ферментного препарату α -amylase в процесі розрідження / К.О. Данілова, С.Т. Олійнічук, О.С. Заварзіна, І.В. Кузнєцова, Р.І. Грушецький, І.Г. Грінєнко // Продовольчі ресурси. – 2022. – №18. – С. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-06>.
14. Wang X., Pei D., Teng Y., Liang J. Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism / X. Wang, D. Pei, Y. Teng, J. Liang // Journal of food science and technology. – 2018. – № 55. – P. 389–398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2950-8>.
15. Azizi S., Azizi M.H., Moogouei R., Rajaei P. The effect of Quinoa flour and enzymes on the quality of gluten-free bread / S. Azizi, M.H. Azizi, R. Moogouei, P. Rajaei // Food science & nutrition. – 2020. – № 8(5). – P. 2373–2382. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1527>.
16. Tebben L., Chen G., Tilley M., Li Y. Individual effects of enzymes and vital wheat gluten on whole wheat dough and bread properties / L. Tebben, G. Chen, M. Tilley, Y. Li // Journal of Food Science. – 2020. – № 85(12). – P.4201–4208. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517>.

17. Dahiya S., Bajaj B.K., Kumar A., Tiwari S. K., Singh B. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making / S. Dahiya, B.K. Bajaj, A. Kumar, S. K. Tiwari, B. Singh // *Process Biochemistry*. – 2020. – № 99. – P. 290–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002>.
18. Мінорова А.В., Рудакова Т.В., Крушельницька Н.Л., Моїсеєва Л.О., Наріжний С.А. Використання ферментно-бактеріальної композиції в біотехнології безлактозних молочних продуктів на основі вторинної молочної сировини / А.В. Мінорова, Т.В. Рудакова, Н.Л. Крушельницька, Л.О. Моїсеєва, С.А. Наріжний // *Продовольчі ресурси*. – 2023. – № 11(21). – С. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-09>.
19. Basso A., Serban A. Industrial applications of immobilized enzymes – a review / A. Basso, A. Serban // *Mol. Catal.* – 2019. – № 479. – 110607. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110607>.
20. Juers D.H., Matthews B.W., Huber R.E. β -galactosidase: Structure and function of an enzyme of historical and molecular biological importance / D.H. Juers, B.W. Matthews, R.E. Huber // *Protein Sci.* – 2012. – № 21. – P.1792–1807. DOI: <https://doi.org/10.1002/pro.2165>.

Reference

1. Dubinina A.A., Khatskevych Yu.M., Popova T.M., Lenert S.O. Zahalna tekhnolohiia kharchovykh vyrobnytstv / A.A. Dubinina, Yu.M. Khatskevych, T.M. Popova, S.O. Lenert. – Kharkiv: KhDUHT. – 2016. – 497 p.
2. Raveendran S., Parameswaran B., Ummalyma S.B., Abraham A., Mathew A.K., Madhavan A., Rebello S., Pandey A. Applications of Microbial Enzymes in Food Industry. / S. Raveendran, B. Parameswaran, S. B. Ummalyma, A. Abraham, A. K. Mathew, A. Madhavan, S. Rebello, A. Pandey // *Food Technol Biotechnol.* – 2018. – №56(1). – P. 16–30. DOI: 10.17113/ftb.56.01.18.5491.
3. Vohnivenko L.P., Shynkaruk M.V. Obgruntuvannya vykorystannya fermentnykh dobavok pry vyhotovlenni varennykh kovbas / L.P. Vohnivenko, M.V. Shynkaruk // *Tavriiskyi naukovyi visnyk DVNZ «KKhDAU»*. – 2020. – 115. – pp. 144–148.
4. Bal-Prylypko L., Kryzhova Yu., Harmash O. Vykorystannya fermentnykh preparativ pry vyrobnytstvi varennykh kovbas / L. Bal-Prylypko, Yu. Kryzhova, O. Harmash // *Prodovolcha industriia APK*. – 2017. – 5. – pp. 11–15.
5. Baggio E., Scopel B.C., Rosseto M., Rigueto C.V.T., Dettmer A., Baldasso C. Transglutaminase effect on the gelatin-films properties / E. Baggio, B. C. Scopel, M. Rosseto, C.V.T. Rigueto, A. Dettmer, C. Baldasso // *Polymer Bulletin*. – 2022. – №79(9). – P. 7347–7361. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00289-021-03858-9>.
6. Palvashova H., Nikitchina T. Vykorystannya pryiomiv biotekhnolohii dlia pidvyschennia vykhodu soku z kapusty biloholovoi / H. Palvashova, T. Nikitchina // *Scientific Works*. – 2019. – 82(2). – Pp. 80–88. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v8i2i.1170>.
7. Bankar S.B., Bule M.V., Singhal R.S., Ananthanarayan L. Glucose oxidase: an overview / S.B. Bankar, M.V. Bule, R.S. Singhal, L. Ananthanarayan // *Biotechnology Advances*. – 2009. – №27(4). – P.489–501. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.04.003>.
8. Sheiko T.V., Hutnikeych V.M., Khomichak L.M. Doslidzhennia vplyvu fermentnoho preparatu laminex-750 na yakist dyfuziynoho soku / T.V. Sheiko, V.M. Hutnikeych, L.M. Khomichak // *Prodovolchi resursy*. – 2022. – 10(19). – pp.162–168. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-18>.
9. Danilova K., Oliinichuk S., Zavarzina O. Doslidzhennia dynamiky otsukriuvannya krokhmalevmisnoi syrovyny fermentnym preparatom hliukoamilazy v protsesi fermentatyvnoho hidrolizu / K. Danilova, S. Oliinichuk, O. Zavarzina // *Prodovolchi resursy*. – 2022. – 10(19). – pp. 72–80. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-08>.
10. Koshova V.M., Mysiura T.H., Popova N.V. Vplyv fermentnykh preparativ na koloidnu stiikist pyva / V.M. Koshova, T.H. Mysiura, N.V. Popova // *Naukovi pratsi NUKhT*. – 2017. – 23. – 4. – pp. 127–132.
11. Atamanova A.A., Kolesnyk T.O., Andreieva O.A. Suchasni doslidzhennia vlastyvostei ta vykorystannya fermentiv / A.A. Atamanova, T.O. Kolesnyk, O.A. Andreieva // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. – 2020. – 5. – pp. 257–263.
12. Kapreliants L.V. Fermenty v pyshchevykh tekhnolohiyakh / L.V. Kapreliants. – Odessa: Druk. – 2009. – 468 p.
13. Danilova K.O., Oliinichuk C.T., Zavarzina O.S., Kuznietsova I.V., Hrushetskyi R.L., Hrinenko I.H. Doslidzhennia dynamiky aktyvnosti fermentnoho preparatu α -amylase v protsesi rozridzhennia / K.O. Danilova, C.T. Oliinichuk, O.S. Zavarzina, I.V. Kuznietsova, R.I. Hrushetskyi, I.H. Hrinenko // *Prodovolchi resursy*. – 2022. – 18. – pp. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-06>.
14. Wang X., Pei D., Teng Y., Liang J. Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism / X. Wang, D. Pei, Y. Teng, J. Liang // *Journal of food science and technology*. – 2018. – № 55. – P. 389–398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2950-8>.
15. Azizi S., Azizi M.H., Moogouei R., Rajaei P. The effect of Quinoa flour and enzymes on the quality of gluten-free bread / S. Azizi, M.H. Azizi, R. Moogouei, P. Rajaei // *Food science & nutrition*. – 2020. – № 8(5). – P. 2373–2382. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn.1527>.
16. Tebben L., Chen G., Tilley M., Li Y. Individual effects of enzymes and vital wheat gluten on whole wheat dough and bread properties / L. Tebben, G. Chen, M. Tilley, Y. Li // *Journal of Food Science*. – 2020. – № 85(12). – P.4201–4208. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517>.
17. Dahiya S., Bajaj B.K., Kumar A., Tiwari S.K., Singh B. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making / S. Dahiya, B.K. Bajaj, A. Kumar, S. K. Tiwari, B. Singh // *Process Biochemistry*. – 2020. – № 99. – P. 290–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002>.
18. Minorova A.V., Rudakova T.V., Krushelnytska N.L., Moiseieva L.O., Narizhnyi S.A. Vykorystannya fermentno-bakterialnoi kompozytsii v biotekhnolohii bezlaktoznykh molochnykh produktiv na osnovi vtorynnoi molochnoi syrovyny / A.V. Minorova, T.V. Rudakova, N.L. Krushelnytska, L.O. Moiseieva, S.A. Narizhnyi // *Prodovolchi resursy*. – 2023. – 11(21). – 93–102. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-09>.
19. Basso A., Serban A. Industrial applications of immobilized enzymes – a review / A. Basso, A. Serban // *Mol. Catal.* – 2019. – № 479. – 110607. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110607>.
20. Juers D.H., Matthews B.W., Huber R.E. β -galactosidase: Structure and function of an enzyme of historical and molecular biological importance / D.H. Juers, B.W. Matthews, R.E. Huber // *Protein Sci.* – 2012. – № 21. – P.1792–1807. DOI: <https://doi.org/10.1002/pro.2165>.