

БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 664.64:579.6:577.15

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА БЕЗГЛЮТЕНОВИХ ПРОДУКТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ФЕРМЕНТІВ МІКРОБНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Є. В. Воробйова

здобувачка вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 3 курс,
спеціальність «Біотехнології та біоінженерія»,
навчально-науковий інститут будівництва, архітектури та дизайну
Науковий керівник – к.с.-г.н., доцент З. М. Буднік

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті розглянуто сучасні біотехнологічні підходи до виробництва безглютенових харчових продуктів із використанням ферментів мікробного походження. Проаналізовано роль амілаз, протеаз, ксиланаз та інших ферментів у формуванні структури тіста, поліпшенні сенсорних властивостей та підвищенні якості готових виробів. Особливу увагу приділено біотехнологічним методам отримання ферментів на основі мікроорганізмів родів *Aspergillus*, *Bacillus* та *Lactobacillus*. Наведено переваги використання мікробних ферментів у харчовій промисловості, зокрема їхню екологічну безпеку, економічну доцільність і технологічну ефективність.

Ключові слова: безглютенові продукти, ферменти мікробного походження, амілази, протеази, харчова біотехнологія, *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis*.

The article examines modern biotechnological approaches to the production of gluten-free food products using microbial enzymes. The role of amylases, proteases, xylanases, and other enzymes in improving dough structure, sensory characteristics, and overall product quality is analyzed. Special attention is given to biotechnological methods for obtaining enzymes from microorganisms of the genera *Aspergillus*, *Bacillus*, and *Lactobacillus*. The advantages of microbial enzyme use in the food industry are highlighted, including environmental safety, economic feasibility, and technological efficiency.

Keywords: gluten-free products, microbial enzymes, amylases, proteases, food biotechnology, *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis*.

В Україні, незважаючи на військову агресію виконується Загальнодержавна програма «Національний план дій щодо реалізації Конвенції ООН про права дитини». Одним із напрямів виконання програми є реалізація заходів щодо збереження здоров'я кожної дитини протягом усього періоду дитинства. Тому, важливою державною задачею на сьогоднішній день виступає питання забезпечення повноцінним харчуванням дітей, в тому числі, спеціальними продуктами дітей з різними патологіями [1]. Особливо це питання стало гострим після запровадження нової системи харчування в закладах освіти.

З кожним роком збільшується кількість захворювань серед дітей, що зумовлені порушеннями обміну амінокислот, тому для харчування використовуються спеціальні продукти. Для ідентифікації цієї продукції лікарі у дієтотерапії використовують термін «безбілкові» вироби [1...5], крім того, таке означення має місце в нормативній документації [6] та в промисловій практиці виготовлення цієї дієтичної продукції.

Сучасне зростання поширеності целиакії, непереносимості глютену та підвищення попиту на функціональні продукти харчування стимулюють розвиток безглютенових технологій. Однією з перспективних напрямів є використання ферментів мікробного походження для покращення технологічних, сенсорних та харчових властивостей безглютенових виробів.

Метою дослідження є аналіз біотехнологічних підходів до виробництва безглютенових продуктів із залученням ферментів, синтезованих мікроорганізмами.

Як зазначено в медичній літературі, безглютенові продукти – це харчові вироби, виготовлені з борошна, яке не містить білків глютенного комплексу (гліадину та глютеніну).

До основних видів сировини належить рисове, кукурудзяне, гречане, просове, амарантове, соргове борошно, бобові культури (нут, соя, горох).

Основна технологічна проблема – відсутність клейковини, яка забезпечує еластичність і структуру тіста. Для компенсації цього використовують гідроколоїди, білкові концентрати та ферменти.

Мікробні ферменти (амілази, протеази, ксиланази, глюканази тощо) отримують з таких мікроорганізмів: *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis*, *Rhizopus oryzae*, *Lactobacillus* spp.

Вони виконують такі функції: покращують утримання газу в тісті (амілази → глюкоза → CO₂); розщеплюють білкові матриці (протеази) → підвищують пластичність тіста; модифікують полісахариди клітинних стінок (ксиланази, β-глюканази) → стабілізують структуру; сприяють утворенню ароматичних сполук у процесі ферментації.

Таким чином, ферменти дозволяють створювати еластичну, однорідну структуру тіста без використання пшеничного глютену. Ферменти виробляють за допомогою глибинного або поверхневого культивування мікроорганізмів.

Типовий приклад: штам *Aspergillus niger* синтезує амілази при рН 5–6, t = 30° С; фермент очищують фільтрацією, концентрують, стабілізують та додають у технологічну схему. Біотехнологічні переваги: дешеве виробництво (замість тваринних або рослинних ферментів); контрольована активність і стабільність; можливість генетичної модифікації штамів для підвищення продуктивності.

У хлібопекарських технологіях ферменти використовують для: підвищення пористості та об'єму виробів (*Bacillus amyloliquefaciens* — α-амілаза); покращення кольору скоринки (ферментативне утворення цукрів → реакція Майяра); зниження твердості крихти під час зберігання (ксиланази); зменшення клейкості тіста (протеази).

Використання 0,1% α-амілази від маси борошна підвищує об'єм хліба на 15–20% і покращує текстуру крихти. Важливим фактором, що визначає активність та стабільність α-амілази, є температурний режим і кислотність середовища (рН). Доведено, що фермент характеризується високою чутливістю до зміни цих параметрів: при зниженні рН до 3,3–4,0 спостерігається його швидке руйнування. Це явище має значне практичне значення у технології виробництва житнього хліба, особливо з борошна, яке містить надлишкову кількість α-амілази. Використання умов із пониженим значенням рН дає змогу частково інактивувати фермент, запобігаючи надмірному декструванню крохмалю та утворенню клейких речовин у м'якушці хліба. Таким чином, регулювання кислотності є ефективним біотехнологічним прийомом для стабілізації якості готового виробу.

Протеази (*Aspergillus oryzae*, *Bacillus licheniformis*) гідролізують білкові компоненти борошна, що знижує в'язкість тіста й покращує його пластичність. Ферменти (*Trichoderma reesei*, *Aspergillus awamori*) руйнують клітинні стінки зернових, утворюючи розчинні полісахариди, які стабілізують структуру тіста. Це забезпечує однорідність, еластичність та газоутримувальну здатність. Фермент (*Streptomyces mobaraensis*) каталізує утворення

ковалентних зв'язків між білками, створюючи білкову сітку, що замінює глютен. Завдяки цьому підвищується еластичність тіста й покращується форма готового виробу.

В останні роки розпочали використання генетично модифікованих штамів для отримання мультиензимних комплексів, які можна вводити до рецептур та замінювати борошно та інші ферменти.

Мікробні ферменти синтезують шляхом культивування продуцентів у біореакторах. Використовують як природні, так і генетично модифіковані штами мікроорганізмів. Біотехнологічні переваги такого підходу включають: високу продуктивність процесу; екологічну безпечність; можливість контролю активності ферментів; гнучкість у підборі ферментних композицій.

Використання ферментів дозволить покращити якість продукції та зробити її більш доступною для людей, які мають проблеми із засвоєнням глютену (таблиця).

Таблиця

Приклади використання ферментів мікробного походження у виробництві безглютенових продуктів

№	Назва виробу	Використані ферменти	Джерело ферментів	Технологічний ефект	Результат у готовому продукті
1	Безглютеновий хліб із рисового та кукурудзяного борошна	α-Амілаза (0,05%), Ксиланаза (0,03%)	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Trichoderma reesei</i>	Гідроліз крохмалю та геміцелюлоз; покращення структури тіста, активізація бродіння	Пориста, еластична м'якушка, рівномірна кірка, менше черствіння
2	Безглютенове печиво з гречаного борошна	Протеаза (0,02%), Трансглутаміназа (0,03%)	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Streptomyces mobaraensis</i>	Гідроліз білків і формування білкових зшивань; підвищення пластичності тіста	Рівномірна форма, ніжна структура, приємна крихкість
3	Безглютенові млинці з рисового та амарантового борошна	Амілаза (0,03%), Целюлаза (0,02%)	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Aspergillus awamori</i>	Часткове розщеплення крохмалю та клітинних стінок; покращення гідратації тіста	Гладка консистенція, еластичність, золотавий колір
4	Хліб без глютену з комплексом ферментів	α-Амілаза (0,04%), Ксиланаза (0,02%), Протеаза (0,02%), Трансглутаміназа (0,03%)	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Trichoderma reesei</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Streptomyces mobaraensis</i>	Комплексна дія: поліпшення структури, стабільності та ферментації	Об'ємний, еластичний хліб з рівномірною пористістю і тривалою свіжістю

Як видно з таблиці, комбіноване використання ферментів та гідроколоїдів (ксантанова камедь, гуарова камедь, пектин) дозволяє створювати системи, здатні відтворювати структуру традиційного тіста. Такий підхід покращує споживчі характеристики, підвищує вологозатримання та подовжує термін зберігання готової продукції.

Отож, ферменти мікробного походження є ефективним інструментом у технології безглютенових виробів. Вони покращують структурно-механічні властивості тіста, підвищують якість і зберігання продукту. Біотехнологічне виробництво ферментів є

економічно вигідним та екологічно безпечним. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію ферментних композицій і пошук нових мікробних продуцентів.

1. Кучерук З. І., Цуканова О. С. Використання полісахаридів рослинного і мікробного походження в технології безбілкового хліба : монографія. Харків : ХДУХТ, 2014. 131 с. 2. ДСТУ 4588:2006. Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання. Загальні технічні умови [Чинний від 2008-07-01]. Київ : Вид-во стандартів, 2008. 23 с. 3. Черевична Н. І., Козлова С. Г., Смикалова Ю. О. Вдосконалення технології бісквітного напівфабрикату з використанням мікробного полісахариду ксампану. *Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування* : зб. наук. праць ХДАТОХ. 2003. Ч. 1. С. 124–129.
4. Kupper C. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*. 2005. Vol. 128. P. 121–127.
5. Moore M. M., Heinbockel M., Dockery P., Ulmer H. M., Arendt E. K. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem*. 2006. Vol. 83. P. 28–36.
6. Jeske S., Zannini E., Arendt E. K. Advances in gluten-free bread technology. *Food Microbiology*. 2018. Vol. 73. P. 90–107.