

УДК 577.112:577.152

**Страшинський І. М.,**

*sim2407@ukr.net, ORCID ID: 0009-0006-6834-6990, Researcher ID: D-8452-2019,*  
к. т. н., доцент, доцент кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів ННІХТ,  
Національний університет харчових технологій, м. Київ

**Єпішкін С. С.,**

*iepushkinsergii@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7037-5380,*  
аспірант кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів ННІХТ,  
Національний університет харчових технологій, м. Київ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФЕРМЕНТУ ТРАНСГЛУТАМІНАЗИ НА ВЛАСТИВОСТІ ГІДРАТОВАНИХ БІЛКІВ ТВАРИННОГО І РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

**Анотація.** *Задоволення потреб споживачів у харчових білках обумовлює пошук та впровадження передових технологій як у переробці м'ясної сировини, так і у використанні білковмісної сировини рослинного походження. Дослідження модифікації білків набувають великого інтересу серед вітчизняних та закордонних науковців.*

*Мікробна трансглютаміназа є ферментом класу трансфераз, який широко відомий тим, що модифікує функціональні властивості білків у харчових системах. Основним механізмом дії є полімеризація, яка призводить до зміни гідрофобності молекули. Серед функціональних властивостей мікробної трансглютамінази є вплив на розчинність і, отже, на geleутворення, емульгування, в'язкість і водотримувальну здатність, які залежать від розчинності білка. Завдяки цим властивостям вона набула широкого застосування в технологічних процесах харчової промисловості, зокрема м'ясопереробної і молочної галузей, виготовленні хлібобулочних виробів та харчових плівок.*

*Трансглютаміназа каталізує реакцію перенесення ацилу, в якій  $\gamma$ -карбоксамідна група пептидно-зв'язаних залишків глутаміну є донорами ацилу. У цьому дослідженні порівнюється вплив кількості ферменту (0,05%, 0,1%, 0,15% і 0,2%) мікробної трансглютамінази (активністю 100–120 одиниць) на тваринний білок, яким є м'ясо яловичини 2 сорту і рослинний білок соєвий ізолят ISOPRO 510A. У гідратованих зразках проведено інструментальний аналіз на рН-метрі (рН 50 VIO lab) та текстурометрі (Shimadzu EZ-LX) для тваринних білків до та після термооброблення. В гідратованих рослинних білках аналогічні дослідження провели за температури  $45 \pm 2^\circ\text{C}$  в центрі дослідного зразка через 1 годину ферментації та після ступеневого утворення з витриманням 12 годин за температури  $6 \pm 2^\circ\text{C}$ .*

*Результати досліджень показників рН свідчать про те, що ефективність ферменту досягає оптимуму за активної кислотності дослідних білкових систем в діапазоні значень рН від 5 до 8.*

*Використання ферменту мікробної трансглютамінази в гідратованих білках тваринного і рослинного походження підтверджують позитивний вплив на реструктуризацію цих білків через реакцію живання. Підвищення рівня рН відбувається за рахунок утворення аміаку ( $\text{NH}_3$ ) в результаті цієї реакції. Згідно результатів досліджень в гідратовані білкові системи рекомендовано вносити від 0,05% до 0,1% мікробної трансглютамінази.*

**Ключові слова:** технологія, білкові системи, ферменти, мікробна трансглютаміназа, активна кислотність, реструктуризація.

**Strashynskiy I. M.,**

*sim2407@ukr.net, ORCID ID: 0009-0006-6834-6990, Researcher ID: D-8452-2019,*

*Ph.D., Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Technology of Meat and Meat Products,*

*Educational and Scientific Institute of Food Technology of the National University of Food Technologies, Kyiv*

**Iepishkin S. S.,**

*iepishkinsergii@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7037-5380,*

*Postgraduate Student at the Department of Technology of Meat and Meat Products, Educational*

*and Scientific Institute of Food Technology of the National University of Food Technologies, Kyiv*

## **RESEARCH OF THE EFFECT OF THE TRANSGLUTAMINASE ENZYME ON THE PROPERTIES OF HYDRATED PROTEINS OF ANIMAL AND PLANT ORIGIN**

**Abstract.** Meeting consumer demand for dietary proteins requires the search for and implementation of advanced technologies in both meat processing and the use of protein-containing raw materials of plant origin. Protein modification research is gaining great interest among domestic and foreign scientists.

Microbial transglutaminase is an enzyme of the transferase class that is widely known to modify the functional properties of proteins in food systems. The main mechanism of action is polymerisation, which leads to a change in the hydrophobicity of the molecule. Among the functional properties of microbial transglutaminase is the effect on solubility and thus on gelation, emulsification, viscosity and water retention, which depend on protein solubility. Thanks to these properties, it is widely used in the food industry, in particular in the meat processing and dairy industries, as well as in the manufacture of bakery products and food films. Transglutaminase catalyses the acyl transfer reaction, in which the  $\gamma$ -carboxamide group of peptide-bound glutamine residues is the acyl donor. This research compares the effect of the amount of enzyme (0.05%, 0.1%, 0.15% and 0.2%) of microbial transglutaminase (activity 100-120 units) on animal protein, which is Grade 2 beef meat and vegetable protein, soy isolate ISOPRO 510A. In the hydrated samples, instrumental analysis was carried out using a pH meter (pH 50 VIO lab) and a textrometer (Shimadzu EZ-LX) for animal proteins before and after heat treatment. For hydrated plant proteins, similar research was carried out at  $45 \pm 2^\circ\text{C}$  in the centre of the test sample after 1 hour of fermentation and after gelation with 12 hours of incubation at  $6 \pm 2^\circ\text{C}$ .

The results of the pH research indicate that the enzyme efficiency reaches its optimum at the active acidity of the experimental protein systems in the pH range from 5 to 8. The use of the microbial transglutaminase enzyme in hydrated proteins of animal and plant origin has been shown to have a positive effect on the restructuring of these proteins through a cross-linking reaction. The increase in pH is due to the formation of ammonia ( $\text{NH}_3$ ) as a result of this reaction. According to research results, it is recommended to add 0.05% to 0.1% of microbial transglutaminase to hydrated protein systems.

**Key words:** technology, protein systems, enzymes, microbial transglutaminase, active acidity, restructuring.

**JEL Classification:** L 66

**DOI:** <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2024-40-08>

**Постановка проблеми.** В останні роки постійно зростає занепокоєння щодо глобальної нестачі продовольства та зростання чисельності населення у світі, що обумовлює пошук та використання передових технологій для задоволення потреб споживачів у харчових білках. Раціональне використання білків тваринного походження передбачає переробку м'ясної сировини різної за морфологічним і хімічним складом, станом за способом холодильного оброблення, характером автолітичних змін та зумовлює специфічність її органолептичних, фізико-хімічних,

функціонально-технологічних і структурно-механічних характеристик та вимагає відповідних технологічних прийомів [1, с. 36].

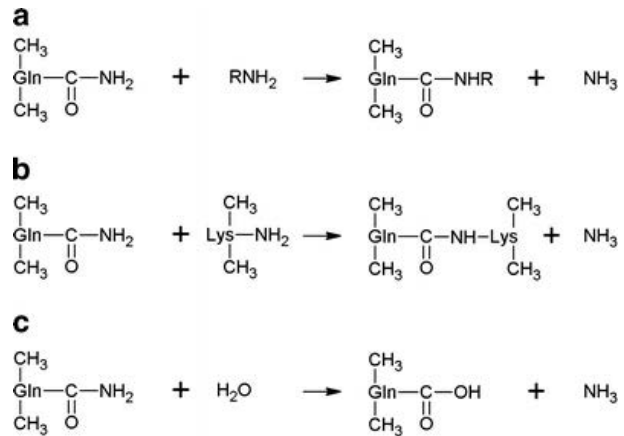
Білки – це ті макроелементи, які потрібні організму у великих кількостях. Білок є джерелом амінокислот, що містять елементи С, Н, О, N і для задоволення потреб споживачів поряд з білками тваринного походження у технології м'ясних і м'ясомістких продуктів широкого розповсюдження набули білки рослинного походження. Білки приймають участь у побудові, рості, підтримці м'язової тканини та регенерації

її клітин. При дефіциті білка організм втрачає вагу, імунна система слабшає і може викликати недоїдання. М'ясні продукти з високим вмістом білків, вітамінів, жирів, заліза, цинку та інших мінеральних речовин є необхідними джерелами макро- і мікроелементів для людини [2, с. 75]. Тому, важливість технології модифікації білків набуває великого інтересу як у вітчизняних, так і закордонних науковців [3, с. 88; 4, с. 111].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ферменти використовувалися задовго до розвитку сучасної технології ДНК як ферментаційні мікроорганізми або сирі препарати різних фруктів. Однак із розвитком прогресивних біопроектів із використанням технології рекомбінантної ДНК ферменти очищають та виробляють у більших масштабах, що дозволило їх використання у різних технологіях, в тому числі харчової промисловості [3, с. 90; 5, с. 68; 6, с. 128]. Ферментні препарати відіграють важливу роль у фізичних властивостях продуктів, що обумовлює їх використання в технологічних процесах багатьох галузей промислового виробництва харчових продуктів.

Розвиток білкової інженерії з спрямованою еволюцією дозволив створити нові ферменти з посиленою активністю для багатьох інноваційних процесів, що робить промислові ферменти, необхідні в повсякденному житті, більш доступними для різних галузей [7, с. 55]. Серед найбільш використовуваних промислових ферментів є гідролази та карбогідролази. Застосування ферментів у модифікації білків демонструє багато переваг, які включають високу специфічність реакції та низьку частоту побічних реакцій, з відсутністю потреби в умовах високого тиску та високої температури. Такі переваги роблять технологію модифікації білка ефективною, особливо в харчовій промисловості [8, с. 45]. З точки зору застосування гідролаз у промисловості протеїнази були основними білкомодифікуючими ферментами.

З появою ферменту трансглютамінази, яка бере участь у зшиванні білка, можливості технології модифікації білка надзвичайно розширилися [9, с. 115]. Фермент трансглютамінази можна виділити з родів *Streptovercillium* або *Streptomyces*. Зазвичай цей фермент називають мікробною трансглютаміназою (МТГ). Трансглютаміназа є ферментом, який каталізує утворення поперечних зв'язків між білковими молекулами (тобто утворення полімерів між білковими молекулами) [10, с. 188], як показано на рисунку 1.



**Рис. 1. Реакція, що каталізується трансглютаміназою, включає: (а) перенесення ацилу; (б) перехресне зшивання між залишками Gln і Lys білкових рг-пептидів; (с) дезамідування**

Цей фермент каталізує полімеризацію та утворює зшивання  $\epsilon$ -( $\gamma$ -глутаміл) лізину між залишками глутаміну (Gln) і лізину (Lys) [11, с. 462; 12, с. 129]. Реакція відбувається з утворенням молекули аміаку ( $\text{NH}_3$ ). Трансглютаміназу можна знайти в таких рослинах, як соя, топінамбур і кормовий буряк; у організмах тварин і риби; а також у мікроорганізмів. Трансглютамінази з джерел ссавців  $\text{Ca}^{2+}$ -залежні, тоді як мікробна трансглютаміназа  $\text{Ca}^{2+}$ -незалежні та мають меншу молекулярну масу. Завдяки своїй незалежності від  $\text{Ca}^{2+}$  мікробні трансглютамінази вважаються більш економічно ефективними та екологічно чистими, а їхні характеристики можуть запобігати змінам утворення побічних продуктів, що відбувається в білкових комплексах  $\text{Ca}^{2+}$  [13, с. 10]. Крім того, залежно від джерела походження (мікробного або тваринного) трансглютаміназа має відмінності.

Використання ферменту трансглютамінази схвалено для застосування в харчовій промисловості як природного каталізатора, що покращує реологічні властивості багатих білком продуктів. Фермент може впливати на консистенцію, розчинність, в'язкість, здатність до гелеутворення та здатність до утримання вологи завдяки утворенню ізопептидних зв'язків. Тому її широко застосовують в багатьох технологічних процесах переробки м'яса, виробництва сирів, молочних продуктів, хлібобулочних виробів, харчових плівок. МТГ має значні перспективи використання для підвищення твердості, в'язкості, еластичності та водоутримуючої здатності м'ясних продуктів [10, с. 184].

Проведені дослідження у напрямку застосування мікробної трансглютамінази в харчових

продуктах, що містять білок, таких як молоко та м'ясо [10, с. 190]. Авторами зазначено, що її використання у реструктуризації м'яса сприяє зміні профілю текстури м'ясних продуктів. Izmail та інші [14, с. 17] використовували мікробну трансглутаміназу як добавку для рибних сосисок і виявили підвищену міцність гелю та вологозв'язувальну здатність фаршевих систем. Thephuttee і Theprugsa [15, с. 12] також підтвердили, що внесення мікробної трансглутамінази підвищило стабільність м'ясної емульсії, що сприяло покращенню твердості і жувальної здатності курячих сосисок. Про позитивний вплив застосування мікробної трансглутамінази на функціональні властивості міофібрилярних білків для покращення текстури та гелеутворення у сосисках повідомляють в дослідженнях Ahhmed та інші [16, с. 459].

В роботі на основі наведеної інформації порівняно вплив ферментної трансглутамінази на тваринні і рослинні білки, які є основою м'ясних і м'ясомістких фаршів варених ковбас. Для моделювання білкових систем тваринного походження використано м'ясо яловичини 2 сорту, а для моделювання білкових систем рослинного походження – соєвий ізолят.

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення впливу кількості використаного ферменту мікробної трансглутамінази на активну кислотність і структурно-механічні властивості гідратованих зразків тваринного та рослинного білка.

Відповідно до мети досліджень поставлено наступні завдання:

- провести патентно-інформаційний пошук за темою роботи;
- обґрунтувати регулювання функціональних властивостей білкової сировини шляхом застосування ферментних препаратів;
- дослідити вплив мікробної трансглутамінази на білки тваринного та рослинного походження;
- визначити кількість мікробної трансглутамінази для покращення структурно-механічних властивостей модельних систем тваринних і рослинних білків.

*Об'єктом досліджень* є технологія використання мікробної трансглутамінази у модельних системах на основі тваринного та рослинного білка.

*Предметом досліджень* є попередньо підготовлені модельні білкові системи з використанням білків тваринного і рослинного походження.

В роботі досліджено вплив мікробної трансглутамінази (активність 100–120 одиниць, виробник КНР) на білкові системи тваринного походження (м'ясо яловичини 2 сорту з величиною рН  $5,64 \pm 0,02$ ). До попередньо подрібненої сировини вносили 2,0% кухонної солі (до маси м'яса) і перед використанням зберігали при температурі  $2 \pm 2$  °C протягом 12 годин. В подальшому сировину використовували для досліджень як джерело тваринного білка.

В якості рослинного білка використали соєвий ізолят (ISOPRO 510A, Китай), який після гідратації реструктурували за допомогою ферментів МТГ.

У проведених дослідженнях порівнювали активну кислотність шляхом визначення рН за допомогою сертифікованого рН-метра (рН 50 VIO lab, точність вимірювання  $\pm 0,02$ , виробник – компанія «XS Instruments», Італія).

Профіль текстури досліджували за характеристиками твердості на текстурометрі Shimadzu EZ-LX (Японія) для визначення впливу ферменту трансглутамінази на зразки тваринного та рослинного білка.

Отримані дані представлені як середнє значення  $\pm$  стандартні відхилення після триразового визначення. Статистичний аналіз проводили за допомогою Microsoft Excel 2007. Відмінності отриманих результатів вважалися дійсними при коефіцієнті значущості  $\alpha=0,95$ .

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводились у виробничій лабораторії ТОВ «ФУДТЕК» та Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій. МТГ для дослідних зразків білків тваринного походження вносили у кількостях з розрахунку 0,05%, 0,1%, 0,15% і 0,2% до маси м'ясної сировини з додаванням 25% вологи та інтенсивно подрібнювали на лабораторному мікрокутері. До соєвого ізоляту вносили 0,05%, 0,1%, 0,15% і 0,2% ферменту до маси утвореного гелю та гідратували згідно рекомендації виробника (гідратація 1:6). Контрольні зразки тваринних і рослинних білків виготовляли аналогічно дослідним без внесення ферменту.

Згідно результатів визначення активної кислотності, наведених у таблиці 1 видно, що в дослідних зразках білків тваринного походження (м'яса) через одну годину після приготування при температурі 10–12°C (до термооброблення) з різними кількостями внесення ферменту МТГ цей показник зміщується в лужну сторону.

Таблиця 1

**Результати визначення рН зразків білка тваринного походження**

№ зразка	Кількість ферменту, %	рН до термооброблення	рН після термооброблення
контрольний	0	5,64	5,77
1	0,05	5,81	5,98
2	0,1	5,81	6,01
3	0,15	5,87	6,03
4	0,2%	5,89	6,05

Величина рН м'яса яловичини 2 сорту в цьому дослідженні знаходиться в межах норми в межах 5,4–7,0, а відповідно до Kieliszek & Blazejak [10, с. 194], фермент трансглутаміназа має оптимальний рН за активної кислотності дослідних білкових систем в діапазоні значень рН від 5 до 8 одиниць. Таким чином, результати вказують на те, що ефективність ферменту досягає оптимуму за умов досліджень. Якщо розглядати вплив кількості використаного ферменту, то зі збільшенням кількості внесення трансглутамінази значення рН підвищується. Підвищення активної кислотності (рН) у зв'язку з додаванням ферменту трансглутамінази показує результат реакції зшивання зразків білка, який хімічно виробляє молекулу аміаку (NH<sub>3</sub>), як показано на рисунку 1. Таким чином більш лужний вміст аміаку може впливати на значення рН.

Зміщення в лужну сторону показника рН досліджуваних зразків тваринних білків при термообробленні (досягнення температури 70±2°C) є класичними змінами в готових м'ясопродуктах. Вони обумовлені впливом температурних режимів варіння та доведенням до кулінарної готовності виробів і обумовлено гідролізом амінокислот.

У технології м'ясних і м'ясомістких продуктів використовують білковмісну сировину тваринного і рослинного походження. Тому після досліджень впливу МТГ на м'ясу сировину, як джерело білка тваринного походження, на наступному етапі визначили вплив ферменту на гідратований білок рослинного походження соєвий ізолят. Згідно рекомендацій по використанню мікробної трансглутамінази в гідратованих рослинних білках за температури 45±2°C в центрі дослідного зразка 1 годину проводили ферментацію. Після цього зразки для стуктурування витримували 12 годин за температури 6±2°C. Контрольною була проба без використання ферменту трансглутамінази. Результати досліджень величини рН гідратованих білків рослинного походження при ферментації протягом 1 години

та 12 годин при відповідних температурних режимах представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Результати визначення рН зразків білка рослинного походження**

№ зразка	Кількість ферменту, %	рН через 1 годину за температури 45±2°C	рН через 12 годин за температури 6±2°C
контрольний	0	6,69	6,76
1	0,05	6,82	6,92
2	0,1	6,86	6,95
3	0,15	6,87	6,96
4	0,2%	6,88	6,98

Наведені в таблиці 2 результати показують, що показники рН дослідних зразків гідратованого рослинного білка вище при використанні ферменту мікробної трансглутамінази у порівнянні з контрольним. Таким чином, дослідження білків рослинного походження показують, що продуктивність цього ферменту досягає оптимуму в умовах активної кислотності гідратованої білкової системи. Внесення ферменту трансглутамінази 0,05% і 0,1% сприяло підвищенню рівня рН на 0,13–0,17 відносно контрольного зразка. Підвищене значення рН у зв'язку з додаванням ферменту трансглутамінази показує результати реакцій зшивання в білках зразка, які хімічно утворюють молекули аміаку як через 1 годину за температури 45±2°C твк і через 12 годин за температури 6±2°C. Але збільшення кількості внесення ферменту вище 0,1% в білкову систему рослинного білка недоцільно, оскільки суттєве зростання активної кислотності не відбувається.

Для дослідження впливу ферменту мікробної трансглутамінази на структурно-механічні властивості гелів тваринного та рослинного білків, визначено твердість зразків (gf/мм) тваринного білка до та після термооброблення та рослинного білка через 1 годину ферментації за температури 45±2°C та через 12 годин ферментації за температури 6±2°C. Визначення твердості контрольного зразка тваринного білка на текстурометрі Shimadzu EZ-LX зображено на рисунку 2.

За результатами визначення твердості зразків тваринного білка, наведеними в таблиці 3, можна побачити, що використання ферменту МТГ підвищує цей показник. Показник твердості значно вищий для зразків з внесенням 0,05% МТГ у порівнянні з контрольним зразком (без ферменту).



Рис. 2. Текстуrometer Shimadzu EZ-LX (Японія)

Таблиця 3

**Показники твердості зразків тваринного білка**

№ зразка	Кількість ферменту, %	Твердість (gf/mm)	
		через 1 годину до термооброблення	після термооброблення
контрольний	0	107	2027
1	0,05	228	3386
2	0,1	250	3467
3	0,15	266	3577
4	0,2%	274	3648

Але збільшення кількості ферменту з 0,1% до 0,15% і вище особливо не змінює досліджуваних показників. Термообробка суттєво підвищує твердість завдяки дезагрегації нативних сполучнотканинних білків м'язової тканини та використанню МТГ і структуроутворенню.

Аналіз результатів досліджень впливу кількості ферменту МТГ на показники твердості гідратованих рослинних білків за температури 45±2°C в центрі дослідного зразка через 1 годину ферментації та після витримання 12 годин за температури 6±2°C представлені в таблиці 4.

Наведені результати показують, що додавання ферменту трансглютамінази ефективно підвищує рівень твердості гідратованого рослинного білка. Що стосується цього дослідження, відбувається значна зміна твердості гідратованого рослинного білка в діапазоні від 15 до 54 за 1 годину ферментації МТГ при температурі 45±2°C. Продовження ферментації до 12 годин за температури 6±2°C має тенденцію збільшення твердості у більше ніж три рази порівняно з контрольним зразком при внесенні 0,05% МТГ. Використання 0,1% ферменту до кількості гідратованого рослинного білка сприяє зростанню твердості у 2,7 рази при

Таблиця 4

**Показники твердості зразків рослинного білка**

№ зразка	Кількість ферменту, %	Твердість (gf/mm)	
		через 1 годину за температури 45 ± 2°C	через 12 годин за температури 6 ± 2°C
контрольний	0	15	26
1	0,05	39	119
2	0,1	54	151
3	0,15	62	181
4	0,2%	71	186

ферментації до 12 годин за температури 6±2°C та підтверджує суттєве підвищення твердості при внесення ферменту. Внесення більше 0,1% МТГ за результатами досліджень показників твердості гідратованого рослинного білка не показало доцільності.

**Висновок.** Результати досліджень використання ферменту мікробної трасглютамінази в гідратованих білках тваринного і рослинного походження підтверджують позитивний вплив на реструктуризацію цих білків через реакцію зшивання. Підвищення рівня рН відбувається за рахунок утворення аміаку (NH<sub>3</sub>) в результаті цієї реакції. Згідно отриманих експериментальних даних рекомендовано вносити в гідратовані білкові системи від 0,05% до 0,1% мікробної трансглютамінази активністю 100-120 одиниць.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні харчової композиції з мікробною трансглютаміназою і гідроколоїдами для підвищення функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей м'ясних фаршів та високих органолептичних показників варених ковбас.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Особливості післязайбних біохімічних процесів у м'ясній сировині на ТОВ «Тернопільський м'ясокомбінат» / О. Фурсік та ін. Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. 2022. Вип. 24, вип. 97. С. 34–40. URL: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9706>
2. Kang K.-M., Lee S.-H., Kim H.-Y. Effects of Using Soybean Protein Emulsion as a Meat Substitute for Chicken Breast on Physicochemical Properties of Vienna Sausage. *Food Science of Animal Resources*. 2022. Vol. 42, no. 1. P. 73–83. URL: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e63>
3. Molecular biology interventions for activity improvement and production of industrial enzymes /

S. Kant Bhatia et al. *Bioresource Technology*. 2020. P. 124596. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124596>

4. Basso A., Serban S. Industrial applications of immobilized enzymes—A review. *Molecular Catalysis*. 2019. Vol. 479. P. 110607. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110607>

5. The Sabatier principle as a tool for discovery and engineering of industrial enzymes / J. Kari et al. *Current Opinion in Biotechnology*. 2022. Vol. 78. P. 102843. URL: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102843>

6. Engineering interventions in enzyme production: Lab to industrial scale / A. Tarafdar et al. *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 326. P. 124771. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124771>

7. Design of novel enzyme biocatalysts for industrial bioprocess: Harnessing the power of protein engineering, high throughput screening and synthetic biology / A. Madhavan et al. *Bioresource Technology*. 2020. P. 124617. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124617>

8. Basso A., Serban S. Overview of Immobilized Enzymes' Applications in Pharmaceutical, Chemical, and Food Industry. *Methods in Molecular Biology*. New York, NY, 2020. P. 27–63. URL: [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0215-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0215-7_2)

9. Використання ферментних препаратів для підвищення функціонально-технологічних властивостей м'ясної сировини / І. М. Страшинський та ін. *Current aspects of the development of science and technology : collective monograph*. URL: <https://doi.org/10.51587/9798-9866-95914-2022-010-113-118>.

10. Kieliszek M., Błażej S. *Microbial Transglutaminase and Applications in Food Industry*. Microbial Enzyme Technology in Food Applications. Boca Raton, FL : CRC Press, [2016] | Series: Food biology series | "A science publishers book.", 2017. P. 180–198. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315368405-12>

11. Akbari M., Razavi S. H., Kieliszek M. Recent advances in microbial transglutaminase biosynthesis and its application in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 110. P. 458–469. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.036>

12. Glutamine-walking: Creating reactive substrates for transglutaminase-mediated protein labeling / L. Deweid et al. *Methods in Enzymology*. 2020. P. 121–148. URL: <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2020.04.066>

13. Fatima S. W., Khare S. K. Current insight and futuristic vistas of microbial transglutaminase in nutraceutical industry. *Microbiological Research*. 2018. Vol. 215. P. 7–14. URL: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.06.001>

14. IZMAIL P. M., RIYADI P. H., FAHMI A. S. EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF FISH ON FISH SAUSAGES WITH THE ADDITION OF TRANSGLUTAMINASE. *Journal of Advances in*

*Food Science & Technology*. 2022. P. 12–20. URL: <https://doi.org/10.56557/jafsat/2022/v9i17595>

15. Thephuttee N., Theprugsa P. Stability and Microstructure of Emulsion System in Sterilized Kai-yor (Thai Chicken Sausage). *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*. 2020. Vol. 19, no. 4. URL: <https://doi.org/10.12982/cmujns.2020.0050>.

16. Differentiation in improvements of gel strength in chicken and beef sausages induced by transglutaminase / A. M. Ahhmed et al. *Meat Science*. 2007. Vol. 76, no. 3. P. 455–462. URL: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.01.002>.

## REFERENCES:

1. Fursik, O., Strashynskiy, I., Hrytsai, M., Yepishkin, S. та Perhat, O., (2022). Osoblyvosti pisliazabiinykh biokhimichnykh protsesiv u miasnii syrovyni na TOV «Ternopil'skyi miasokombinat». *Naukovyi visnyk LNU veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii*. 24(97), 34–40. Doi: 10.32718/nvlvet-f9706.

2. Kang, K.-M., Lee, S.-H. та Kim, H.-Y., (2022). Effects of Using Soybean Protein Emulsion as a Meat Substitute for Chicken Breast on Physicochemical Properties of Vienna Sausage. *Food Science of Animal Resources* [онлайн]. 42(1), 73–83. Doi: 10.5851/kosfa.2021.e63.

3. KantBhatia, S., Vivek, N., Kumar, V., Chandel, N., Thakur, M., Kumar, D., Yang, Y.-H., Pugazendhi, A. та Kumar, G., (2020). Molecular biology interventions for activity improvement and production of industrial enzymes. *Bioresource Technology*. 124596. Doi: 10.1016/j.biortech.2020.124596.

4. Basso, A. та Serban, S., (2019). Industrial applications of immobilized enzymes – A review. *Molecular Catalysis*. 479, 110607. Doi: 10.1016/j.mcat.2019.110607.

5. Kari, J., Schaller, K., Molina, G. A., Borch, K. та Westh, P., (2022). The Sabatier principle as a tool for discovery and engineering of industrial enzymes. *Current Opinion in Biotechnology*. 78, 102843. Doi: 10.1016/j.copbio.2022.102843.

6. Tarafdar, A., Sirohi, R., Gaur, V. K., Kumar, S., Sharma, P., Varjani, S., Pandey, H. O., Sindhu, R., Madhavan, A., Rajasekharan, R. та Sim, S. J., (2021). Engineering interventions in enzyme production: Lab to industrial scale. *Bioresource Technology*. 326, 124771. Doi: 10.1016/j.biortech.2021.124771.

7. Madhavan, A., Arun, K. B., Binod, P., Sirohi, R., Tarafdar, A., Reshmy, R., Kumar Awasthi, M. та Sindhu, R., (2020). Design of novel enzyme biocatalysts for industrial bioprocess: Harnessing the power of protein engineering, high throughput screening and synthetic biology. *Bioresource Technology*. 124617. Doi: 10.1016/j.biortech.2020.124617.

8. Basso, A. та Serban, S., (2020). Overview of Immobilized Enzymes' Applications in Pharmaceutical,

Chemical, and Food Industry. *Y: Methods in Molecular Biology*. New York, NY: Springer US. c. 27–63. Doi: 10.1007/978-1-0716-0215-7\_2.

9. Strashynskyi, I.M., Pasichnyi, V.M., Yepishkin, S.S. та Yatskov, V. O., (2022). Vykorystannia fermentnykh preparativ dlia pidvyshchennia funktsionalno-tekhnologichnykh vlastyvostei miasnoi syrovyny. Current aspects of the development of science and technology : ccollective monograph. 113–117. DOI : 10.51587/9798-9866-95914-2022-010.

10. Kieliszek, M. та Błażej, S., (2017). Microbial Transglutaminase and Applications in Food Industry. *Y: Microbial Enzyme Technology in Food Applications* [онлайн]. Boca Raton, FL : CRC Press, [2016] | Series: Food biology series | “A science publishers book.”: CRC Press. c. 180–198. Doi: 10.1201/9781315368405-12.

11. Akbari, M., Razavi, S. H. та Kieliszek, M., (2021). Recent advances in microbial transglutaminase biosynthesis and its application in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*. **110**, 458–469. Doi: 10.1016/j.tifs.2021.02.036.

12. Deweid, L., Hадjabdelhafid-Parisien, A., Lafontaine, K., Rochet, L. N. C., Kolmar, H. та Pelletier, J. N., (2020). Glutamine-walking: Creating reactive substrates for transglutaminase-mediated

protein labeling. *Y: Methods in Enzymology*. Elsevier. c. 121–148 Doi: 10.1016/bs.mie.2020.04.066.

13. Fatima, S. W. та Khare, S. K., (2018). Current insight and futuristic vistas of microbial transglutaminase in nutraceutical industry. *Microbiological Research*. **215**, 7–14. Doi: 10.1016/j.micres.2018.06.001.

14. Izmail, P. M., Riyadi, P. H. та Fahmi, A. S., (2022). Effect of different types of fish on fish sausages with the addition of transglutaminase. *Journal of Advances in Food Science & Technology*. 12–20. Doi: 10.56557/jafsatsat/2022/v9i17595.

15. Thephuttee, N. та Theprugsa, P., (2020). Stability and Microstructure of Emulsion System in Sterilized Kai-yor (Thai Chicken Sausage). *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*. **19**(4). Doi: 10.12982/cmujns.2020.0050.

16. Ahhmed, A. M., Kawahara, S., Ohta, K., Nakade, K., Soeda, T. та Muguruma, M., (2007). Differentiation in improvements of gel strength in chicken and beef sausages induced by transglutaminase. *Meat Science*. **76**(3), 455–462. Doi: 10.1016/j.meatsci.2007.01.002.

*Стаття надійшла до редакції  
22 листопада 2024 року*