

STUDY OF FEATURES OF REGULATION OF STRUCTURE OF HAM PRODUCTS USING TRANSGLUTAMINASE

I. Shevchenko, G. Polischuk, M. Filonenko, O. Topchii

National University of Food Technologies

Key words:

Milk proteins
Transglutaminase
Restructured ham products
PSE semi-fat pork
Chicken thigh

Article history:

Received 09.12.2021
Received in revised form
23.11.2021
Accepted 08.12.2021

Corresponding author:

G. Polischuk
E-mail:
milknuft@i.ua

ABSTRACT

The article presents the results of research on the use of transglutaminase in the technology of restructured ham products from poultry and pork PSE as an enzyme preparation which regulates the structure and functional and technological properties of protein-containing systems. The aim of the work is to study the possibility of regulating the structure of restructured ham products by using enzyme — transglutaminase and milk proteins-substrates. The object of research is the technology of restructured ham products. Standard research methods were used. Structural and mechanical parameters were determined using universal installation “Instron 1122”. The substrate specificity of the microbial form of the calcium-independent enzyme produced by the bacteria *Streptococcus thermophilus* was studied. The effect of the enzyme transglutaminase on the functional properties of meat systems with different combinations of milk proteins in their composition was studied. It is proved that the replacement of 2.2 to 3.5% of semi-fatty pork with a complex of “transglutaminase+milk protein substrate” in the structure of restructured hams from poultry and semi-fatty pork PSE has a positive effect on the strength of their structure, the most monolithic is structure with partial replacement of raw meat by hydrated preparation of micellar casein in the amount of: 0.7% TG and 2.2% of micellar casein. It was shown that transglutaminase form a protein matrix similar to the natural protein tissue of ham meat products due to its ability to combine amino acids with animal proteins. It was proved that the formation of protein structure by fermentation makes it possible to obtain heat-resistant systems and promotes the production of high quality meat products.

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ШИНКОВИХ ВИРОБІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСГЛЮТАМІНАЗИ

І. І. Шевченко, Г. Є. Поліщук, М. І. Філоненко, О. А. Топчій
Національний університет харчових технологій

У статті досліджено використання трансглютамінази в технології реструктурованих шинкових виробів з м'яса птиці та свинини PSE як ферментного препарату, що регулює структуру та функціонально-технологічні властивості білоквмісних систем.

Визначено можливості регулювання структури реструктурованих шинкових виробів шляхом використання ферменту трансглютамінази та молочних білків-субстратів. Об'єкт дослідження — технологія реструктурованих шинкових виробів. Методи досліджень — стандартні. Структурно-механічні показники визначалися на універсальній установці «Instron 1122».

Досліджено субстратну специфічність мікробіальної форми кальційнезалежного ферменту, що продукується бактеріями *Streptovorticillium tobatense* до білкового препарату «Drip free cas», казеїнату напрію «Dairy Co», білків сухої маслянки та міцелярного казеїну марки Willmax 80.

Вивчено вплив ферменту трансглютамінази на функціональні властивості м'ясних систем із різними комбінаціями молочних білків у їх складі.

Доведено, що заміна від 2,2 до 3,5% напівжирної свинини на комплекс «трансглютаміназа+молочний білок-субстрат» у складі реструктурованих шинок з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE позитивно впливає на міцність їх структури, при цьому найбільш монолітними є структури з частковою заміною м'ясної сировини на гідратований препарат міцелярного казеїну в кількості 0,7% ТГ та 2,2% міцелярного казеїну.

Встановлено, що трансглютаміназа за рахунок здатності об'єднувати між собою амінокислоти білків тваринного походження утворює білкову матрицю, подібну природній білковій тканині шинкових м'ясних виробів. Доведено, що формування білкової структури шляхом ферментації дає змогу отримувати термостійкі м'ясні продукти високої якості.

Ключові слова: молочні білки, трансглютаміназа, реструктуровані шинкові вироби, свинина напівжирна PSE, куряче стегно.

Постановка проблеми. На споживчому ринку щороку з'являються нові функціональні інгредієнти для м'ясної промисловості, тому важливим є розуміння їхніх потенційних технологічних можливостей. Для більшості таких інгредієнтів не існує стандартних рекомендацій щодо їх використання для різних видів м'ясної сировини.

Новим напрямком у харчових технологіях є застосування ферментів для цілеспрямованої дії на харчові системи, зокрема для модифікації структури білків. Мікробіальна трансглютаміназа (ТГ_а), яку отримують шляхом промислового культивування мікроорганізмів з роду *Streptovorticillium* sp., все ширше знаходить своє використання в харчовій промисловості, передусім у таких галузях, як

рибна, м'ясна, молочна та кондитерська (Feiner, 2010; Уайтхерст & Ван Оорт, 2013; Tarte, 2015).

З біохімічної точки зору трансглютаміназа (γ -глутамілтрансфераза, ЕС 2.3.2.13) — це фермент, що утворює поперечні зшивки між білками за рахунок перенесення ацильної групи від первинного аміну до γ -карбоксиаміду глутаміну, зв'язаного з пептидом або білком. Ця перша реакція, як правило, призводить до утворення ковалентної поперечної зшивки між глутаміном і лізином, що входить до складу білкових молекул. Завдяки такій своїй дії трансглютаміназа здатна виконувати в м'ясних та інших харчових системах функції зв'язуючого та текстуруючого компонента. Завдяки своїй типовій реакції трансглютаміназа має здатність впливати не тільки на текстуру, але й на зв'язування та вихід білоквмісних харчових продуктів. Використовуючи таку типову реакцію трансглютамінази, можна створювати інноваційні продукти, забезпечувати їх стандартне порціонування і дозування, підвищувати рентабельність виробництва за рахунок раціонального використання високоцінної м'ясної сировини та збільшення виходу продуктів (Prakasan, Chawla & Sharma, 2015; Duarte, Matte, Bizarro, et al., 2020). Зважаючи на вищевикладене, зроблено висновок про можливість застосування ТГази в технології реструктурованих шинкових виробів.

Застосування біотехнологічного перетворення реструктурованої м'ясної системи до теплового оброблення з отриманням нових структурних якостей цільном'язової тканини є актуальним напрямом розвитку харчових технологій. При вивченні цієї проблеми найкращий результат було досягнуто при використанні ферментних препаратів, передусім ферменту трансглютамінази (Mirzaei, 2011; Ganga, Ashish, Narender, & Sumit, 2017).

У виробництві реструктурованих шинкових виробів безпечність використання ферментів полягає у їх білковій природі, зокрема денатурації при тепловій обробці. Встановлено, що ферменти можна інактивувати за температури 65°C і вище (Prakasan, Chawla & Sharma, 2015).

У різних умовах ТГаза по-різному реагує з окремими білками. Глибина реакції переважно визначається наявною доступністю глутаміну та лізину в білку, а також фактичними умовами реакції (значення рН, температура), які повинні відповідати певному діапазону активності ферменту. З цієї причини ферментні препарати, що містять ТГази, розробляють таким чином, щоб вони містили фермент і білок-субстрат у потрібному співвідношенні (Mirzaei, 2011).

Серед молочних білків саме казеїн є найкращим субстратом для ТГази. У питанні специфічності ензиму до молочних білків визначено, що фракції казеїну, ймовірно з причини структурної близькості до фібриногену і легкодоступної, гнучкої та відкритої структури ланцюга, є більш прийнятними до зшивання ТГазою порівняно із сироватковими білками. Високу спорідненість до ТГази виявляє казеїнат натрію, який містить суміш α S1-, α S2-, β - і k -казеїнових фракцій. Ступінь зшивання k -казеїну ТГазою вищий, ніж β -, α S1- і α S2-казеїнів, за рахунок розташування k -казеїну на поверхні міцели. Серед сироваткових білків α -лактоальбумін характеризується більш високим ступенем полімеризації при обробці ТГазою, ніж β -лактоглобулін. Білки сироватки менш схильні до реакції зшивання внаслідок глобулярної структури та наявності дисульфідних зв'язків, тому їх зшивання є можливим за рахунок денатурації при термічному обробленні (Mirzaei, 2011; Ganga, Ashish, Narender, & Sumit, 2017).

Проте субстратну специфічність ферменту ТГаза до білків, що мають харчове значення, та особливості використання ТГази в технології м'ясних продуктів, вивчено недостатньо. Слід відмітити, що серед молочно-білкових концентратів одним із найбільш перспективних для застосування у складі реструктурованих шинкових виробів є міцелярний казеїн. На відміну від казеїну та казеїнатів, харчова цінність і фізико-хімічні властивості яких суттєво погіршені внаслідок термокислотного осадження (для казеїну) й обробки лугами (для казеїнатів), міцелярний казеїн є нативним білком. Цей концентрат одержують мікро- та ультрафільтрацією зі знежиреного молока (Ganga, Ashish, Narender, & Sumit, 2017). За рахунок фізичного способу концентрування міцелярний казеїн характеризується високим рівнем засвоюваності, розчинності у воді, виявляє емульгвальну здатність і має відмінні органолептичні властивості. Міцелярний казеїн містить від 70,0 до 85,5% білка і може бути застосований у складі білоквісних харчових продуктів (Ganga, Ashish, Narender, & Sumit, 2017; Nasser, Hedoux, Giuliani, Floch-Fouéré, Sante-Lhoutellier, et al. 2018). Але специфіку ферментативної дії ТГази щодо міцелярного казеїну у разі їх застосування у м'ясних продуктах — шинкових виробів, не досліджено. Також у літературі відсутні відомості щодо цілеспрямованого використання ТГази з метою отримання м'ясних продуктів із заданими властивостями, що є перспективним і потребує подальшого вивчення.

Метою статті є дослідження можливості регулювання якісних показників і структури реструктурованих шинкових виробів з м'яса птиці та свинини PSE шляхом використання ферменту трансклютамінази та молочних білків-субстратів.

Матеріали і методи. Для удосконалення технології реструктурованих шинок з м'яса птиці та свинини PSE була використана мікробіальна форма кальцій незалежного ферменту, що продукується бактеріями *Streptovorticilli ummoba-tense*, активністю 50 од/г порошку. Температурний діапазон активності ферменту ТГази становить від 0 до 65°C, оптимум хімічної активності досягається приблизно при 55°C. Денатурація ферменту ТГази починається за температури вище 65°C. Повна інактивація відбувається за температури 70...75°C. Фермент виявляє активність в інтервалі рН 4...9 за оптимуму значень рН 6...7. В активному центрі ферменту присутній цистеїновий залишок, тому за певних умов фермент може окислюватися.

Хоча ТГаза не здатна до гелеутворення у суміші сироваткових та м'ясних білків при нагріванні, вона стабілізує емульсії, виготовлені із суміші міофібрилярних і сироваткових білків, що використовуються як емульгатори. Подібні емульсії при нагріванні легко перетворюються у напівтверді змішані гелі, і цей процес підсилюється внаслідок утворення поперечних зв'язок між мембранами жирових глобул.

На кафедрі технології м'яса і м'ясних продуктів Національного університету харчових технологій вивчено функціонально-технологічні властивості м'ясних система з ТГзою у присутності ряду білкових і білоквісних концентратів — казеїнату натрію «Dairy Co», сироваткового білкового препарату «Drip free cas», сухої маслянки «Dairy Co» та міцелярного казеїну з масовою часткою білка 80% марки Willmax 80. Обрані білкові препарати характеризуються гарним органолептичним поєднанням з м'ясними виробами, низьким вмістом лактози або її

відсутністю та високим вмістом білка, мають високу розчинність, тому є перспективними для використання в м'ясній промисловості. Вони є хорошими емульгаторами, стабілізаторами структури та за своїми функціонально-технологічними властивостями наближаються до м'язових білків (Polishchuk, Breus, Kochubey-Litvinenko, Osmak, Semko, Borova, 2020).

Органолептичні показники визначали за п'ятибальною шкалою відповідно до ДСТУ 4823.2. Вміст вологи визначали за ДСТУ ISO 1442:2000. Вміст білкових речовин в продукті — за ДСТУ ISO 1871:2003, жиру — за ДСТУ ISO 1443:2005, золи — за ДСТУ ISO 936:2008. Вологозв'язувальну здатність (ВЗЗ) об'єктів дослідження визначали прес-методом Грау-Хамма в модифікації В. І. Воловинської і Б. Я. Кельман. Кількість зв'язаної вологи у дослідних зразках визначали на лабораторних електронних вагах-воломірі «Axis», які відповідають вимогам ГОСТ 24104-88. Вимірювання рН усіх продуктів здійснювали відповідно до ДСТУ ISO 2917-2001 за допомогою лабораторного рН-метра «OP-205/1». Структурно-механічні показники визначали на універсальній установці «Instron 1122».

Організація проведення дослідження. Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

- вивчати субстратну специфічність ТГази щодо білкових і білоквмісних концентратів — казеїнату натрію «Dairy Co», сироваткового білкового препарату «Drip free cas», сухої маслянки «Dairy Co» та міцелярного казеїну;
- вивчити вплив ТГази на структуру реструктурованих шинкових виробів з м'яса птиці та свинини PSE, органолептичні показники та вихід продуктів;
- розробити технологічні рекомендації щодо виробництва реструктурованих шинкових виробів з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE.

Для вирішення поставлених завдань було вивчено функціонально-технологічні властивості (ФТВ) гелевих систем, до складу яких як структуроутворюючі компоненти увійшли в різній кількості фермент ТГаза та молочні білкові препарати різної структурної конформації. Функціональні властивості зазначених структуроутворюючих компонентів вивчали шляхом дослідження їх гелеутворювальних властивостей за показниками критичної концентрації гелів, граничного напруження зсуву та за результатами органолептичної оцінки. Для приготування зразків гелів використовували фермент ТГаза у кількості 0,7...1,2%, та білкові концентрати казеїнату натрію, сироватковий білковий препарат, суху маслянку та міцелярний казеїн у кількостях від 2,0 до 4,0%. Температура гелеутворення становила $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

В утворених гелях також визначали кількість синергічної рідини при зберіганні за температури $8 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 12 год. Підготовлені розчини з різною концентрацією структуруючих компонентів досліджували за структурно-механічними та органолептичними показниками.

Контрольні зразки реструктурованих шинкових виробів виготовляли зі свинини напівжирної — 45% та курячого стегна — 45%. Дослідні — із заміною м'ясної сировини на структуруючі компоненти у кількості 3,0%.

Результати і обговорення. Однією з існуючих технологічних проблем при виробництві реструктурованих продуктів з яловичини є складність отримання монолітної цілісної структури та ніжної консистенції. Для вирішення цієї проблеми на практиці використовують широкий спектр структуруючих інгредієнтів, внесення яких призводить до зниження харчової цінності готової продукції.

Важливо відзначити, що умови виробництва реструктурованих м'ясних виробів можна відрегулювати так, щоб реакційна здатність багатьох білків збільшилася за рахунок підвищення доступності глутаміну і лізину, що входять до їх складу, і відповідного збільшення швидкості реакції, що каталізується ферментом трансглутаміназою. З огляду на це в процесі вибору харчового білка, якому належить вступити в реакцію з трансглутаміназою, слід розглядати й оцінювати декілька його джерел. Відомо, що модифікація білків за допомогою ТГази дає змогу змінювати їх розчинність, ступінь гідратації, термостабільність, а також їх реологічні властивості. Специфічність ТГази до того чи іншого білка залежить від молекулярної структури і фізико-хімічних властивостей субстрату (Ruiz-Carrascal, Regenstein, 2002; Sharma, Lorenzen, Qvist, 2001). Використання казеїнату натрію «Dairy Co», сироваткового білкового препарату «Drip free cas», міцелярного казеїну марки Willmax 80 та сухої маслянки, що містить фосфоліпиди, дає змогу вирішити існуючі проблеми та збагатити м'ясні продукти додатковим джерелом високоцінного у структурі харчування молочного білка (Castro-Briones, Calderon, Velazquez, and etc., 2009). Як показали проведені дослідження (табл. 1), для отримання пружного гелю раціональним є такий склад модельних систем:

- фермент ТГ у кількості 0,65...0,70% і міцелярний казеїн — 2,0...2,2%;
- фермент ТГ у кількості 0,65...0,70% і казеїнат натрію — 2,3...2,5%;
- фермент ТГ 0,75...0,80% і білковий препарат «Drip free cas» — 3,0...3,5%;
- фермент ТГ 1,0...1,1% і суха маслянка — 3,0...3,5%.

Таблиця 1. Фізико-хімічні та структурно-механічні характеристики гелів ($P \geq 0,95$, $n=3$)

Зразки	Критична концентрація гелеутворення, %	Граничне напруження зсуву, кПа	Масова частка відокремленої вологи, %
№ 1 фермент ТГ — 0,7% та міцелярний казеїн 2,2%	0,7±2,2	4,9±0,2	2,75±0,14
№ 2 фермент ТГ — 0,7% та казеїнат натрію 2,5%	0,7±2,5	5,0±0,2	2,89±0,14
№ 3 фермент ТГ — 0,8% та білковий препарат «Drip free cas» — 3,0%	0,8±3,0	5,1±0,1	3,71±0,12
№ 4 фермент ТГ — 0,9% та маслянка — 3,5%	0,9±3,5	5,2±0,1	3,25±0,12

За вказаних співвідношень структуруючі компоненти добре розчиняються у холодній воді та швидко утворюють гель. За меншої концентрації препаратів необхідно подовжувати час для гелеутворення, а утворена структура гелів є слабкою та неміцною. За підвищення концентрації препаратів гель, відповідно, більш структурований. У менш концентрованих гелях після 12 год збереження відокремлювалася вільна волога, кількість якої збільшувалась зі зменшенням вмісту структуруючих компонентів. Проте гелі на основі композиції «фермент ТГаза 0,7% + міцелярний казеїн 2,2%» виявляли найменший синерезис.

У процесі досліджень встановлено, що зі збільшенням вмісту структуруючих компонентів збільшується критична концентрація гелеутворення, що, у свою чергу, приводить до зростання граничної напруги зсуву (Dimitralopoulou, Ambrosiadis, Zetou & Bloukas, 2005). Граничне напруження зсуву становить для різних видів гелів 4,9...5,2 кПа, що знаходиться в межах значень, прийнятих для шинкових виробів в оболонці. Відповідно до результатів досліджень (табл. 1) зразки 1, 2, 3 та 4 мають стійкі до синерезису гелеві структури.

Для оцінки ступеня впливу ферменту ТГаза та молочно-білкових препаратів різної структурної конформації на структурно-механічні властивості реструктурованих шинкових виробів було досліджено зразки без заміни м'ясної сировини (контрольний зразок) та з заміною м'ясної сировини на структуруючі компоненти у кількості 3,0%. Відповідно до рекомендацій виробників і функціональних властивостей ступінь гідратації молочно-білкових препаратів у воді питній було встановлено на рівні 1:4.

При вивченні структурно-механічних властивостей було встановлено, що комплексне використання ТГази та молочних білків суттєво підвищує міцнісні характеристики м'ясних систем з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE і термооброблених реструктурованих продуктів. Результати досліджень фізико-хімічних, структурно-механічних характеристик і виходу реструктурованих шинок з м'яса птиці та напівжирної свинини PSE представлені в табл. 2.

Аналізуючи дані табл. 2, необхідно відмітити, що напруга зсуву як у модельних зразках реструктурованих продуктів з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE без заміни м'ясної сировини, так і в зразках із заміною м'ясної сировини змінюється залежно від складу структуроутворювача.

Таблиця 2. Фізико-хімічні, структурно-механічні характеристики і вихід реструктурованих шинок з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE

Показники	Зразки				
	Контроль, 0%	№ 1 ТГаза 0,7%+міцелярний казеїн 2,2%	№ 2 ТГаза 0,7%+казеїнат натрію 2,5%	№ 3 ТГаза 0,8%+білковий препарат «Drip free» cas» 3,0%	№ 4 ТГаза 0,9%+маслянка 3,5%
Вміст вологи, %	67,83±1,34	74,62±1,24	74,26±1,21	73,58±1,28	73,61±1,22
Вміст білка, %	14,57±0,68	17,33±0,76	17,23±0,76	17,82±0,69	18,14±0,63
Вологоутримувальна здатність, %	62,35±1,38	65,78±1,50	65,14±1,55	64,72±1,21	64,93±1,58
Напруга зсуву, кПа	189,86±1,42	205,48±1,16	204,85±1,18	204,49±1,2	203,83±1,33
Зусилля різання, кПа	175,32±1,31	277,45±1,42	275,32±1,40	254,67±1,23	247,36±1,30
Вихід, %	105,22±1,30	120,00±1,09	119,14±1,11	117,19±1,18	117,95±1,24
Втрати маси при термообробці, %	15,35±1,13	7,36±1,03	8,64±1,06	9,67±1,02	9,94±1,00
Активність води	0,827±0,002	0,840±0,001	0,841±0,001	0,859±0,003	0,856±0,0014

При цьому структурно-механічні характеристики зразків без заміни м'ясної сировини були нижчими порівняно зі значеннями зразків, виготовлених з гідратованими молочними білковими препаратами за відповідного рівня введення

ТГази. Підвищення структурно-механічних характеристик реструктурованих шинок з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE викликане поперечним зшиванням білків і, як наслідок, змінами фізико-хімічних і сенсорних властивостей продуктів, що доведено інструментальними дослідженнями основних структурно-механічних показників шинок. Встановлено, що формування ковалентних зв'язків, індукованих ТГазою, суттєво змінює реологічні показники шинок. Шинки з ТГазою характеризуються більшими міцністними властивостями, оскільки нові білкові зв'язки збільшують опір їх структури силам деформації. Міцність ТГ-оброблених шинок зростає на 41...57% залежно від виду білка-субстрату і суттєво перевищує значення показника зусилля різання контрольних зразків. Найбільша міцність структури була характерна для зразків №1, що містили ТГ — 0,7% та міцелярний казеїн — 2,2%. Додавання до модельних м'ясних систем з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE, ТГази та молочних білкових препаратів позитивно впливає на міцність їх структури в цілому (Muguruma та ін., 2003).

Максимальне значення вологоутримувальної здатності також властиве зразкам з ферментом ТГзою та гідратованим препаратом міцелярним казеїном (65,78%). Зростання вологоутримувальної здатності модельних м'ясних систем з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE корелювало зі зниженням втрат маси при термообробці. Встановлене значне зниження втрат маси у дослідних зразках порівняно з контрольним зразком — 15,35%. Найменші втрати маси при термообробці (7,36...9,94%) були властиві також зразкам з 0,70% ферменту ТГаза та з 2,2% міцелярного казеїну.

Незалежно від виду білка-субстрату та кількості його в складі реструктурованих шинок у дослідних зразках зафіксовано зростання пружно-еластичних властивостей, зниження інтенсивності синерезису та підвищення виходу шинок. При цьому найбільш монолітними є структури з частковою заміною м'ясної сировини на гідратований препарат міцелярного казеїну. На молекулярному рівні молочні білки зв'язують воду за рахунок утворення водневих зв'язків усередині гідратованого білка, що сприяє підвищенню щільності продукту.

При використанні ферменту ТГаза та молочних білкових препаратів різної структурної конформації у модельних зразках з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE спостерігалось збільшення вологоутримувальної здатності, зниження втрат маси продукту при тепловому обробленні, покращення як пластичних, так і пружних властивостей продукту (Muguruma та ін., 2003).

Отже, можна стверджувати, що саме міцелярний казеїн за структурної близькості до фібриногену є більш чутливим до зшивання трансглютаміназою порівняно з сироватковими білками. Це можна пояснити тим, що її білки менш схильні до реакції зшивання внаслідок глобулярної структури та наявності дисульфідних зв'язків. Однак зшивання білків можна досягти за рахунок їхньої денатурації під час термічного оброблення. Вміст казеїну у сухій масляниці значно менший, порівняно з молочно-білковим концентратом — казеїнатом натрію та міцелярним казеїном, тому її технологічна ефективність нижча. Серед молочних білків казеїнова фракція є кращим субстратом для ТГази у зв'язку з легкодоступною, гнучкою і відкритою структурою ланцюга, порівняно з білками сироватки, що

мають глобулярну структуру та менш доступні до реакції зв'язування, оскільки дісульфідні зв'язки стабілізують глобулярну конформацію, що обмежує доступність ділянок зв'язування (Kishenko, Kryzhova, Filonenko, 2016).

Аналізуючи отримані результати дослідження структурно-механічних характеристик шинок, можна стверджувати, що солерозчинні білки, екстраговані з м'ясної сировини, у поєднанні зі структуроутворюючими компонентами забезпечують монолітність і міцність реструктурованих продуктів порівняно з контролем.

Результати проведених досліджень доводять суттєву роль ТГази та білка-субстрату у підвищенні вмісту білка в складі реструктурованих шинок з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE. Так, використання ТГази та білка-субстрату забезпечило зростання масової частки білка на 2,5...3,5%, якщо порівняти з контролем.

Результати вивчення впливу структуроутворюючих компонентів з ТГзою та молочними білковими препаратами на функціонально-технологічні властивості м'ясних систем надають можливість прогнозувати характер взаємодії між структуроутворюючими компонентами та регулювати якісні показники продукту (Шевченко, Поліщук, Філоненко & Осмак, 2020).

Загальна органолептична оцінка дослідних зразків шинок з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE була високою. Найбільш високими були показники, що характеризували смак, колір і консистенцію дослідних зразків, про що свідчать дані табл. 3.

Таблиця 3. Органолептичні показники реструктурованих шинок з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE

Основні показники	Дослідні зразки				
	Контроль	№ 1 ТГаза 0,7%+міцелярний казеїн 2,2%	№ 2 ТГаза 0,7%+казеїнат натрію 2,5%	№ 3 ТГаза 0,8%+білковий препарат Drip free cas» 3,0%	№ 4 ТГаза 0,9%+маслянка 3,5%
Зовнішній вигляд	4,2	4,9	4,5	4,5	4,5
Вигляд на розрізі	4,4	4,9	4,9	4,8	4,8
Консистенція	4,3	4,9	4,9	4,7	4,7
Колір	4,3	4,8	4,8	4,8	4,8
Смак	4,2	4,7	4,7	4,6	4,7
Запах	4,4	4,4	4,4	4,4	4,3
Загальна оцінка	4,3	4,8	4,7	4,6	4,6

Перспективи подальших досліджень полягають у використанні фермента трансглютамінази та білка-субстрату з метою заміни структуроутворюючих харчових добавок ферментом і молочними білками, що формують щільну консистенцію продуктів за рахунок «зшивання» білкових молекул.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що заміна 2,2 до 3,5% свинини напівжирної на комплекс «трансглютаміназа+молочний білок-субстрат» у дослідних зразках позитивно впливає на міцність їх структури, при цьому найбільш монолітними є структури з частковою заміною м'ясної сировини на гідратований препарат міцелярного казеїну у кількості 0,7% ТГ та 2,2% міцелярного казеїну.

Доведено, що використання як структуруючих компонентів трансглютамінази та молочних білкових препаратів у м'ясних системах з м'яса птиці та свинини напівжирної PSE підвищує міцнісні характеристики реструктурованих продуктів. Так, напруга зсуву для дослідних зразків зростає на 8,2%...7,9%.

Серед обраних молочних білкових препаратів казеїнова фракція є кращим субстратом для ферменту ТГ у зв'язку з легкодоступною, гнучкою і відкритою структурою ланцюга, якщо порівняти з білками сироватки.

Внесення структуруючих компонентів у складі 0,7% ферменту ТГ та 2,2% міцелярного казеїну сприяє формуванню монолітності, еластичності, термостабільності реструктурованих шинок та покращує їх органолептичні характеристики.

Література

Уайтхерст, Р. Дж., Ван Оорт, М. (2013). *Ферменты в пищевой промышленности*. СПб.: Профессия, 408.

Feiner, H. (2010). *Meat products. Scientific bases, technologies, practical recommendations*. Publ: Profession, 720.

Tarte, R. (2015). *Ingredients in the production of meat products*. Properties, functionality, applied. publ: ID Profession, 464.

Prakasan, V., Chawla, S., Sharma, A. (2015). Effect of transglutaminase treatment on functional properties of Paneer. *International journal of current microbiology and applied sciences*, 4(5), 227—238.

Duarte, L., Matte, C. R., Bizarro, C. V. et al. (2020). Review transglutaminases: part II industrial applications in food, biotechnology, textiles and leather products. *World J Microbiol Biotechnol*. Взято з: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-019-2792-9>.

Mirzaei Mahta. (2011) Microbial Transglutaminase application in food industry 2011 International Conference on Food Engineering and Biotechnology IPCBEE. Взято з: <http://ipcbee.com/vol9/51-B20017.pdf>.

Ganga, S. M., Ashish, K.S., Narender, R. P. & Sumit, A. (2017). Milk protein concentrates: opportunities and challenges. *Journal of Food Science and Technology*.

Nasser, S., Hedoux, A., Giuliani, A., Floch-Fouéré, C., Sante-Lhoutellier, V. et al. (2018). Investigation of secondary structure evolution of micellar casein powder upon aging by FTIR and SRCD: consequences on solubility. Взято з: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02044448>.

Polishchuk, G., Breus, N., Kochubey-Litvinenko, O., Osmak, T., Semko, T. et al. (2020). Study of the Influence of Micellar Casein and Spelt Flour on Yoghurt Quality Indicators (August 4, 2020). *EUREKA: Life Sciences*, (4), 44—52.

Ruiz-Carrascal, J., Regenstein, J. (2002). Emulsion stability and water uptake ability of chicken breast muscle proteins as affected by microbial transglutaminase. *J. of Food Science*, 67, 734—739.

Sharma, R., Lorenzen, P. C., Qvist, K. B. (2001). Influence of transglutaminase treatment of skim milk on the formation of ϵ -(γ -glutamyl)lysine and the susceptibility of individual proteins towards crosslinking. *International dairy journal*, 11(10), 785—793.

Castro-Briones, M., Calderon, G., Velazquez, G. and etc. (2009). Mechanical and functional properties of beef products obtained using microbial transglutaminase with treatments of pre-heating followed by cold binding. *Meat Science*, 83, 229—238.

Dimitralopoulou, M. A., Ambrosiadis, J. A., Zetou, F. K., Bloukas, J. G. (2005). Effect of salt and trasglutaminase (TG) level and processing condirions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. *Meat Science*, 703, 743—749.

Mugurama, M., Tsuruoka, K., Erwanto, Y., Kawahara, S., Yamauchi, K., Sathe, S. K., Soeda, T. (2003). Soybean and milk proteins modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduced levels of phosphate. *Meat Science*, 63, 191—197.

Ramirez-Suarez, J. C., Xiong, Y. L. (2003). Rheological properties of mixed muscle/nonmuscle protein emulsions treated with transglutaminase at two ionic strengths. *J. of Food Science and Technology*, 38, 777—785.

Kishenko, I., Kryzhova, Y., Filonenko, M. (2016). Особенности использования транслютаминазы в технологии реструктурированных ветчин. *Food chemistry and technology*, 50(1), 12—19.

Шевченко, І. І., Поліщук, Г. Є., Філоненко, М. І., Осьмак, Т. Г. (2020). Вивчення структуруючих властивостей транслютамінази у білоквісних системах. *Наукові праці НУХТ*, 26(2), 212—219.