

УДК 637.5.03

Пасічний В. М.,

pasww1@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-0138-5590, ResearcherID: N-6100-2018,
д.т.н., професор кафедри м'яса та м'ясних продуктів,
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Єпішкін С. С.,

iepishkinsergii@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7037-5380,
аспірант, Національний університет харчових технологій, м. Київ

РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ТЕКСТУРОФОРМУЮЧОЇ ХАРЧОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАНСГЛУТАМІНАЗИ ДЛЯ ВАРЕНИХ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ

Анотація. Розроблення ефективних текстурорегулюючих харчових добавок для ковбасних виробів вареної групи потребує врахування їх термостабільності, для забезпечення в процесі виробництва необхідних показників якості. Для забезпечення показників в'язкості, в складі текстуроформуючих добавок використовується широкий клас гідроколоїдів – крохмалі, камеді, карбоксиметил целюлоза, білки тваринного і рослинного походження. Для формування реологічних показників систем, які містять білок, для утворення заданої текстури, також використовуються трансферази заданої ферментативної активності. Підбір, складових сумішей на основі гідроколоїдів повинен враховувати підвищення стабільності реологічних показників, зокрема динамічної в'язкості, для формування якісних показників ковбасних виробів. В дослідженнях, для розроблення текстуроформуючої харчової композиції, використано крохмаль картопляний, ксантанову камедь (E415), карбоксиметил целюлозу (E466), камедь конжаку (E425), розпушуючий агент (E551), суху демінералізовану сироватку та фермент трансглютаміназу. В процесі дослідження показників 1 % і 2 % розчинів модельних композицій сумішей визначено вплив рецептурного комбінування гідроколоїдів, молочної сироватки та трансглютамінази на показники динамічної в'язкості на 2 та 12 годину зберігання розчинів. Вивчено вплив рецептурного комбінування складу сумішей на зміну динамічної в'язкості, після прогрівання до температури 73 °С. Це дозволило оцінити термостабільність композиційних сумішей з використанням трансглютамінази. Встановлено, що використання трансглютамінази з ферментативною активністю в межах 90–130 одиниць в кількості 10–15 % в складі текстуроформуючих композицій з молочною сироваткою дозволяє підвищити стабільність показників динамічної в'язкості при проведенні теплового оброблення, яке моделює завершення процесу нагрівання варених ковбасних виробів.

Ключові слова: гідроколоїди, молочна сироватка, трансглютаміназа, композиційна суміш, динамічна в'язкість, реологічні показники.

Pasichnyi V. M.,

pasww1@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-0138-5590, ResearcherID: N-6100-2018,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Meat and Meat Products,
National University of Food Technologies, Kyiv

Iepishkin S. S.,

iepishkinsergii@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7037-5380,
PhD student, National University of Food Technologies, Kyiv

DEVELOPMENT OF A TEXTURE-FORMING FOOD COMPOSITION FORMULATION USING TRANSGLUTAMINASE FOR COOKED SAUSAGE PRODUCTS

Abstract. The development of effective texture-regulating food additives for cooked sausage products requires taking into account their thermal stability to ensure the necessary quality indicators in the production process. To ensure viscosity indicators, a wide class of hydrocolloids is used in the composition of texture-

forming additives – starches, gums, carboxymethyl cellulose, proteins of animal and plant origin. To form the rheological indicators of systems containing protein, to form a given texture, transferases of a given enzymatic activity are also used. The selection of components of mixtures based on hydrocolloids should take into account the increase in the stability of rheological indicators, in particular dynamic viscosity, to form quality indicators of sausage products. In the studies, potato starch, xanthan gum (E415), carboxymethyl cellulose (E466), konjac gum (E425), leavening agent (E551), dry demineralized whey and transglutaminase enzyme were used to develop a texture-forming food composition. In the process of studying the indicators of 1 % and 2 % solutions of model compositions of mixtures, the effect of the prescription combination of hydrocolloids, whey and transglutaminase on the dynamic viscosity indicators for 2 and 12 hours of storage of the solutions was determined. The effect of the prescription combination of the composition of the mixtures on the change in dynamic viscosity after heating to a temperature of 73°C was studied. This allowed us to assess the thermal stability of the composite mixtures using transglutaminase. It has been established that the use of transglutaminase with enzymatic activity within 90–130 units in an amount of 10–15 % in the composition of texture-forming compositions with whey allows to increase the stability of dynamic viscosity indicators during heat treatment, which simulates the completion of the heating process of cooked sausage products.

Key words: hydrocolloids, whey, transglutaminase, composite mixture, dynamic viscosity, rheological indicators.

JEL Classification: O 31

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2026-45-07>

Постановка проблеми. В м'ясопереробній галузі для забезпечення стабільної якості варених ковбасних виробів широко використовуються текстуро формуючі харчові добавки та ферментні препарати, які при можливому відхиленні якості сировини, дозволяють стабілізувати функціонально-технологічні і реологічні показники стандартизованої продукції [1, 2, 3].

В якості стабілізаторів використовуються гідроколоїди (рослинні волокна, камеді, похідні целюлози) [4, 5, 7], тваринні і рослинні білковмісні інгредієнти [6, 8, 9, 13].

При цьому полісахариди рослинного і мікробіологічного походження, завдяки своїй здатності підвищувати після нагрівання здатність зв'язувати вологу і змінювати в'язкісні характеристик систем комбінованого складу, можуть стабілізувати реологічні і функціональні показники фаршевих емульсій [9, 10].

До таких інгредієнтів належать крохмалі та харчові волокна, які виконують функцію стабілізації білково-жирових емульсій [11, 12, 23].

Крім гідроколоїдів в складу стабілізаторів використовуються білки тваринного і рослинного походження, які виконують частіше гелеутворюючу та емульгуючу функцію [13, 14, 19].

З метою більш раціонального використання супутніх продуктів переробки молока і м'яса, для моделювання харчових, з використанням білкової сировини, часто використовуються тваринний білок колаген [16, 17] та суха демінералізована молочна сироватка [9, 22]. Їх використання в складі

текстуроформуючих харчових композицій, не тільки забезпечує можливість балансування якісного білкового складу рецептур ковбасних виробів, а й, завдяки синергізму з гідроколоїдами, дозволяє ефективно стабілізувати функціональні та реологічні характеристики фаршевих емульсій [13, 9].

Тому пошук варіаційних комбінацій рецептур таких технологічних сумішей дозволяє підвищити рентабельність виробництва продукції в м'ясопереробній галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В якості можливих модифікаторів реологічних показників та підвищення синергії у взаємодії з харчовими компонентами композиційних сумішей можуть бути використані нанокоспозити [9, 23] та різного роду ензими тваринного і мікробіологічного походження [15, 20].

Підбір ефективних модифікаторів реологічних характеристик може бути реалізованим завдяки формуванню структурних та технологічних характеристик під впливом ферментативних процесів, які залежать від часу впливу ферментних препаратів та їх концентрації [14].

Одним з таких модифікаторів, для регуляції текстури продуктів, можуть бути трансферази, зокрема транскляутаминаза, яка завдяки взаємодії з просторовою структурою білків і гідроколоїдів здатна утворювати щільну тривимірну структуру [10, 18]. При цьому ефективність її утворення потребує часової експозиції та залежить від активності ферментного препарату, його концентрації в складі системи [6].

Рядом авторів вивчалась можливість комбінування трансглютамінази з білками плазми крові свиней, результати яких підтвердили можливість підвищення функціонально-технологічних показників та мінімізації втрат ковбасних виробів. Було визначено, що поєднання трансглютамінази з тваринними білками підвищує стійкість колоїдної системи до нагрівання [15, 21].

Тому наявність трансглютамінази в складі функціональних композицій може сприяти утворенню високомолекулярних білкових комплексів актину та міозину, що покращує реологічні властивості продукту [6, 20].

Поєднання білків, гідроколоїдів полісахаридів та ферментативних препаратів [20, 23] дозволяє інтенсифікувати технологічний ефект на сировину та нівелювати можливість негативного впливу [20, 23].

Постановка завдання. В процесі досліджень було поставлено завдання визначити можливість впливу використання стандартизованої за ферментативною активністю трансглютамінази (активність 100-120 одиниць) на реологічні показники модельних харчових сумішей в складі яких використовувались крохмаль картопляний, ксантанова камедь (E415), карбоксиметил целюлоза (E466), камедь конжаку (E425), діоксид кремнію (E551), а також суха демінералізована

молочна сироватка. Склад рецептур модельних композицій представлено в табл. 1 та табл. 2.

При моделюванні сумішей варіаційно змінювали співвідношення крохмальної картопляної та сухої демінералізованої сироватки.

В таблиці 2 наведено рецептури композиційних сумішей в яких, співвідносно вмісту картопляної крохмалю вносились трансглютаміназа.

Отримані дослідні зразки сумішей, за варіантами гідратували дистильованою водою з температурою 20-24°C, для отримання 1 і 2 % розчинів та витримували 2 і 12 годин, для отримання однорідності структури.

Для виявлення впливу нагрівання на стабільність реологічних показників гідратовані розчини, після 12 годин стабілізації, піддавали нагріванню на водяній бані до температури 73°C та охолоджували до кімнатної температури.

Для отриманих розчинів було відмічено відсутність здатності до гелеутворення, тому у підготовлених дослідних зразках для 1 і 2 % розчинів модельних сумішей з і без трансглютаміназою визначали динамічну в'язкість на віскозиметрі (Брукфільду DV-II+PRO, США), який призначений для вимірювання в'язкості рідин за умов зсуву.

Візуалізація вимірювання динамічної в'язкості на віскозиметрі Брукфільду DV-II+PRO представлено на рисунку 1.

Таблиця 1

Рецептурний склад модельних сумішей текстуроформуючих композицій

Сировина	Кількісний вміст за варіантами, %			
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Крохмаль картопляний екстра (vimal)	38,0	33,0	28,0	23,0
Сироватка суха демінералізована	25,0	30,0	35,0	40,0
E415 (ксантан)	18,0	18,0	18,0	18,0
Фермент трансглютаміназа (активність 100–120)	0,0	0,0	0,0	0,0
E466 (карбоксиметил-целюлоза)	13,0	13,0	13,0	13,0
E551 (Діоксид кремнію)	5,0	5,0	5,0	5,0
E425 (камідь конжаку)	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблиця 2

Рецептурний склад модельних сумішей текстуроформуючих композицій з трансглютаміназою

Сировина	Кількісний вміст за варіантами, %			
	Варіант 5	Варіант 6	Варіант 7	Варіант 8
Крохмаль картопляний екстра (vimal)	38,0	33,0	28,0	23,0
Сироватка суха демінералізована	20,0	20,0	20,0	20,0
E415 (ксантан)	18,0	18,0	18,0	18,0
Фермент трансглютаміназа (активність 100–120)	5,0	10,0	15,0	20,0
E466 (карбоксиметил-целюлоза)	13,0	13,0	13,0	13,0
E551 (Діоксид кремнію)	5,0	5,0	5,0	5,0
E425 (камідь конжаку)	1,0	1,0	1,0	1,0



Рис. 1 Приклад робочого вимірювання на віскозиметрі DV-III+PRO



Рис. 2. Візуалізація модельних гідратованих сумішей

Виклад основного матеріалу дослідження.

Як видно з рисунку 2 дослідні зразки розчинів композицій, після виготовлення, мали достатньо густу однорідну структуру.

В таблиці 3 представлено дані визначених показників динамічної в'язкості дослідних зразків без внесення трасглутамінази, а в табл. 4 з внесенням трасглутамінази до складу рецептурних композицій.

Аналіз значень динамічної в'язкості зразків без трасглутамінази (табл. 3) засвідчує, що при збільшенні частки крохмалю в рецептурі композиційної суміші, для досягнення високих

стабільних значень динамічної в'язкості, кращі результати спостерігаються при 12 годинах витримки гідратованих композицій, що можна пояснити утворенням в часі більш стабільної колоїдної матриці.

При цьому відносно збільшення значень динамічної в'язкості, для розчинів без трасглутамінази, порівняно із розчинами без нагрівання до 73°C, досягається в межах 125,2–134,7 %, з найбільшим відносним збільшенням динамічної в'язкості від вмісту крохмалю для зразків № 3 та № 4. Це на наш погляд пов'язано з синергізмом взаємодії картопляного крохмалю та демінералізованої молочної сироватки, яка представлена, більшою частиною, термостійкими альбуміновими білками.

Таблиця 3

Показники динамічної в'язкості дослідних зразків гідратованих сумішей без трасглутамінази

№ варіант	Значення динамічної в'язкості в системі Cps, 10 ⁻³ Па*с				
	Одновідсоткові розчини		Двовідсоткові розчини		
	Через 2 год	Через 12 год	Через 2 год	Через 12 год	Через 12 год, після нагріву
1	984	940	1946	2300	3080
2	986	925	1932	2280	2855
3	984	890	1946	2120	2750
4	986	859	1932	1960	2640

Таблиця 4

Показники динамічної в'язкості дослідних зразків гідратованих сумішей з трасглутаміназою

№ варіант	Значення динамічної в'язкості в системі Cps, 10 ⁻³ Па*с				
	Одновідсоткові розчини		Двовідсоткові розчини		
	Через 2 год	Через 12 год	Через 2 год	Через 12 год	Через 12 год, після нагріву
5	1020	924	1838	2330	3225
6	922	874	1799	2230	3080
7	910	868	1786	2125	2880
8	894	792	1574	1855	2675

Аналіз даних табл. 4 показників динамічної в'язкості, для модельних прогрітих розчинів композиційних сумішей з трансглутаміназою, в порівнянні з даними табл. 3, вказує на підвищення значення динамічної в'язкості, при тих же відсотках картопляного крохмалю в рецептура на 1,3–7,8 %. При цьому відмічено, що відносно збільшення значень динамічної в'язкості розчинів з трансглутаміназою, порівняно із цими ж розчинами без нагрівання до 73°C, дозволяє досягти збільшення значень динамічної в'язкості на 135,5–144,2 %.

З урахуванням передбаченого використання композиційної суміші з трансглутаміназою для стабілізації реологічних показників варених ковбасних виробів, така стабільність, при нагріванні, показників динамічної в'язкості всіх композицій з трансглутаміназою дозволяє рекомендувати розроблені композиції харчових сумішей № 5, № 6, № 7, та № 8 для виробництва варених ковбасних виробів.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.

В процесі порівняння показників динамічної в'язкості композиційних сумішей гідроколоїдів з демінералізованою молочною сироваткою та трансглутаміназою підтверджено їх термостабільність для забезпечення необхідних показників динамічної в'язкості.

Визначено, що розроблені композиції з трансглутаміназою дозволяють, в процесів нагріву, характерному для виробництва варених ковбасних виробів досягати стабільного підвищення значень динамічної в'язкості дисперсних систем.

Подальші дослідження будуть направлені на обґрунтування рецептурного складу та технології варених ковбасних виробів з розробленими текстуроформуючими композиціями з трансглутаміназою.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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>.
2. Nature-derived ingredients as sustainable alternatives for tenderizing meat and meat products: An updated review / E. G. Anaduaka et al. *Food Biotechnology*. 2023. Vol. 37, no. 2. P. 136–165. URL: <https://doi.org/10.1080/08905436.2023.2201354>.
3. Function of Different Emulsifiers in Spreadable Meat Emulsions: A Systematic Study of Physi-

cal Properties / M. Baechle et al. *Food Biophysics*. 2025. Vol. 20, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1007/s11483-025-09941-2>.

4. Dietary fibres in processed meat: A review on nutritional enhancement, technological effects, sensory implications and consumer perception / M.-M. Ciobanu et al. *Foods*. 2025. Vol. 14, no. 9. P. 1459. URL: <https://doi.org/10.3390/foods14091459>.

5. Fadeyibi A. Modeling rheological behavior of beef based on time-dependent deformation and packaging. *Gazi University Journal of Science*. 2021. URL: <https://doi.org/10.35378/gujs.742087>.

6. Underlying the interactions in myofibrillar proteins and κ -carrageenan mixed sols as mediated by microbial transglutaminase based on conformational alterations, rheological behavior and molecular docking / Y. Feng та ін. *Food Hydrocolloids*. 2025. С. 111253. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111253>.

7. Comprehensive review of carrageenan's multifaceted role in health and food systems / G. Kalsi et al. *Discover Food*. 2025. Vol. 5, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00405-7>.

8. Influence of functional food composition on the properties of meat mince systems / I. Strashynskiy et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6, no. 11 (84). P. 53–58. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86957>.

9. Development of combined protein-fat emulsions for sausage and semifinished products with poultry meat / V. Pasichniy et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 1, no. 6 (73). P. 32–38. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36232>.

10. Influence of soybean dietary fiber with varying particle sizes and transglutaminase on soy protein isolate gel / Y. Lv et al. *Food Research International*. 2022. Vol. 161. P. 111876. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111876>.

11. Montes L., Rosell C. M., Moreira R. Rheological properties of corn starch gels with the addition of hydroxypropyl methylcellulose of different viscosities. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.866789>.

12. Effects of pre-gelatinized whole Pueraria powder on the properties of duck meat sausages: Insights into gelatinization and molecular interactions / J. Shao et al. *Food Chemistry*. 2025. P. 146020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146020>.

13. Rudiuk V., Pasichnyi V. Assessment of function-technological and rheological parameters of consistency stabilisers for dairy protein-fat systems for the production of semi-smoked sausages. *Technology audit and production reserves*. 2023. Vol. 3, no. 3 (71). P. 41–45. URL: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.283465>.

14. Biotransformation of collagen-containing meat materials into valuable product / O. Topchii et al. *Bioconversion of waste to value-added products* / ed. by O. Stabnikova et al. Boca Raton, London, New York, 2023. P. 37–68. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003329671-2>.

15. Effect of transglutaminase on quality characteristics of two-structure cooked/smoked sausage / I. Shevchenko et al. *Ukrainian Food Journal*. 2025. Vol. 14, no. 4. P. 698–712. URL: <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2025-14-4-8>.

16. Encapsulation of lutein in gelatin type A/B-chitosan systems via tunable chains and bonds from tweens: Thermal stability, rheologic property and food 2D/3D printability / H. Wang et al. *Food Research International*. 2023. Vol. 173. P. 113392. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113392>.

17. Вплив білоквмісних композицій на основі колагену на якість ковбасних виробів / А. І. Українець та ін. *Харчова наука і технологія*. 2016. № 3. С. 50–55. URL: <https://doi.org/10.15673/fst.v10i3.181>.

18. Tetrasodium pyrophosphate promotes light meromyosin crosslinking by microbial transglutaminase / Q. Wang et al. *Food Chemistry*. 2020. P. 128910. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128910>.

19. Agar-based composite emulsion gel as a pork fat substitute in sausages: Understanding meat batter stabilization mechanisms based on fat sources / M. Woo et al. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 318. P. 144851. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144851>.

20. Гармаш Д., Пасічний В. Вплив режимів термічної обробки на характеристики продуктів із м'яса птиці з використанням цільової ферментації. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2021. № 3 (5). С. 40–44. URL: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.01.06>.

21. Effects of ultrasound-assisted extraction and transglutaminase treatment on the physicochemical properties of protein from *Stropharia rugosoannulata* / L. Yang et al. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025. Vol. 122. P. 107637. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107637>.

22. Youssef M. K., Barbut S. Effects of two types of soy protein isolates, native and preheated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels. *Meat Science*. 2011. Vol. 87, no. 1. P. 54–60. URL: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.09.002>.

23. Effect of carboxymethyl cellulose (CMC) on some physico-chemical and mechanical properties of unrinsed surimi gels / C. Zhang et al. *Lwt*. 2023. P. 114653. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114653>.

REFERENCES

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

2. Anaduaka, E. G., Chibuogwu, C. C., Ezugwu, A. L., & Ezeorba, T. P. C. (2023). Nature-derived ingredients as sustainable alternatives for tenderizing meat and meat products: An updated review. *Food Biotechnology*, 37 (2), 136–165. <https://doi.org/10.1080/08905436.2023.2201354>

3. Baechle, M., Via, M. A., Clausen, M. P., & Vilgis, T. A. (2025). Function of Different Emulsifiers in Spreadable Meat Emulsions: A Systematic Study of Physical Properties. *Food Biophysics*, 20 (2). <https://doi.org/10.1007/s11483-025-09941-2>

4. Ciobanu, M.-M., Manoliu, D.-R., Ciobotaru, M. C., Flocea, E.-I., & Boișteanu, P.-C. (2025). Dietary fibres in processed meat: A review on nutritional enhancement, technological effects, sensory implications and consumer perception. *Foods*, 14 (9), 1459. <https://doi.org/10.3390/foods14091459>

5. Fadeyibi, A. (2021). Modeling rheological behavior of beef based on time-dependent deformation and packaging. *Gazi University Journal of Science*. <https://doi.org/10.35378/gujs.742087>

6. Feng, Y., Li, X., Zhao, Z., Kong, B., Cao, C., Sun, F., Liu, Q., & Huang, X. (2025). Underlying the interactions in myofibrillar proteins and κ-carrageenan mixed sols as mediated by microbial transglutaminase based on conformational alterations, rheological behavior and molecular docking. *Food Hydrocolloids*, 111253. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111253>

7. Kalsi, G., Hazarika, U., Baruah, L. D., Bordoloi, P. L., & Gogoi, M. (2025). Comprehensive review of carrageenan's multifaceted role in health and food systems. *Discover Food*, 5 (1). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00405-7>

8. Strashynskiy, I., Fursik, O., Pasichniy, V., Marynin, A., & Goncharov, G. (2016). Influence of functional food composition on the properties of meat mince systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (11 (84)), 53–58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86957>

9. Pasichniy, V., Marynin, A., Moroz, E., & Geredchuk, A. (2015). Development of combined protein-fat emulsions for sausage and semifinished products with poultry meat. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (73)), 32–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36232>

10. Lv, Y., Tang, T., Xu, L., Wang, J., Su, Y., Li, J., Gu, L., Zhang, M., Yang, Y., & Chang, C. (2022). Influence of soybean dietary fiber with varying particle sizes and transglutaminase on soy protein

- isolate gel. *Food Research International*, 161, 111876. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111876>
11. Montes, L., Rosell, C. M., & Moreira, R. (2022). Rheological properties of corn starch gels with the addition of hydroxypropyl methylcellulose of different viscosities. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.866789>
12. Shao, J., Zhang, C., Ai, Y., Wang, H., Han, Y., & Hou, W. (2025). Effects of pre-gelatinized whole Pueraria powder on the properties of duck meat sausages: Insights into gelatinization and molecular interactions. *Food Chemistry*, 146020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146020>
13. Rudiuk, V., & Pasichnyi, V. (2023). Assessment of function-technological and rheological parameters of consistency stabilisers for dairy protein-fat systems for the production of semi-smoked sausages. *Technology audit and production reserves*, 3 (3(71)), 41–45. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.283465>
14. Topchii O., Pasichniy V., Marynin A., Stabnikova O. (2023). Biotransformation of collagen-containing meat materials into valuable product. In: O. Stabnikova, O. Shevchenko, V. Stabnikov, O. Paredes-López (Eds.), *Bioconversion of waste to value-added products*, pp. 37–68. CRC Press, Boca Raton, London, New York, <https://doi.org/10.1201/9781003329671-2>
15. Shevchenko, I., Haschuk, O., Moskaliuk, O., & Kharchenko, Ye. (2025). Effect of transglutaminase on quality characteristics of two-structure cooked/smoked sausage. *Ukrainian Food Journal*, 14 (4), 698–712. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2025-14-4-8>
16. Wang, H., Lin, X., Zhu, J., Yang, Y., Qiao, S., Jiao, B., Ma, L., & Zhang, Y. (2023). Encapsulation of lutein in gelatin type A/B-chitosan systems via tunable chains and bonds from tweens: Thermal stability, rheologic property and food 2D/3D printability. *Food Research International*, 173, 113392. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113392>
17. Ukrainets, A., Pasichniy, V., Zheludenko, Y., & Polumbryk, M. (2016). Impact of protein composition with collagen on boiled sausages quality. *Food Science and Technology*, 10 (3), 50–55. <https://doi.org/10.15673/fst.v10i3.181>
18. Wang, Q., Sun, Y., Shao, J., Lv, B., Yu, Z., Zhao, S., & Li, C. (2020). Tetrasodium pyrophosphate promotes light meromyosin crosslinking by microbial transglutaminase. *Food Chemistry*, 128910. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128910>
19. Woo, M., Jo, K., Kim, S., Han, S., Choi, Y.-S., Kang, T., Jung, S., & Lee, S. (2025). Agar-based composite emulsion gel as a pork fat substitute in sausages: Understanding meat batter stabilization mechanisms based on fat sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 318, 144851. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144851>
20. Garmash, D., & Pasichnyi, V. (2021). The influence of heat treatment regimes on the characteristics of poultry meat products using targeted fermentation. *Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: New solutions in modern technologies*, (3 (5)), 40–44. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.01.06>
21. Yang, L., Yang, L., Feng, X., Xiao, Y., Tian, X., Huang, W., & Liu, Y. (2025). Effects of ultrasound-assisted extraction and transglutaminase treatment on the physicochemical properties of protein from *Stropharia rugosoannulata*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 122, 107637. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107637>
22. Youssef, M. K., & Barbut, S. (2011). Effects of two types of soy protein isolates, native and pre-heated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels. *Meat Science*, 87 (1), 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.09.002>
23. Zhang, C., He, Y., Zheng, Y., Ai, C., Cao, H., Xiao, J., El-Seedi, H., Chen, L., & Teng, H. (2023). Effect of carboxymethyl cellulose (CMC) on some physico-chemical and mechanical properties of unrinsed surimi gels. *Lwt*, 114653. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114653>

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0) 

Дата першого надходження статті до видання: 18.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.05.2026