

В.М. Пасічний, Х.В. Чебаненко, Є.А. Шубіна
Національний університет харчових технологій

ВПЛИВ РОСЛИННИХ БІЛКІВ ТА ІНКАПСУЛЬОВАНОГО ЙОДУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ НАПІВФАБРИКАТІВ ПІД ВПЛИВОМ ТЕМПЕРАТУР

У статті розглянуто актуальність створення функціональних м'ясних напівфабрикатів із підвищеною харчовою цінністю завдяки поєднанню тваринного білка, протеїну з насіння конопель та комплексу β -циклодекстрину з йодом. Проведено аналіз літературних джерел, який підтвердив стабільний попит на напівфабрикати та розвиток напрямків удосконалення їх рецептур за рахунок комбінування сировини різного походження. Метою дослідження було визначення впливу запропонованого поєднання інгредієнтів на функціонально-технологічні показники продуктів під час низько- та високотемпературної обробки, що може вказувати на їх стійкість під час зберігання. Розроблено рецептури фрикадельок із використанням свинини, яловичини, білого та червоного м'яса курчат-бройлерів та рослинного білка у поєднанні з інкапсульованим йодом. Проведено фізико-хімічну та технологічну оцінку зразків, включно з визначенням вмісту вологи, вологозв'язуючої здатності, емульгуючої здатності та виходу продукту. Встановлено, що протеїн з насіння конопель у поєднанні з комплексом β -циклодекстрину з йодом забезпечує стабільність утворення емульсії, покращує вологозв'язування продукту та позитивно впливає на сенсорні характеристики, стабілізує ці показники під час циклів заморожування-розморожування і доведення продукту до кулінарної готовності. Результати дослідження показали, що запропоноване поєднання забезпечує високу стабільність функціонально-технологічних показників, оптимальні органолептичні властивості, збалансований вміст вологи та жиру, а також підвищену харчову цінність напівфабрикатів. Найбільшу стабільність спостерігали у рецептурі на основі свинини. Проведені роботи підтверджують перспективність створення м'ясних напівфабрикатів із рослинним білком та інкапсульованим йодом, що поєднують високі технологічні показники, функціональну цінність та стабільність під час зберігання і можуть бути рекомендовані для використання у сучасних раціонах споживачів із підвищеними вимогами до якості харчових продуктів. Врахування отриманих даних дозволяє розробляти інноваційні рецептури напівфабрикатів, які відповідають сучасним тенденціям здорового та функціонального харчування, а також сприяють оптимізації технологічних процесів у харчовій промисловості.

Ключові слова: β -циклодекстрин; протеїн з насіння конопель; заморожування; функціонально-технологічні показники; термічна обробка; м'ясні напівфабрикати.

Постановка проблеми та актуальність. З огляду на тенденцію до мінімізації витрат часу на приготування їжі, зростає зацікавлення споживачів у продуктах швидкого приготування [12, с. 2]. Однак, збільшення частки напівфабрикатів в щоденному раціоні людини і призводить до дисбалансу нутрієнтів.

Світовою практикою у вирішенні цього питання, стало комбінування сировини різного походження у складі м'ясних продуктів. Використання сировини тваринного і рослинного походження дозволяє отримати продукти з високими технологічними та функціональними показниками [6, с. 2; 8, с. 4]. Розробка м'ясних напівфабрикатів з використанням рослинної білкової сировини та комплексом β -циклодекстрину з йодом дозволяє отримати продукти з високою поживною цінністю. Важливим для отримання продукту високої якості є стабільні високі технологічні показники, безпосередній вплив на які має правильне поєднання інгредієнтів у складі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як вказує у своїй роботі Свистун Т. В., ринок напівфабрикатів характеризується стійким високим попитом, що робить раціональним удосконалення саме цієї групи продуктів [15, с. 20].

Згідно з твердженнями В. Р. Mohanty, А. Mahanty, S. Ganguly, Т. Mitra, D. Karunakaran, R. Anandan та U. Drachuk, I. Simonova, B. Halukh, I. Basarab, I. Romashko методи розробки новітніх рецептур ґрунтуються на поєднанні визначених видів сировини у співвідношенні, що здатні забезпечувати оптимальні органолептичні, технологічні та реологічні показники [5, с. 5; 10, с. 47]. Актуальним напрямком сучасних технологій є поєднання м'ясної, рослинної сировини та різних харчових добавок, зокрема біоресурсів регіонального походження.

Як зазначили дослідники О. Topchii, Ye. Kotliar, Т. Noncharenko, А. Petryna, О. Tarasiuk рослинні білки мають високий потенціал, як сировина, що покращує функціонально технологічні показники, зокрема, утворення пін, гелів та емульсій. Насіння олієвмісних культур покращує волого- та жирутримання, та має позитивний вплив на сенсорні характеристики розроблених виробів [13, с. 80–84].

На території України промислові коноплі набувають швидкого поширення, як сировина для створення альтернативних харчових продуктів. Перспективність цієї групи продукту характеризується, зокрема за рахунок доведеної гіпоалергенності як описують G. Mamone,

G. Picariello, A. Ramondo, M.A. Nicolai, P. Ferranti [7, с. 570]. Насіння конопель характеризується високим вмістом білка на рівні 25 %, що містить всі незамінні амінокислоти, як зазначили у воїй роботі Н.А. Сова, М.В. Луценко, В.Г. Єфімов, С.М. Кургалін [16, с. 210]. У дослідженнях Y. Feng, D. Yu, T. Lin, Q. Jin, J. Wu, C. Chen, H. Huang визначено, що протеїн з насіння конопель є високофункціональним емульгатором, що здатен утворювати стабільний під час зберігання білково-пектиновий комплекс [1, с. 3140]. V. Pasichnyi, A. Marynin, O. Stabnikova, Ye. Shubina, R. Svyatnenko визначили, що у складі м'ясних продуктів протеїн та борошно насіння конопель збільшують стабільність вологовмісту у процесі циклу заморожування-розморожування, що є важливим при розробці групи напівфабрикатів [2, с. 69–77].

Циклодекстрини є олігосахаридами, що отримуються шляхом ферментативного розщеплення амілози та характеризуються відносно невисокою вартістю й високою доступністю. У харчовій і хімічній галузях їх активно застосовують завдяки здатності утворювати включені комплекси. Дослідження J. Zhang, P. та X. Ма показують, що β-циклодекстрини формують більш стабільний комплекс з йодом, ніж α-циклодекстрини, що сприяє підвищенню його розчинності у воді [14, с. 1217].

Як визначають J. Moini, K. Pereira, M. Samsam йод є одним із ключових мікроелементів, який суттєво впливає на нормальний ріст і розвиток людського організму, а споживання йодовмісних продуктів допомагає зменшити прояви йодного дефіциту [4, с. 68]. За результатами проведених робіт авторами S.M. O'Kane, M.S. Mulhern, L.K. Pourshahidi, J.J. Strain, A.J. Yeates та M. Polumbryk, V. Kravchenko, V. Pasichnyi, Ch. Omelchenko, I. Pachitskaya встановлено, що збагачення продуктів комплексом циклодекстрину з йодом сприяє покращенню йодного статусу добровольців [3, с. 6–7; 9, с. 162].

Ефективність та перспективність використання комплексу β-циклодекстрину з йодом у м'ясних продуктах підтверджена дослідниками В.М. Пасічний, А.І. Українець, Х.В. Чебаненко, І.С. Камлай, однак, даний комплекс є термочутливим і плавиться при

температурі 72 °С, і в подальшому розкладається при температурі 185 °С [11, с. 48]. З огляду на це використання у напівфабрикатах викликає ряд питань пов'язаних з дією як високих температур так і низьких. В розрізі виробництва даної групи продуктів постає питання зміни функціонально-технологічних показників при низьких і високих температурах.

Метою дослідження є визначення впливу подання протеїну з насіння конопель та комплексом β-циклодекстрину з йодом на функціонально-технологічні показники напівфабрикатів, що піддаються різним типам температурної обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. За результатами проведеного літературного пошуку для удосконалення було обрано напівфабрикати, а саме фрикадельки. З огляду на необхідність визначення оптимального складу дослідного продукту було обрано основну сировину, а саме яловичину, свинину, біле та червоне м'ясо курчат-бройлерів. Внесення протеїну з насіння конопель у розроблені напівфабрикати обрано у кількості 20 %, комплексу β-циклодекстрину з йодом – 0,0005 %.

Згідно з поставленими задачами досліджень було сформовано контрольну рецептуру та чотири дослідні. Рецептури представлені у таблиці 1.

Під час досліджень було виготовлено п'ять дослідних рецептур, з яких контрольний зразок, у склад якого входило свинина та яловичина у співвідношенні 50:50, та чотири дослідні, де варіювалась основна сировина та внесення протеїну з насіння конопель та комплекс β-циклодекстрину з йодом. Заморожування отриманих напівфабрикатів проводили методом шокового заморожування при мінус 35 °С до мінус 18 °С в товщі продукту.

З метою оцінки змін, що викликає вплив високих і низьких температур на показники продукту, дослідження проводили у напівфабрикатах до заморожування, після розморожування та після приготування.

Вміст вологи виступає основним фактором у формуванні якісних характеристик напівфабрикатів, що піддаються заморожуванню. Результати досліджень представлені на рисунку 1.

Таблиця 1 – Рецептурний склад напівфабрикатів

Сировина	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Яловичина 1-го сорту, %	47	37	–	–	–
Свинина напівжирна, %	47	37	74	–	–
Червоне м'ясо курчат-бройлерів, %	–	–	–	74	–
Біле м'ясо курчат-бройлерів, %	–	–	–	–	74
Протеїн з насіння конопель, гідратований 1:2 з водою, %	–	20	20	20	20
Цибуля ріпчаста, %	6	6	6	6	6
Спеції на 100 г фаршу					
Сіль кухонна, %	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Комплекс β-циклодекстрину з йодом	–	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Перець чорний, %	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Джерело: сформовано авторами

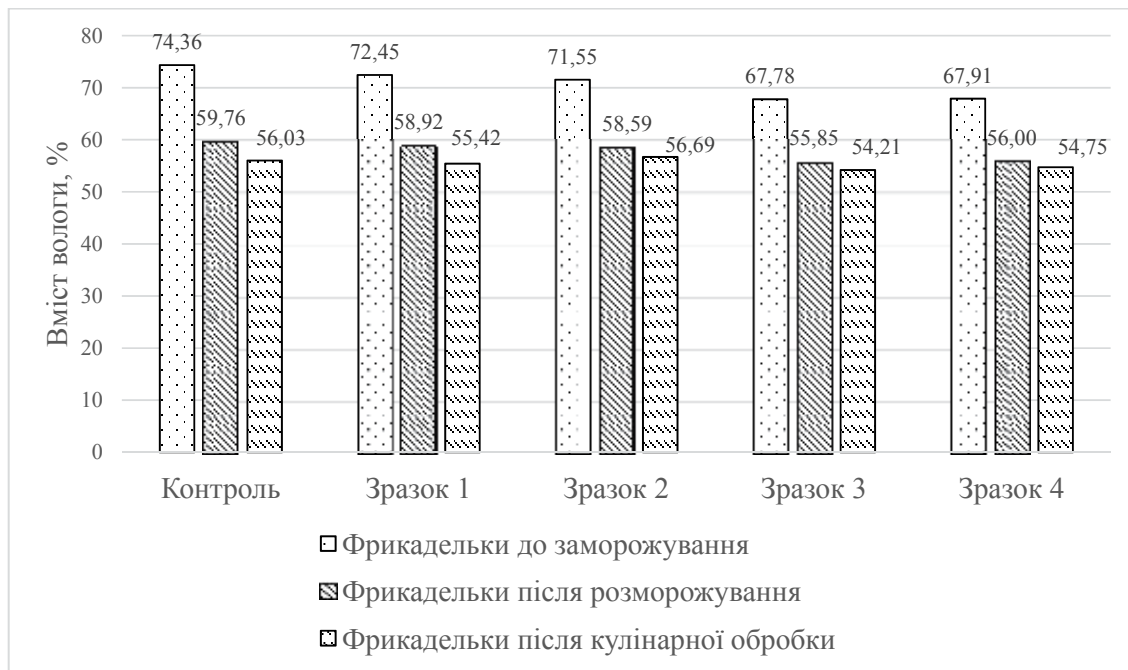


Рисунок 1 – Вміст вологи у досліджуваних зразках

Джерело: сформовано авторами

З отриманих даних контрольний зразок після циклу заморожування-розморожування найбільше втратив вологовміст на рівні 5,08 %, незважаючи на те, що він був найбільшим серед розроблених зразків. Серед модельних зразків з використанням протеїну насіння конопель та інкапсульованим йодом, використання білого м'яса курчат-бройлерів у зразку № 4 та свинини зразку номер 2 не значно знижує витрати втрати до 4–4,83 %. Зразок № 3 з червоним м'ясом курчат-бройлерів має найнижчі втрати серед дослідних зразків – до 0,5 %. Після термічної обробки зниження вмісту вологи спостерігається в усіх зразках, однак поєднання м'яса курчат бройлерів, протеїну з насіння конопель та β-циклодекстрину з йодом дозволяє знизити їх та стабілізувати на рівні 54,21 % – 54,75 %.

Використання нових інгредієнтів у складі м'ясних продуктів викликає зміни тільки у вологовмісту, але і ступені його зв'язності. Результати досліджень вологов'язуючої здатності представлені у таблиці 2.

Проведені дослідження вологов'язуючої здатності вказують на те, що зменшення частки м'ясної сировини

призводить до зниження ступеня зв'язування. Однак, зразки з додаванням протеїну та β-циклодекстрину з йодом мають значно нижчі втрати після заморожування продуктів, що доводить позитивний вплив на стабілізацію цього показника.

Проведені дослідження свідчать про ефективність комбінування рослинних білків та інкапсульованого йоду з метою стабілізації вологов'язувальної здатності після термічної обробки.

Утворення стабільної структури є важливою характеристикою для м'ясних продуктів. Визначення змін, що виникають при термічній обробці у системі білок-вода-жир є важливим завданням для отримання високої органолептичної оцінки м'ясних продуктів готових до вживання для збільшення їх виходу. Отримані результати визначення емульгуючої здатності у зразках до заморожування та після розморожування представлені на рисунку 2.

Дослідження емульгуючої здатності проводили у зразках фрикадельок до заморожування та після розморожування. В загальному, всі розроблені зразки

Таблиця 2 – Вологов'язуюча здатність дослідних зразків фрикадельок

Зразок	До заморожування		Після розморожування		Після доведення до кулінарної готовності	
	ВЗЗм	ВЗЗа	ВЗЗм	ВЗЗа	ВЗЗм	ВЗЗа
Контроль	71,42±0,10	94,25±0,03	68,01±0,02	98,55±0,05	65,76±0,08	95,15±0,06
Зразок 1	71,28±0,13	97,52±0,07	69,76±0,06	95,44±0,13	67,58±0,10	93,63±0,06
Зразок 2	70,55±0,09	98,67±0,11	69,23±0,07	94,38±0,13	68,30±0,04	92,92±0,05
Зразок 3	67,56±0,05	99,15±0,07	65,07±0,11	97,68±0,11	63,35±0,06	93,04±0,04
Зразок 4	64,17±0,05	95,03±0,04	63,65±0,05	96,73±0,09	61,14±0,02	92,37±0,01

Джерело: сформовано авторами

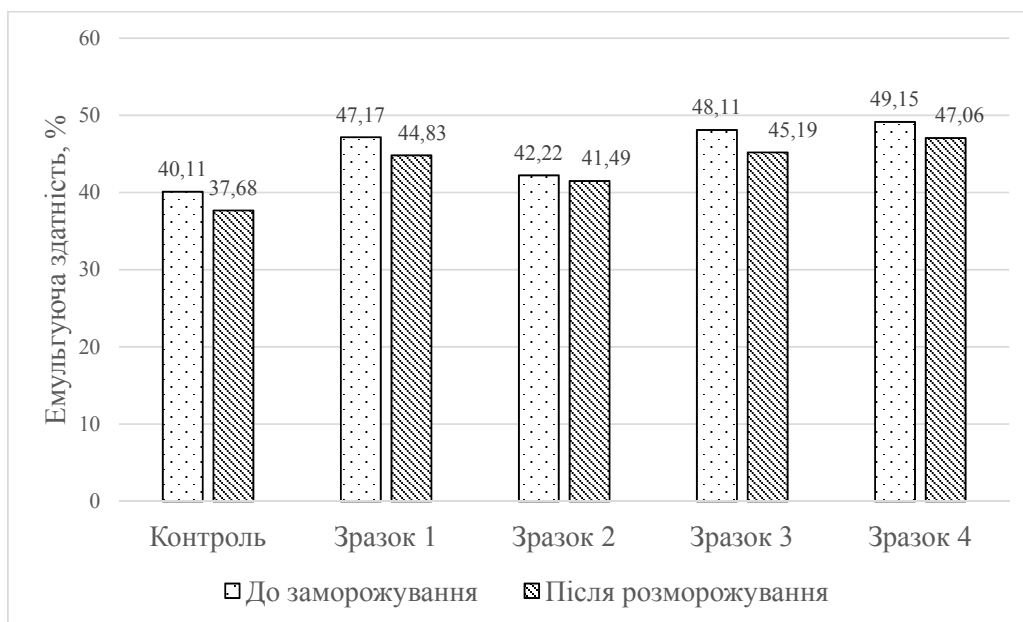


Рисунок 2 – Емульгуюча здатність розроблених фаршевих систем

Джерело: сформовано авторами

мають досить високі значення цього показника. Після проведення процесу заморожування дослідні зразки, в загальному, мали нижчі показники, що корелюється із загальним зниженням вологовмісту у продукті. Емульгуюча здатність зразків, що містили у своєму складі β -циклодекстрину з йодом та протеїн з насіння конопель була вища за контрольний зразок від 2,09 % до 2,92%.

Вплив нових компонентів у рецептурі харчових продуктів є важливим технологічним показником, що дозволяє оцінити стабільність розроблених м'ясних систем. Результати визначення виходу готового продукту представлено на рисунку 3.

З отриманих даних видно, що вихід готового продукту знаходиться на рівні від $94,25 \pm 0,04$ % до $87,41 \pm 0,02$ %, що є достатньо високим для даного виду

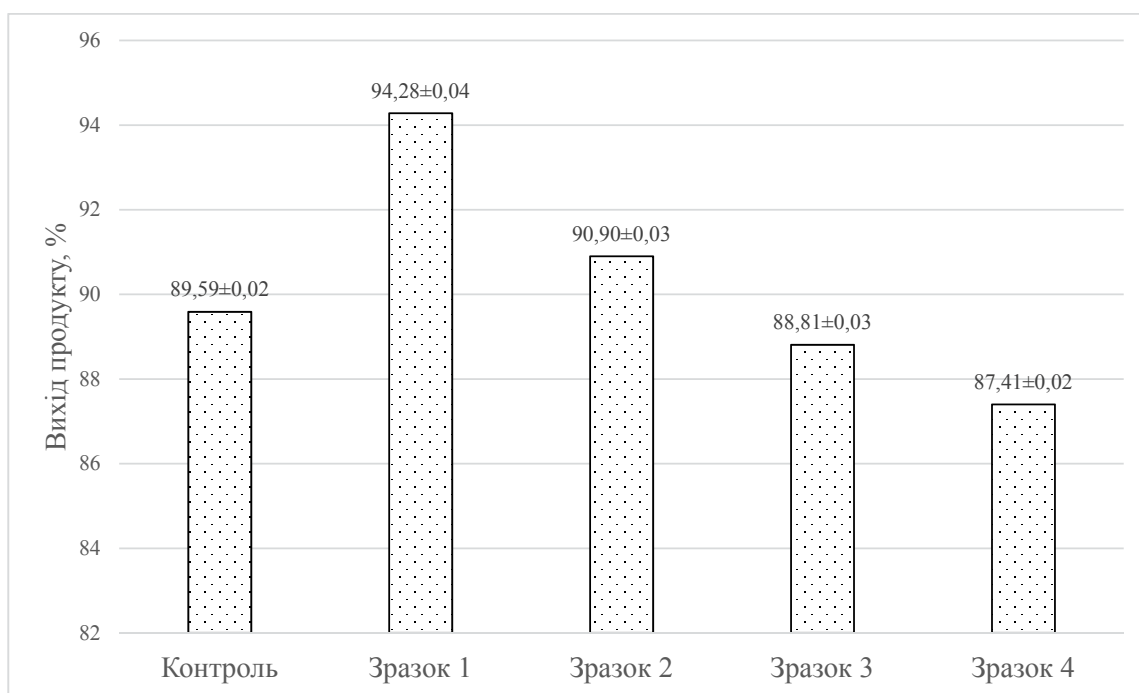


Рисунок 3 – Дослідні значення виходу продукту після доведення до стану кулінарної готовності

Джерело: сформовано авторами

продукту. Серед змодельованих рецептур найбільшим виходом володіли зразки з використанням свинини та яловичини. Як видно з отриманих дослідних даних, поєднання рослинної білоквмісної сировини та комплексу β -циклодекстрину з йодом найбільш ефективно виявляється у рецептурах з використанням свинини та яловичини, на відміну від м'яса курчат-бройлерів, де спостерігається зниження вологовмісту з подальшим зниженням функціонально-технологічних показників.

Висновки. В результаті проведеного дослідження визначено, що використання протеїну з насіння конопель з комплексом β -циклодекстрину з йодом має позитивний вплив на функціонально-технологічні показники заморожених напівфабрикатів. Встановлено,

що запропонований комплекс має кріопротекторні властивості та запобігає переходу вологовмісту у продуктів під час циклу заморожування-розморожування. Доведено, що інкапсульований йод в поєднанні з протеїном з насіння конопель дозволяє стабілізувати функціонально-технологічні показники фрикадельок після доведення до кулінарної готовності. Найбільшою стабільністю досліджуваних показників володіла рецептура, що містила у своєму складі м'ясо курчат бройлерів.

Отримані результати свідчать про можливість отримання м'ясних напівфабрикатів збагачених рослинним білком та йодом з високими технологічними показниками.

Список використаних джерел:

1. Complexing hemp seed protein with pectin for improved emulsion stability / Y. Feng et al. *Journal of Food Science*. 2021. Vol. 86. P. 3137–3147. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15810>
2. Functional and technological characteristics of semi-finished products with shell of dough / V. Pasichnyi et al. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2023. Vol. 11, no. 2. P. 65–80. DOI: <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2023-11-2-3>
3. Micronutrients, iodine status and concentrations of thyroid hormones: a systematic review / S. M. O'Kane et al. *Nutrition Reviews*. 2018. Vol. 76, no. 6. P. 418–431. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy008>
4. Moini J., Pereira K., Samsam M. *Epidemiology of Thyroid Disorders*. Amsterdam, The Netherlands : Elsevier, 2020. URL: <https://books.google.com.ua/books?hl=ru&lr=&id=7RXIDwAAQBAJ>
5. Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security / B. P. Mohanty et al. *Food Chemistry*. 2019. Vol. 293. P. 561–570. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.039>
6. Plant Proteins for Future Foods: A Roadmap / S. Y. J. Sim et al. *Foods*. 2021. Vol. 10, no. 8. P. 1967. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10081967>
7. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates / G. Mamone et al. *Food Research International*. 2019. Vol. 115. P. 562–571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.017>
8. The addition of golden flaxseed flour (*Linum usitatissimum* L.) in chicken burger: Effects on technological, sensory, and nutritional aspects / E. S. Cócara et al. *Food Science and Technology International*. 2019. Vol. 26, no. 2. P. 105–112. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013219871410>
9. The effect of intake of sausages fortified with β -CD-I2 complex on iodine status and thyroid function: A preliminary study / M. Polumbryk та ін. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2019. T. 51. C. 159–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.10.014>
10. The study of lentil flour as a raw material for production of semismoked sausages / U. Drachuk et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, no. 11 (96). P. 44–50. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148319>
11. The use of the β -cyclodextrin with iodine in technology of making meatballs and their functional characteristics / V. Pasichnyi та ін. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2020. T. 22, № 93. C. 45–49. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9308>
12. Ultra-processed foods: what they are and how to identify them / C. A. Monteiro et al. *Public Health Nutrition*. 2019. Vol. 22, no. 5. P. 936–941. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1368980018003762>
13. Use of oilseed polyfunctional supplements in the manufacture of meat products / O. Topchii et al. *Food Science and Technology*. 2019. Vol. 13, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1384>
14. Zhang J., Ma P. X. Cyclodextrin-based supramolecular systems for drug delivery: Recent progress and future perspective. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2013. Vol. 65, no. 9. P. 1215–1233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.05.001>
15. Свистун Т. В. Аналіз ринку заморожених напівфабрикатів України. *Food Industry Economics*. 2017. Т. 9, № 2. DOI: <https://doi.org/10.15673/fie.v9i2.639>
16. Характеристика сипких конопляних продуктів/ Н. Сова et al. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях* Characteristics of bulk hemp products . 2018. No. 45(1321). P. 207–213. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.29>

References:

1. Feng, Y., & others (2021). Complexing hemp seed protein with pectin for improved emulsion stability. *Journal of Food Science*, vol. 86, pp. 3137–3147. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15810>
2. Pasichnyi, V., & others (2023). Functional and technological characteristics of semi-finished products with shell of dough. *Ukrainian Journal of Food Science*, vol. 11, no. 2, pp. 65–80. DOI: <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2023-11-2-3>
3. O'Kane, S. M., & others (2018). Micronutrients, iodine status and concentrations of thyroid hormones: a systematic review. *Nutrition Reviews*, vol. 76, no. 6, pp. 418–431. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy008>
4. Moini, J., Pereira, K., & Samsam, M. (2020). *Epidemiology of Thyroid Disorders*. Elsevier. Available at: <https://books.google.com.ua/books?hl=ru&lr=&id=7RXIDwAAQBAJ>

5. Mohanty, B. P., & others (2019). Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security. *Food Chemistry*, vol. 293, pp. 561–570. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.039>
6. Sim, S. Y. J., & others (2021). Plant Proteins for Future Foods: A Roadmap. *Foods*, vol. 10, no. 8, 1967. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10081967>
7. Mamone, G., & others (2019). Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *Food Research International*, vol. 115, pp. 562–571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.017>
8. Cócáro, E. S., & others (2019). The addition of golden flaxseed flour (*Linum usitatissimum* L.) in chicken burger: Effects on technological, sensory, and nutritional aspects. *Food Science and Technology International*, vol. 26, no. 2, pp. 105–112. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013219871410>
9. Polumbryk, M., & others (2019). The effect of intake of sausages fortified with β -CD-I2 complex on iodine status and thyroid function: A preliminary study. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 51, pp. 159–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.10.014>
10. Drachuk, U., & others (2018). The study of lentil flour as a raw material for production of semi-smoked sausages. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, no. 11, pp. 44–50. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148319>
11. Pasichnyi, V., & others (2020). The use of the β -cyclodextrin with iodine in technology of making meatballs and their functional characteristics. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, vol. 22, no. 93, pp. 45–49. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9308>
12. Monteiro, C. A., & others (2019). Ultra-processed foods: what they are and how to identify them. *Public Health Nutrition*, vol. 22, no. 5, pp. 936–941. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1368980018003762>
13. Topchii, O., & others (2019). Use of oilseed polyfunctional supplements in the manufacture of meat products. *Food Science and Technology*, vol. 13, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1384>
14. Zhang, J., & Ma, P. X. (2013). Cyclodextrin-based supramolecular systems for drug delivery: Recent progress and future perspective. *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 65, no. 9, pp. 1215–1233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.05.001>
15. Svystun, T. V. (2017). Analysis of the frozen semi-finished products market in Ukraine [Analiz rynku zamorozhenykh napivfabrykativ v Ukraini]. *Food Industry Economics*, vol. 9, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.15673/fie.v9i2.639>
16. Sova, N., & others (2018). Kharakterystyka sypykhyh konoplianykh produktiv [Characteristics of bulk hemp products]. *Visnyk Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu "KhPI". Seriya: Novi rishennia u suchasnykh tekhnolohii*, vol. 45, no. 1321, pp. 207–213. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.29>

Vasyl Pasichnyi, Khrystyna Chebanenko, Yevheniia Shubina

National University of Food Technologies

INFLUENCE OF PLANT PROTEINS AND ENCAPSULATED IODINE ON FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF SEMI-FINISHED PRODUCTS UNDER THE INFLUENCE OF TEMPERATURES

The article examines the relevance of developing functional meat semi-finished products with enhanced nutritional value achieved through the combination of animal protein, hemp seed protein, and a β -cyclodextrin–iodine complex. A review of scientific literature confirmed the stable consumer demand for semi-finished products and the growing interest in improving their formulations by integrating raw materials of different origins. The aim of the study was to determine the effect of the proposed ingredient combination on the functional and technological properties of the products during low- and high-temperature treatments, which may indicate their stability during storage. Formulations for meatballs were developed using pork, beef, white and dark meat of broiler chickens, and plant protein combined with encapsulated iodine. Physicochemical and technological assessments of the samples were performed, including determination of moisture content, water-holding capacity, emulsifying capacity, and product yield. It was found that hemp seed protein in combination with the β -cyclodextrin–iodine complex ensures stable emulsion formation, improves water-binding properties, enhances sensory characteristics, and stabilizes these indicators during freeze-thaw cycles and subsequent thermal processing to final doneness. The results demonstrated that the proposed combination provides high stability of functional and technological parameters, optimal organoleptic properties, balanced moisture and fat content, and increased nutritional value of the semi-finished products. The highest stability was achieved in the pork-based formulation. The findings confirm the prospects of developing meat semi-finished products with plant protein and encapsulated iodine, which combine strong technological performance, functional value, and storage stability, and can be recommended for inclusion in modern diets of consumers with increased quality requirements. The obtained data support the development of innovative formulations that align with current trends in healthy and functional nutrition and contribute to the optimization of technological processes in the food industry.

Keywords: β -cyclodextrin; hemp seed protein; freezing; functional and technological indicators; heat treatment; semi-finished meat products.

Стаття надійшла: 07.11.2025

Стаття прийнята: 28.11.2025

Стаття опублікована: 17.12.2025