

УДК 637.5.04:664.9

ВПЛИВ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ СУХИХ КОВБАС НА ПОКАЗНИКИ ЇХ ЯКОСТІ

Батраченко О. В., д.т.н., професор, професор кафедри харчових технологій,
<https://orsid.org/0000-0001-8920-0743>

Тодоров М. А., аспірант кафедри харчових технологій,
<https://orsid.org/0009-0002-1488-4065>

Грабова І. О., магістрант кафедри харчових технологій,
<https://orsid.org/0009-0007-6993-3705>

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2026-26-25>

Надійшла 12.06.2026. Прийнята після рецензування 25.06.2026. Опублікована 30.06.2026

Ліцензія CC BY-NC-ND 4.0

Предмет. Досліджено вплив форми поперечного перерізу сухих ферментованих ковбас на показники якості, безпечності та стабільності продукту за умов зниженого вмісту кухонної солі й нітриту натрію. Розглянуто геометрію батона як інженерний чинник керування масопереносом вологи та формуванням активності води. **Мета.** Обґрунтовано доцільність використання модифікованої багатопелюсткової геометрії для інтенсифікації сушіння, підвищення рівномірності зневоднення та збереження якості сухих ковбас, орієнтованих на дітей і чутливі групи споживачів. **Методи.** Виготовлено контрольні зразки традиційної циліндричної форми та дослідні зразки з однаковою площею поперечного перерізу, але різною багатопелюстковою конфігурацією. Оцінено вміст вологи, рН, активність води, залишковий нітрит, вміст білка, жиру й золи, нітрозопігменти, стійкість забарвлення, мікробіологічні показники, кислотне та перекисне числа жиру під час зберігання. **Результати.** Встановлено, що зміна геометрії поперечного перерізу скорочує максимальний шлях видалення вологи, сприяє інтенсивнішому сушінню та забезпечує нижчі значення активності води. Найсприятливіші результати отримано для трипелюсткових зразків, які характеризувалися рівномірнішим зневодненням, нижчим залишковим вмістом нітриту, відсутністю БГКП, *Salmonella* spp. і сульфитредукувальних клостридій, а також повільнішим розвитком гідролітичного та перекисного окиснення жиру. Для окремої складної конфігурації виявлено ризик утворення зволоженої центральної зони. **Сфера застосування результатів.** Результати можуть бути використані для проєктування сухих ферментованих ковбас зі зниженим вмістом солі та нітриту в межах ризик-орієнтованого підходу і концепції safe-by-design.

Ключові слова: сухі ферментовані ковбаси, геометрія продукту, активність води, ризик-орієнтований підхід, safe-by-design, діти та чутливі групи споживачів

EFFECT OF CROSS-SECTIONAL GEOMETRY OF DRY SAUSAGES ON QUALITY PARAMETERS

Oleksandr Batrachenko, D-r of Sc., Engineering, Professor,
Professor of the Department of Food Technologies,
<https://orsid.org/0000-0001-8920-0743>

Mykola Todorov, Postgraduate Student of the Department of Food Technologies,
<https://orsid.org/0009-0002-1488-4065>

Iryna Hrabova, Master's Student of the Department of Food Technologies
<https://orsid.org/0009-0007-6993-3705>

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Subject. The effect of cross-sectional geometry of dry fermented sausages on quality, safety and storage stability under reduced sodium chloride and sodium nitrite content was studied. Product geometry was considered as an engineering factor controlling moisture transfer and water activity formation. **Purpose.** The feasibility of using modified multi-lobed geometry to intensify drying, improve dehydration uniformity and maintain the quality of dry sausages intended for children and sensitive consumer groups was justified.

Methods. Control samples of conventional cylindrical shape and experimental samples with identical cross-sectional area but different multi-lobed configurations were produced. Moisture content, pH, water activity, residual nitrite, protein, fat and ash content, nitroso pigments, color stability, microbiological indicators, acid value and peroxide value of fat during storage were determined. **Results.** It was established that changing the cross-sectional geometry reduced the maximum moisture removal path, promoted more intensive drying and provided lower water activity values. The most favorable results were obtained for three-lobed samples, which were characterized by more uniform dehydration, lower residual nitrite content, absence of coliform bacteria, *Salmonella* spp. and sulfite-reducing clostridia, as well as slower development of hydrolytic and peroxide fat oxidation. For one complex configuration, the formation of a more humid central zone was identified as a possible safety risk. **Scope of results.** The obtained results can be used for the design of dry fermented sausages with reduced salt and nitrite content within a risk-oriented approach and the safe-by-design concept. Product geometry may be applied as an additional structural barrier for improving safety and stability.

Key words: dry fermented sausages, cross-sectional geometry, water activity, residual nitrite, microbiological safety, oxidative stability, sensitive consumer groups

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку м'ясопереробної галузі особливої актуальності набуває завдання підвищення безпечності та стабільності якості сухих ковбасних виробів за одночасного зниження вмісту солі та нітритів. Це питання є критично важливим для продуктів, орієнтованих на дітей та молодь, які належать до сенситивних груп населення та потребують підвищених вимог до харчової безпеки.

Більшість наукових і прикладних досліджень у галузі виробництва сухих ферментованих ковбас зосереджені на оптимізації рецептурного складу, застосуванні стартових культур, регулюванні температурно-вологісних режимів сушіння або використанні альтернативних інгредієнтів. Водночас вплив геометричної форми поперечного перерізу ковбасного батону як інженерного чинника керування процесами масообміну, дегідратації, мікробіологічної стабільності та окиснювальних змін жирової фази залишається недостатньо вивченим.

Крім того, традиційний підхід до проєктування ковбасних виробів практично не враховує емоційно-комунікативний та споживчий аспект харчового продукту, який є особливо значущим для дитячої та молодіжної аудиторії. У цьому контексті перспективним є поєднання інженерно обґрунтованих рішень щодо форми та структури продукту з концепцією інтерактивного харчового дизайну, що дозволяє одночасно впливати на технологічні властивості, безпечність та споживчу привабливість ковбасних виробів.

Таким чином, актуальною науково-практичною проблемою є обґрунтування та експериментальна оцінка впливу геометрії поперечного перерізу сухих ковбас на їх фізико-хімічні, мікробіологічні та окиснювальні властивості в умовах зниженого вмісту солі та нітритів, що має безпосередній зв'язок із завданнями підвищення безпечності харчових продуктів для сенситивних груп населення.

В статті [1, с. 69–70] обговорюється вплив різних типів оболонки на якість ферментованих ковбас. Підкреслюється важливість механічних властивостей оболонки, таких як міцність, еластичність та проникність для води та газів. Зазначається, що оболонки відіграють ключову роль у процесах сушіння та дозрівання ковбас, впливаючи на втрату вологи, зміни складу та сенсорні характеристики продукту. В роботі [2, с. 1, 7–11] досліджено вплив різних типів оболонки на протеолітичні зміни та вміст біогенних амінів у традиційних ферментованих ковбасах. Показано, що тип оболонки може впливати на мікробіологічні процеси та, відповідно, на безпеку та якість продукту. Авторами [3, с. 1, 9–10] порівняно вплив колагенових та натуральних оболонки на якість ферментованих ковбас. Виявлено, що колагенові оболонки можуть покращувати текстурні характеристики та знижувати вміст біогенних амінів у продукті. В науковій статті [4, с. 1–2, 6–8] оцінено якість ферментованих ковбас зі зниженим вмістом нітритів. Показано, що зменшення кількості нітритів може впливати на хімічні характеристики продукту, зокрема на вміст вільних жирних кислот та рівень pH. Авторами [5, с. 84–91] досліджено вплив зниження вмісту нітритів на мікробіологічні та фізико-хімічні параметри ферментованих ковбас. Показано, що зменшення

нітритів може призводити до змін у профілі ароматичних сполук та мікробіологічній безпеці продукту.

Дослідження [6, с. 1, 10] показує, що зниження відносної вологості повітря під час сушіння дозволяє скоротити час процесу, але може призвести до нерівномірного висихання ковбаси. Було виявлено, що використання нижчої відносної вологості повітря для сушіння дозволило скоротити час на 20%. Однак прискорення процесу сушіння призвело до дуже сухих зовнішніх шарів та менш сухої внутрішньої частини ковбас. З цієї причини не рекомендувалось скорочувати процес сушіння ковбас шляхом використання повітря з нижчою відотною вологістю.

Еволюція геометричних форм харчових виробів, зокрема ковбасних, як інструменту функціонального вдосконалення технології, довгий час залишалась поза фокусом академічної уваги. Більшість наукових досліджень концентрується на рецептурі та на параметрах теплової або ферментативної обробки. Тоді як вплив геометричної форми поперечного перерізу ковбасного батону на швидкість масообміну, втрату вологи та сенсорну оцінку продукту майже не розглядалось. Тим часом, зміна геометрії перерізу без зміни рецептури може суттєво вплинути на теплову та дифузійну поведінку м'ясної матриці ковбасних виробів.

Чотири партії сухих ферментованих ковбас типу «Мілано» було [7, с. 9–10, 17–18] виготовлено для оцінки впливу двох різних заквасок молочнокислих бактерій та діаметра на фізико-хімічні, мікробіологічні та ароматичні характеристики під час обробки та в кінцевих продуктах. Значення діаметру спричинювало сильний вплив на утворення летких органічних сполук. Результати досліджень свідчать про необхідність оптимізації процесу для підвищення ефективності закваски.

В публікації [8, с. 185–186] наведено результати експериментального дослідження кінетики сушіння польських ковбас та їх усадки за допомогою аналізу зображень. В роботі [9, с. 3215–3216] надана оцінка фізико-хімічних та мікробіологічних характеристик традиційних сербських сухих ферментованих ковбас. В статті [10, с. 1–2] вивчено впливу автохтонних штамів, жиру з овечого хвоста та швидкості дозрівання на мікробіологічні, фізико-хімічні та сенсорні зміни під час дозрівання традиційної турецької ковбаси "sucuk". В статті [11, с. 3993–3994] наведено дослідження мікробіологічних, фізико-хімічних та сенсорних характеристик турецьких ферментованих ковбас, покритих хітозаном з ефірними оліями.

Авторами [12, с. 1–3, 10] застосовано гіперспектральну візуалізацію (діапазон 1000–1500 нм) для аналізу поперечних та бічних зрізів ковбас. Використано ансамблеві методи машинного навчання для прогнозування залишкового вмісту нітритів. Авторами [13, с. 1–2] досліджено вплив додавання морської води на текстуру та інші властивості ферментованих ковбас. Додавання морської води є перспективною стратегією для покращення текстури та інших властивостей ферментованих ковбас. Ці дослідження підкреслюють важливість геометрії ковбас та використання альтернативних інгредієнтів у зниженні залишкового вмісту нітритів та покращенні якості продукту. В сучасних умовах дієвим інструментом пошукових досліджень може виступати чисельне моделювання за допомогою спеціалізованих програмних пакетів. Наприклад, в роботі [14, с. 2029–2030] чисельними методами досліджено процес сушіння сухих ковбас для двомірної геометрії математичної моделі, яка була вісесиметричною та циліндричною.

Матеріали та методи. Мета дослідження: експериментальне обґрунтування впливу геометричної форми поперечного перерізу сухих ковбасних виробів з інноваційним інтерактивним харчовим дизайном на мікробіологічну безпечність, фізико-хімічні та окиснювальні властивості продукту за умов зниженого вмісту солі та нітритів, з орієнтацією на дитячу та молодіжну цільові групи споживачів.

Наведені нижче результати є продовженням досліджень [15, с. 14–16]. Рецептура досліджених зразків, їх геометрія та технологія їх виготовлення є аналогічними до параметрів, що наведені в роботі [15, с. 14–16]. Було розроблено дві рецептури ковбасних виробів:

«Контроль» і «Section». Рецепт «Section» використовувалась для виготовлення усіх видів ковбас із поперечним перерізом, відмінним від круглого і вона відрізнялась тим, що адаптована для споживання дітьми та підлітками. Така адаптація обумовлена меншим вмістом жирного м'яса, наявністю курячого філе для підвищення харчової цінності, меншим вмістом шпиків, солі, нітриту натрію, цукру та відсутністю чорного перцю та мускатного горіху.

Виготовлялись ковбасні батони, поперечні перерізи яких (однакової площі) показані на рис. 1. Для ковбас за відомими аналогами (рис. 1,а) максимальна відстань для видалення вологи із сировини в даному випадку складатиме $20 \cdot 10^{-3}$ м, а для розроблених ковбас (рис. 1,б-е) – $(6-11) \cdot 10^{-3}$ м.

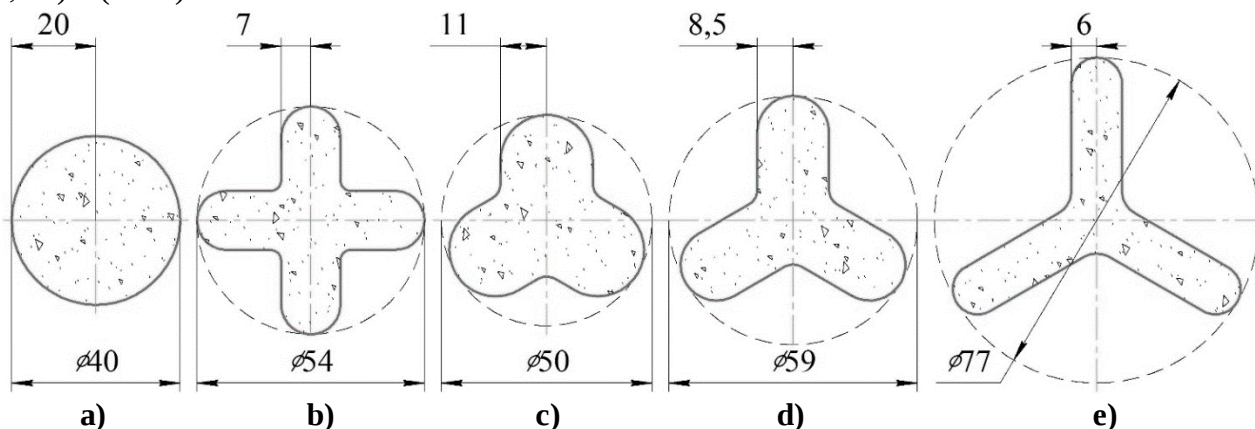


Рис. 1. Контрольний (а) та розроблені (б-е) перерізи ковбасного батону (значення розмірів наведено у 10^{-3} м): б – чотирьох-пелюстковий; с – трипелюстковий широкий; d – трипелюстковий середній; е – трипелюстковий вузький

Результати та обговорення. У табл. 1 наведено значення вмісту нітрозопігментів та стабільності кольору для зразків ковбас із різною геометрією поперечного перерізу. Контрольний зразок 1 має найвищий рівень нітрозопігменту (80 мг/кг) завдяки вищому початковому вмісту нітриту та більш тривалому посолу. Зразки б-е містять знижену кількість нітриту, тому рівень пігменту в процесі посолу є нижчим. Зразок с має найвищий вміст нітрозопігменту (65 мг/кг) серед запропонованих типів зразків б-е, оскільки триваліший посол дозволяє повніше утворити пігмент.

Таблиця 1

Вміст нітрозопігментів та стійкість забарвлення ковбас

Показник	Види поперечного перерізу ковбас				
	а	б	с	д	е
Вміст нітрозопігментів, мг/кг	80±0,22	55±0,34	65±0,18	60±0,21	50±0,44
Стійкість забарвлення,%	90±0,17	80±0,15	85±0,42	82±0,16	75±0,27

Зразки із найкоротшим терміном сушіння, а значить і посолу, особливо зразок 5, володіють найменшим рівнем нітрозопігменту (до 50 мг/кг). Це узгоджується з очікуванням, що менша тривалість посолу та менша кількість нітриту спричиняють меншу кількість нітрозильованого міоглобіну. Однак відмінності помірні. Навіть при значно нижчих рівнях нітриту м'ясо все ще може набувати рожевого кольору. Таким чином, хоча зразки е мають найменший вміст нітриту і сушаться найшвидше вони все ж можуть утворювати певний рожевий нітрозопігмент, хоча й в меншій кількості ніж контрольні зразки а.

Контрольні зразки а з великою кількістю нітрозопігментів володіють найкращою стійкістю забарвлення (90%). Усі розроблені зразки б-е мають дещо знижену стійкість забарвлення через нижчий вміст пігментів та менший час дозрівання. Зразки е можуть зберігати лише 75% свого забарвлення (найнижчий показник), тоді як зразки с з вищою

кількістю нітрозопігментів можуть зберігати до 85% забарвлення, що узгоджується із відомими уявленнями про перебіг означених процесів.

Швидке сушіння зразків b–e обмежує час, який необхідний для хімічних реакцій, що забезпечують утворення пігментів та їх стабілізацію. При швидкому сушінні ковбас активність води знижується і це уповільнює реакції пігменту і спричинює неповне перетворення міоглобіну на нітрозилміоглобін. Відтак зразки e володіють найнижчими значеннями вмісту нітрозопігментів та стійкості забарвлення.

Зміни у рецептурі «Section» порівняно із контрольною теж здійснюють свій вплив на забарвлення ковбаси. Менший вміст нітриту призводить до утворення меншої кількості нітрозопігментів. Крім цього, в рецептурі «Section» менший вміст солі, наявне м'ясо курячого філе (яке містить меншу кількість пігментів), зменшений загальний вміст жиру, розмір частинок якого також є зменшеним. Знижений вміст солі зменшує зв'язування вологи, але наявність курячого філе та дисперсність жиру протидіє цьому, створюючи стабільну матрицю, яка утримує воду під час дозрівання ковбаси. Утримання ж води в мікроструктурі м'яса сприяє реакції нітритів з міоглобіном. Таким чином, незважаючи на нижчий загальний вміст вологи при швидкому сушінні. Але все одно така рецептура зумовлює наявність меншої кількості пігментів, які доступні для утворення червоного забарвлення. Це пояснює чому зразки b–e мають нижчий вміст нітрозопігментів у порівнянні із контрольними зразками a.

Функціонально-технологічні та мікробіологічні показники ковбас досліджуваних типів показані в табл. 2. По закінченню процесу сушіння спостерігається очікуване зниження масової частки вологи у всіх зразках. Контрольній зразки a мають порівняно високий вміст вологи (38%) через найдовшу тривалість сушіння. Незважаючи на меншу тривалість сушіння зразки b–e показали близький до контрольного вміст вологи (35–40%). Однак через різну геометрію поперечних перерізів у зразках c–e висихання більш рівномірне по перерізу. А у зразків b наявна підвищена вологість в центрі батону. неповне висушування центральної частини зразків b може пояснити дещо вищий загальний вміст вологи (39,5%).

Таблиця 2

Функціонально-технологічні та мікробіологічні показники ковбас

Показник	Види поперечного перерізу ковбас				
	a	b	c	d	e
Вміст вологи, %	38,0±0,5	39,5±0,12	37,0±0,8	36,5±0,15	35,0±0,10
Активна кислотність (pH)	5,3±0,1	5,1±0,2	5,0±0,6	5,0±0,5	5,0±0,4
Вміст залишкового нітриту, мг/100 г	0,3±0,07	0,1±0,02	0,05±0,04	0,08±0,03	0,1±0,05
БГКП, в 1 г продукту	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Сальмонелли, в 25 г продукту	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Сульфитредукувальні клостридії, в 0,01 г продукту	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено

Контрольні зразки a, які містять більше солі і не містять курятини, мають дещо вищий остаточний рівень pH (5,3), оскільки підвищена концентрація солі дещо уповільнює розвиток молочнокислих бактерій і накопичення кислоти. Натомість у зразках b–e вміст солі зменшений, що сприяє більш активній ферментації. Хоча в рецептурі зразків b–e дещо менший вміст цукру для покращення ферментації, введення до складу рецептури 20% курячого філе забезпечило додатковий доступний глікоген та поживні речовини для бактерій. В результаті зразки b–e мали дещо нижчий рівень pH (5,0–5,1) порівняно з контролем. Знижений рівень pH у поєднанні зі зниженою вологістю створює несприятливі умови для патогенних мікроорганізмів, що підвищує мікробіологічну безпечність продукту.

Вміст залишкового нітриту в ковбасах була наступною. В контрольному зразку а початкова доза нітриту була вищою (0,06 кг 0,6%-ного розчину на 100 кг фаршу), а в зразках b–e вона зменшена фактично вдвічі (0,04 кг 0,4%-ного розчину на 100 кг фаршу). Як відомо, за час ферментації та сушіння значна частина нітриту реагує з м'ясними компонентами, утворюючи нітрозаміни, або розкладається. Більш тривале сушіння також сприяє інтенсивнішому зниженню кількості залишкового нітриту. Це пояснює отримані результати. У контрольних зразках а вміст залишкового нітриту вищий (0,3 мг/100 г), а у зразках b–e – нижчий (0,05–0,1 мг/100 г). Отримані результати підтверджують, що застосування меншої дози нітриту призводить до суттєво нижчого його залишкового вмісту в готовому продукті. Це є позитивним фактором для потенційних споживачів, особливо, для обраних їх категорій (діти, молодь).

Бактерії групи кишкових паличок (БГКП) ні в контрольному зразку а, ні у зразках b–e виявлені не були. Це свідчить про належні умови ферментації і сушіння. Важливо відмітити такі результати для зразків b–e, оскільки вони мають менший вміст солі. Однак їхня геометрія створює кращі умови для рівномірного швидкого сушіння, що і призвело до відсутності БГКП. При цьому, як зазначалось вище, для зразків b залишаються ризики неповного висушування ковбасного батону в серцевині. На додаток швидке висихання країв «пелюсток» може призвести до створення поверхневої «кірки», що збільшить вірогідність залишення вологими центральних шарів ковбасного батону. В такому середовищі окремі стійкі до кислот представники БГКП можуть вижити. Це вказує на недоцільність застосування перерізу типу b при виробництві ковбас і на відповідні переваги перерізів c–e.

Аналогічні результати спостерігаються і стосовно наявності *Salmonella spp.* та *Clostridium*, що є найбільш критичними мікробіологічними показниками безпечності ковбасних виробів. У всіх досліджених зразках а–e аналізи на наявність *Salmonella spp.* дали негативний результат. Однак для зразків b теоретично існує вища ймовірність виживання даних бактерій при несприятливому збігу умов. Схожа ситуація і з *Clostridium* – в жодному із зразків їх не знайдено, але зразки b через менший вміст нітриту та більш вологі центральні шари теоретично можуть дозволити спорам клостридій персистувати. Отже, переріз b можна вважати критичним з точки зору патогенів. Навіть при швидкому сушінні периферії геометрія ковбасного батону може створити осередки де *Salmonella spp.* та *Clostridium* потенційно можуть бути не інактивовані. В той же час зразки c–e показали кращі результати, оскільки рівномірне сушіння забезпечило надійну відсутність небезпечних патогенів в усьому об'ємі продукту.

В табл. 3 наведено фізико-хімічні показники досліджуваних зразків. Вищі значення вмісту білку у зразка b–e пояснюються меншим вмістом жиру в їх рецептурі у порівнянні із контролем. Також свій внесок зробив швидкий процес сушіння, що призвело до більшого вмісту сухих речовин у кінцевому продукті. Як результат – у зразках e вміст білку найвищий (30,0%). Вміст жиру у зразках b–e нижчий за контроль а також через відмінності в рецептурі (менший вміст шпиків та заміна частини яловичини і свинини на курятину). У зразках від с до e частка жиру збільшується (з 22,0% до 24,0%) через менший вміст вологи у таких зразках. Вміст золи у зразках b–e менший ніж у контролі а через менший вміст солі в рецептурі «Section». Деяке збільшення вмісту золи у зразках від с до e пояснюється меншим вмістом вологи в них, що призводить до більшої питомої ваги сухих речовин.

Значення активності води a_w в усіх зразках менші за критичні межі для розмноження *Salmonella spp.* (0,86) та *Clostridium* (0,94). Це вказує на належні умови для забезпечення безпечності готового продукту. Зразки b мають найвище значення a_w , що пояснюється меншим вмістом солі у порівнянні зі зразками а і особливостями геометрії, які призводять до швидкого відведення вологи із «пелюсток» та повільнішого відведення вологи із центральної зони поперечного перерізу у порівнянні зі зразками c–e. У зразків c–e через специфіку їх геометрії є кращим співвідношення «площа поверхні/шлях дифузії», що призводить до більш

рівномірного висихання по площі поперечного перерізу у порівнянні з b. Зразки e володіють найнижчим значенням a_w (0,76), оскільки вони мають найбільшу площу поверхні та найменшу ширину «пелюсток». Варто вказати і на те, що у зразків b–e менший вміст солі та нітриту, що само по собі підвищує a_w , але таке підвищення у даних зразків компенсується більш інтенсивною дегідратацією завдяки особливостям їх геометрії. Тому для зразків c–e значення a_w знаходиться в межах 0,76–0,80.

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники ковбас

Показник	Види поперечного перерізу ковбас				
	a	b	c	d	e
Вміст білка в ковбасних виробках, %	25,5±0,25	27,0±0,32	28,5±0,28	29,0±0,24	30,0±0,21
Вміст жиру в ковбасних виробках, %	33,0±0,17	22,0±0,15	22,5±0,14	23,0±0,17	24,0±0,12
Вміст золи в ковбасних виробках, %	2,90±0,11	2,30±0,14	2,35±0,07	2,40±0,05	2,45±0,08
Активність води a_w , (од.)	0,78±0,03	0,82±0,05	0,80±0,06	0,79±0,04	0,76±0,03

В табл. 4 наведені значення кислотного числа жиру в ковбасах при їх зберіганні протягом різного терміну. У зразків a спостерігається помірне зростання кислотного числа жиру, незважаючи на те, що вміст жиру в їх рецептурі вищий за інші зразки.

Таблиця 4

Значення кислотного числа жиру під час зберігання ковбас (mg KOH/г жиру)

Термін зберігання, діб	Види поперечного перерізу ковбас				
	a	b	c	d	e
3	0,28±0,08	0,45±0,07	0,38±0,04	0,34±0,05	0,26±0,04
9	0,85±0,12	1,35±0,15	1,15±0,10	1,08±0,20	0,75±0,18
12	1,25±0,21	1,95±0,19	1,70±0,23	1,55±0,14	1,10±0,19
15	1,65±0,12	2,60±0,25	2,10±0,14	1,95±0,18	1,45±0,22

Така динаміка пояснюється більшим вмістом солі і нітриту. У зразків b найвищі значення кислотного числа жиру через підвищену вологість в центральній частині ковбасного батону та зменшену кількість солі на нітриту в рецептурі. Це призводить до вищої активності ліпаз та мікрофлори та більш швидкого зростання гідролізу жиру. Показники зразків c дещо гірші за показники зразків d через меншу швидкість процесу сушіння в зразках c, що обумовлено їх геометрією. Зразки e мають найнижчі значення кислотного числа жиру, що пояснюється найменшим значенням a_w і найменшою шириною «пелюсток» поперечного перерізу. Це призводить до мінімальних ферментативної активності та гідролізу. Наочно видно, що у зразків b спостерігається найшвидше зростання кислотного числа жиру, тоді як у зразків e – найповільніше. Це добре узгоджується із їх різницею у залишковому вмісті води, нітриту та активності води.

В табл. 5 наведені значення перекисного числа жиру в ковбасах при їх зберіганні. Загалом, розподіл даного показника підкоряється тій же логіці, що і розподіл кислотного числа жиру. Хоча у зразках b–e менша кількість жиру згідно рецептури, але шпик подрібнюється більш мілко, що збільшує контакт із повітрям та інтенсифікує процес окиснення.

Таблиця 5

Значення перекисного числа жиру під час зберігання ковбас (ммоль ½ O/кг жиру)

Термін зберігання, діб	Види поперечного перерізу ковбас				
	a	b	c	d	e
3	0,90±0,09	1,30±0,11	1,15±0,15	1,05±0,13	0,80±0,16
6	1,30±0,18	1,80±0,25	1,55±0,21	1,45±0,12	1,10±0,19
9	1,70±0,14	2,35±0,21	1,95±0,11	1,85±0,23	1,40±0,29
12	2,00±0,25	2,95±0,21	2,35±0,14	2,15±0,12	1,65±0,17
15	2,25±0,23	3,40±0,32	2,70±0,41	2,45±0,15	1,85±0,27

При цьому знижений вміст солі та нітриту у зразках *b* у порівнянні з контролем а спричинює знижений антиоксидантний ефект, що посилює перекисне окиснення жиру. Крім того, як зазначалось вище, зразки *b* мають достатньо складну конфігурацію, що спричинює підвищену вологість в серцевині батону. Це створює локальну зону для прискореного окиснення жиру за рахунок підвищеної активності мікрофлори й ферментів у вологому середовищі. Зразки *e* мають найкращі значення перекисного числа жиру. Причиною є геометрія, яка обумовлює швидке сушіння, яке до того ж є рівномірним по перерізу. Низька активність води по закінченню сушіння сприяє пригніченню ферментативного і мікробного каталізу окиснення. Відтак, добре висушений продукт повільніше окислюється навіть при зберіганні. Загалом, геометрія зразків *b* спричинює негативний вплив на тривалість якісного зберігання продукту, оскільки за такої геометрії відсутній рівномірний розподіл вологи по перерізу ковбасного батону. геометрія зразків *e* дозволяє зробити висновок, що синергія швидкого сушіння ті рівномірного зневоднення по поперечному перерізу спричинює найкращу окислювальну стабільність жиру в ковбасах. Контроль же показав помірне зростання перекисного числа жиру через більший його вміст та вміст солі і нітриту в рецептурі контролю.

Отримані експериментальні дані свідчать, що форма поперечного перерізу ковбасних виробів суттєво впливає на перебіг процесу сушіння, формування профілю вологості та активності води, а також на показники стабільності готового продукту. Зокрема, зразки з модифікованою геометрією перерізу характеризувалися більш інтенсивним зневодненням та швидшим досягненням критичних значень a_w порівняно з контрольним зразком традиційної циліндричної форми.

Висновки.

Розроблені ковбаси мають рецептуру, яка адаптована під дитячу та молодіжну цільові групи. Структура продукту м'якіша, має менший вміст жиру, солі і нітриту (що є особливо важливим) та містить натуральні рослинні компоненти. Ковбаси мають нетрадиційну форму поперечного перерізу – «трипелюсткову». Саме така геометрична форма дозволяє суттєво скоротити тривалість сушіння ковбас, що в свою чергу зменшує як витрати на їх виготовлення та і створює передумови для збільшення продуктивності ковбасного виробництва без заміни кліматичних камер. Також покращується мікробіологічна безпека продукту через кращі та однорідніші умови сушіння різних шарів ковбасних батонів. Суттєвою перевагою таких ковбас є менший вміст нітриту у порівнянні із відомими рецептурами. На розроблені рішення подано 3 заявки на патенти України на корисну модель.

Перспективою подальших досліджень у цьому напрямку є розробка нових технологічних і апаратурних рішень, які б дозволили ще в більшій мірі покращити параметри сушіння сухих ковбас та зменшити вміст нітриту в них.

Бібліографія

1. Đorđević J., Pećanac B., Todorović M., Dokmanović M., Glamočlija N., Tadić V., Baltić M. Ž. Fermented sausage casings. *Procedia Food Science*. 2015. Vol. 5. P. 69–72. DOI: 10.1016/j.profoo.2015.09.017.
2. Serio A., Laika J., Maggio F., Sacchetti G., D'Alessandro F., Rossi C., Martuscelli M., Chaves-López C., Paparella A. Casing contribution to proteolytic changes and biogenic amines content in the production of an artisanal naturally fermented dry sausage. *Foods*. 2020. Vol. 9, no. 9. Article 1286. DOI: 10.3390/foods9091286.
3. Yan X., Yang L., Zhang Y., Han W., Duan Y. Effect of collagen casing on the quality characteristics of fermented sausage. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17, no. 2. Article e0263389. DOI: 10.1371/journal.pone.0263389.
4. Simunovic S., Đorđević V. Ž., Lakićević B., Djekic I., Lorenzo J. M., Barba F. J., Tomasevic I. Digital evaluation of nitrite-reduced “Kulen” fermented sausage quality. *Journal of Food Quality*. 2022. Vol. 2022. Article 2480746. DOI: 10.1155/2022/2480746.

5. Perea-Sanz L., Montero R., Belloch C., Flores M. Nitrate reduction in the fermentation process of salt-reduced dry sausages: Impact on microbial and physicochemical parameters and aroma profile. *International Journal of Food Microbiology*. 2018. Vol. 282. P. 84–91. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.004.
6. Chmiel M., Adamczak L., Pietrzak D., Florowski T., Florowska A. Effect of differentiated relative humidity of air on the quality of traditional speciality guaranteed “Krakowska Sucha Staropolska” sausage. *Foods*. 2022. Vol. 11, no. 6. Article 811. DOI: 10.3390/foods11060811.
7. Montanari C., Gatto V., Torriani S., Barbieri F., Bargossi E., Lanciotti R., Grazia L., Magnani R., Tabanelli G., Gardini F. Effects of the diameter on physico-chemical, microbiological and volatile profile in dry fermented sausages produced with two different starter cultures. *Food Bioscience*. 2018. Vol. 22. P. 9–18. DOI: 10.1016/j.fbio.2017.12.013.
8. Jakubowska B. Experimental study of Polish sausage drying kinetics and contraction by image data analysis. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*. 2023. Vol. 27, no. 2. P. 185–198. DOI: 10.2478/auft-2023-0016.
9. Ikonić P., Peulić T., Jokanović M., Šojić B., Škaljac S., Popović S., Šarić L., Novaković A., Tomović V., Vasilev D. Evaluation of the physicochemical, biochemical and microbiological characteristics of three Serbian traditional dry-fermented sausages. *Journal of Food Science and Technology*. 2021. Vol. 58. P. 3215–3222. DOI: 10.1007/s13197-020-04825-4.
10. Akköse A., Oğraş Ş. Ş., Kaya M., Kaban G. Microbiological, physicochemical and sensorial changes during the ripening of sucuk, a traditional Turkish dry-fermented sausage: Effects of autochthonous strains, sheep tail fat and ripening rate. *Fermentation*. 2023. Vol. 9, no. 6. Article 558. DOI: 10.3390/fermentation9060558.
11. Simunovic S., Đorđević V., Barba F. J., Lorenzo J. M., Rašeta M., Janković S., Tomasevic I. Characterisation of changes in physicochemical, textural and microbiological properties of Njeguška sausage during ripening. *Journal of Food Science and Technology*. 2021. Vol. 58. P. 3993–4001. DOI: 10.1007/s13197-020-04862-z.
12. Son W.-Y., Kang M.-H., Hwang J., Kim J.-H., Dixit Y., Kim H.-W. Hyperspectral imaging combined with machine learning can be used for rapid and non-destructive monitoring of residual nitrite in emulsified pork sausages. *Foods*. 2024. Vol. 13, no. 19. Article 3173. DOI: 10.3390/foods13193173.
13. Lee S. H., Kim H. Y. Innovative texture-improving fermented sausages prepared by refining waste seawater: Physicochemical and histological properties. *LWT – Food Science and Technology*. 2023. Vol. 190. Article 115509. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115509.
14. Cascone G., Miccio M., Dodaro M., Longo F., Seta L. Modeling and simulation of fermented sausages ripening with a heterogeneous porous media approach. *Chemical Engineering Transactions*. 2017. Vol. 57. P. 2029–2034. DOI: 10.3303/CET1757339.
15. Batrachenko O., Hrabova I., Todorov M., Husar A. Development of new dry sausages with improved drying, safety and interactive food design parameters. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2026. Vol. 361, no. 1. P. 13–18. DOI: 10.31891/2307-5732-2026-361-1.

References

1. Djordjevic, J., Pecanac, B., Todorovic, M., Dokmanovic, M., Glamoclija, N., Tadic, V., et al. (2015). Fermented sausage casings. *Procedia Food Science*, 5, 69–72. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.017>.
2. Serio, A., Laika, J., Maggio, F., Sacchetti, G., D'Alessandro, F., Rossi, C., Martuscelli, M., Chaves-López, C., & Paparella, A. (2020). Casing contribution to proteolytic changes and biogenic amines content in the production of an artisanal naturally fermented dry sausage. *Foods*, 9(9), Article 1286. <https://doi.org/10.3390/foods9091286>.
3. Yan, X., Yang, L., Zhang, Y., Han, W., & Duan, Y. (2022). Effect of collagen casing on the quality characteristics of fermented sausage. *PLoS ONE*, 17(2), Article e0263389. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263389>.
4. Simunovic, S., Đorđević, V. Ž., Lakićević, B., Djekic, I., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., et al. (2022). Digital evaluation of nitrite-reduced “Kulen” fermented sausage quality. *Journal of Food Quality*, 2022, Article 2480746. <https://doi.org/10.1155/2022/2480746>.
5. Perea-Sanz, L., Montero, R., Belloch, C., & Flores, M. (2018). Nitrate reduction in the fermentation process of salt-reduced dry sausages: Impact on microbial and physicochemical parameters and aroma profile. *International Journal of Food Microbiology*, 282, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.004>.

-
6. Chmiel, M., Adamczak, L., Pietrzak, D., Florowski, T., & Florowska, A. (2022). Effect of differentiated relative humidity of air on the quality of traditional speciality guaranteed “Krakowska Sucha Staropolska” sausage. *Foods*, 11(6), Article 811. <https://doi.org/10.3390/foods11060811>
 7. Montanari, C., Gatto, V., Torriani, S., Barbieri, F., Bargossi, E., Lanciotti, R., et al. (2018). Effects of the diameter on physico-chemical, microbiological and volatile profile in dry fermented sausages produced with two different starter cultures. *Food Bioscience*, 22, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.013>.
 8. Jakubowska, B. (2023). Experimental study of Polish sausage drying kinetics and contraction by image data analysis. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 27(2), 185–198. <https://doi.org/10.2478/auaft-2023-0016>.
 9. Ikonić, P., Peulić, T., Jakanović, M., et al. (2021). Evaluation of the physicochemical, biochemical and microbiological characteristics of three Serbian traditional dry-fermented sausages. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3215–3222. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04825-4>
 10. Akköse, A., Oğraş, Ş. Ş., Kaya, M., & Kaban, G. (2023). Microbiological, physicochemical and sensorial changes during the ripening of sucuk, a traditional Turkish dry-fermented sausage: Effects of autochthonous strains, sheep tail fat and ripening rate. *Fermentation*, 9(6), Article 558. <https://doi.org/10.3390/fermentation9060558>.
 11. Simunovic, S., Đorđević, V., Barba, F. J., et al. (2021). Characterisation of changes in physicochemical, textural and microbiological properties of Njeguška sausage during ripening. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3993–4001. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04862-z>.
 12. Son, W. Y., Kang, M. H., Hwang, J., Kim, J. H., Dixit, Y., & Kim, H. W. (2024). Hyperspectral imaging combined with machine learning can be used for rapid and non-destructive monitoring of residual nitrite in emulsified pork sausages. *Foods*, 13(19), Article 3173. <https://doi.org/10.3390/foods13193173>.
 13. Lee, S. H., & Kim, H. Y. (2023). Innovative texture-improving fermented sausages prepared by refining waste seawater: Physicochemical and histological properties. *LWT – Food Science and Technology*, 190, Article 115509. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115509>.
 14. Cascone, G., Miccio, M., Dodaro, M., Longo, F., & Seta, L. (2017). Modeling and simulation of fermented sausages ripening with a heterogeneous porous media approach. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 2029–2034. <https://doi.org/10.3303/CET1757339>.
 15. Batrachenko, O., Hrabova, I., Todorov, M., & Husar, A. (2026). Development of new dry sausages with improved drying, safety and interactive food design parameters. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 361(1), 13–18. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-361-1>.
-