

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2026-16-1-39>

УДК 664.8.03:637.56:66.061

В. О. Сукманов, д-р техн. наук

А. А. Поліщук, д-р с.-г. наук

М. О. Ільченко, канд. с.-г. наук

Б. С. Шаферівський, канд. с.-г. наук

О. Г. Фесенко, канд. с.-г. наук

*Полтавський державний аграрний університет*

e-mail: sukmanovvaleri@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1248-4068

ORCID: 0000-0003-3572-8491

ORCID: 0000-0003-0163-1384

ORCID: 0000-0001-5742-5016

ORCID: 0009-0006-5047-7781

## ПРОЛОНГАЦІЯ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ РИБНИХ ПРОДУКТІВ ТА ФАРШУ СКУМБРІЇ (*SCOMBER SCOMBRUS*) ДОДАВАННЯМ ЕКСТРАКТУ КАРТОПЛЯНОЇ ШКІРКИ

*Анотація.* У статті досліджено ефективності використання екстрактів (водних, етанольних та субкритичних) з картопляної шкірки, як природнього антиоксиданта, при пролонгація термінів зберігання фаршу скумбрії (*Scomber scombrus*): визначено основні фенольні кислоти в екстрактах картопляної шкірки та загальний вихід фенольних сполук з шкірки картоплі; порівняно антиоксидантні властивості екстрактів, отриманих за технологією мацерації (водної та етанольної) та екстрагування субкритичною водою; досліджено динаміку уповільненні окислення ліпідів, та білків у фарші з скумбрії шляхом визначення перекисного числа та концентрації токоферолу, вмісту карбонільних сполук у зразках фаршу; втрату флуоресценції триптофану та тирозину; кольору зразків та органолептичні показники фаршу та рибних ковбасок, виготовлених із нього.

*Ключові слова:* рибні продукти, рибний фарш, властивості фаршу скумбрії, термін зберігання, антиоксиданти, екстракти, окислення ліпідів та білків.

*Постановка проблеми.* Жирні види риби, в тому числі і скумбрія, мають велику харчову цінність завдяки вищому вмісту довголанцюгових омега-3 поліненасичених жирних кислот, які не виробляється в організмі людини самостійно, але які є ключовим структурним компонентом клітин мозку, сітківки ока та нервової системи. Епідеміологічні дослідження свідчать про те, що високе споживання цих жирних кислот пов'язане з низьким ризиком серцево-судинних захворювань, різних видів раку, діабету та психічних захворювань [1]. Незважаючи на ці очевидні переваги, однією з основних перешкод у вживанні жирної риби є те, що вона дуже схильна до окислення через наявність поліненасичених жирних кислот. Окислення ліпідів призводить до розвитку неприємного запаху, прогірклого смаку та зміни кольору [1, 2]. Більше того, сполуки, що утворюються в результаті окислення ліпідів, можуть модифікувати білки та амінокислоти, що мають поживне значення, та знижувати функціональність білка через його денатурацію [2].

*Аналіз останніх публікацій.* Споживання водних продуктів пов'язане з користю для здоров'я, оскільки це продукт, багатий на вітаміни, незамінні амінокислоти та поліненасичені жирні кислоти, а раціон із регулярним їх споживанням знижує ризики розвитку хронічних неінфекційних захворювань серцево-судинної, імунної та когнітивної систем [1, 2]. Термін придатності рибних продуктів є вирішальним моментом для споживача. Ряд властивих характеристик рибних продуктів сприяє прискоренню автолізу, таких як окислення ліпідів, структура м'язів, що сприяє росту мікробів, та інші механізми псування [3, 4].



Використання хімічних або штучних консервантів для контролю механізмів псування рибопродуктів та прагнення споживачів до здорового харчування порушили актуальні питання щодо ризиків використання синтетичних хімікатів [5, 6]. Як альтернатива, численні дослідження вказують на застосування природних сполук, таких як ефірні олії та рослинні екстракти з біоактивним потенціалом, як антиоксидантів та антимікробних засобів для майбутніх поколінь продуктів з чистою етикеткою. Позитивний вплив цих сполук головним чином пов'язаний з наявністю вторинних метаболітів, таких як фенольні кислоти, які демонструють взаємодію з ліпідним та білковим складом продуктів тваринного походження, що призводить до значних результатів у продовженні терміну придатності [7, 8]. Враховуючи, що споживачі рибних продуктів прагнуть до безпечного та здорового харчування, поєднання натуральних сполук для консервування риби, як правило, охоплює більше споживачів продуктів з екологічно чистим етикетуванням.

Нові підходи до зменшення використання синтетичних консервантів у консервуванні харчових продуктів привертають увагу до біоактивних сполук рослинного походження, особливо для застосування в продуктах, схильних до псування, таких як рибні продукти. Аналіз наявних публікацій надав уявлення про застосування біоактивних природних сполук у рибних продуктах [9]. Великий об'єм наявної інформації не дозволяє на сьогодні отримати обґрунтовані рекомендації про вибір рослинної сировини, методи вилучення цільових сполук та отримані позитивні ефекти їх застосування.

Різні методи екстракції та застосування біоактивних сполук рослинного походження призводять до різних ефектів, таких як зменшення окислення ліпідів, антимікробні ефекти та збереження сенсорних характеристик, що сприяє продовженню терміну придатності. Загалом, біоактивні сполуки рослинного походження є альтернативою для консервування рибних продуктів [10]. Серед потенційних джерел природних антиоксидантних сполук в першу чергу заслуговує на увагу вторинна сировина та відходи від діяльності агропромислового комплексу, що у повній мірі відповідає цілям сталого розвитку.

Картопля (*Solanum tuberosum*) є одним з найбільш поширених овочів у всьому світі. Шкірка є основним побічним продуктом картопляно-переробної промисловості, що становить серйозну проблему утилізації відходів для цієї галузі. Перетворення цього побічного продукту на продукти з доданою вартістю тому є цікавим для картопляної промисловості [11, 12]. Екстракти картопляної шкірки виявилися хорошим джерелом харчових волокон та багатими на фенольні кислоти, особливо хлорогенову, галову, протокатехову та кавову кислоти [13].

Доведено, що екстракти шкірки картоплі є ефективними у зменшенні перекисного окислення ліпідів як у риб'ячому жирі, так і в емульсіях «олія у воді» [14, 15]. Однак використання картопляних екстрактів як антиоксиданту у м'язах риби, які є складною сумішшю білків, ліпідів, прооксидантів, таких як гемоглобін, залізо, та антиоксидантів, таких як альфа-токофероли, аскорбінова кислота, ще не вивчалось.

Враховуючи відносно високу ефективність таким інноваційних методів екстрагування, як субкритичне екстрагування, та яке вже було застосовано для екстрагування біологічно активних речовин з картопляної шкірки [14], слід вважати, що дослідження, спрямовані на порівняльні дослідження при використанні екстрактів з картопляної шкірки, отриманих за різними методами екстрагування [16, 17] з метою пролонгація термінів зберігання рибних продуктів та фаршу скумбрії (*Scomber scombrus*) є актуальними.

*Мета дослідження* – оцінка ефективності використання екстракту картопляної шкірки, як природнього антиоксиданта, при пролонгація термінів зберігання фаршу скумбрії (*Scomber scombrus*) та оцінка сенсорних властивостей рибних ковбасок, виготовлених з даної сировини.



Для досягнення даної мети було сформульовано та вирішено наступні завдання: визначити основні фенольні кислоти в екстрактах картопляної шкірки та загальний вихід фенольних сполук з шкірки картоплі; порівняти антиокидантних властивостей екстрактів картопляної шкірки, отриманих за технологією мацерації (водної та етанольної) та екстрагування субкритичною водою; дослідити динаміку уповільненні окислення ліпідів, та білків у фарші з скумбрії шляхом визначення перекисного числа та концентрації токоферолу, вміст карбонільних сполук у зразках фаршу, втрату флуоресценції триптофану та тирозину; колір зразків та органолептичні показники фаршу та рибних ковбасок, виготовлених із нього.

#### *Основна частина.*

*Використана сировина.* Тушки скумбрії було придбано у ТОВ «Fish-Market». Маса тушки – 500–600 г, ціла, з головою та хвостом; країна походження – Ісландія, регіон вилову – FAO 27, Атлантичний океан; дата вилову та заморозки – весна 2025 року; спосіб заморозки – шокова (суха). Картоплю сорта Біла роса – високоврожайний ранній сорт картоплі, закупували у супермаркеті «Метро» м. Полтава у травні 2025 року. Хімічні речовини та стандарти для продуктів окислення та фенольних сполук були аналітичного класу та придбані в ТОВ «Хімлаборреактив» (м. Бровари).

*Приготування екстрактів картопляної шкірки.* Картоплю промивали водопровідною водою та очищали вручну за допомогою кухонної овочечистки (середній вихід картопляної шкірки становив 12 %). Шкірку сушили в духовці з гарячим повітрям при температурі 45 °С протягом 72 годин та подрібнювали кухонним блендером до отримання часток з розміром  $0,6 \pm 0,1$  мм. Для приготування водного екстракту у субкритичному середовищі було використано лабораторний реактор високого тиску РВД-2-500 (НПП «УКРОРГСИНТЕЗ», м. Київ, Україна) з магнітною мішалкою з підігрівом платформи РІВА – 04.3 (НПО «Оргсинтез», Україна) та компресором високого тиску «PCP ELECTRIC AIR» (Китай) (рис. 1) за методикою, викладеною у [18]. Дослідження було проведено у НДЛ «Субкритичні технології у харчових виробництвах» ПДАУ.

Екстрагент – дистильована вода. Екстракт відділяли від твердого залишку методом вакуумної фільтрації із використанням насосу Камовського, колби Бунзена, фільтр-паперу марки Ф. Екстракти висушували із використанням сушильної шафи Memmert UF 30. Для аналізу екстрактів використовували: рН-метр SevenCompact pH/Ion S220, аналітичні ваги XPE105 Mettler Toledo, електронні ваги XPR6002SDR/A, сушильну шафу Memmert UF 30, муфельну піч Nabertherm LT5/12, титратор автоматичний Excellence T5 та спектрофотометр UV-1800.

Для приготування етанольного екстракту 5 г порошкоподібної шкірки екстрагували 50 мл 96 % етанолу при кімнатній температурі протягом ночі та центрифугували при 2800 об/хв протягом 10 хвилин. Супернатант збирали в окрему пляшку, а залишок повторно екстрагували тричі за тих самих умов, що й вище. Об'єднаний фільтрат випарювали у роторному випарнику при температурі нижче 40 °С. Екстракт, отриманий після випаровування органічного розчинника, використовували як природний антиоксидант.

У випадку водного екстракту, 5 г порошкоподібної шкірки екстрагували протягом ночі 100 мл дистильованої води при кімнатній температурі та центрифугували при 2800 об/хв протягом 10 хвилин. Супернатант збирали в окрему пляшку, а залишок повторно екстрагували тричі за тих самих умов, що й вище. Об'єднані екстракти випаровували, висушували та зберяли при 4 °С для подальших досліджень.

Загальний вміст фенольних сполук в екстрактах визначали за допомогою реактиву Фоліна-Чокальтеу за методом, описаним у роботі [19]. Стандартну криву побудували з використанням різних концентрацій галової кислоти, а кількість загальних фенолів розраховували як еквіваленти галової кислоти в мг/100 г сухої картопляної шкірки. Ідентифікацію індивідуальних

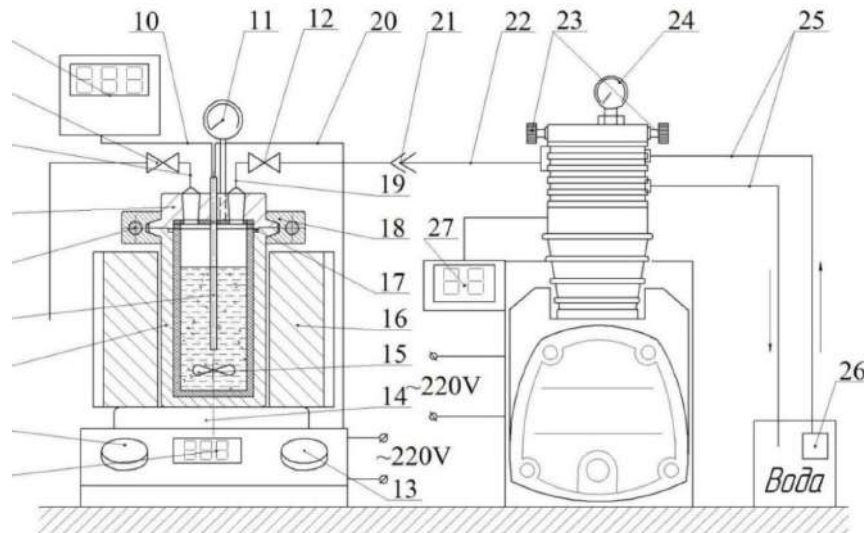


Рис. 1. Принципова схема установки для отримання екстрактів в середовищі субкритичної води

1 – дисплей магнітної мішалки; 2 – регулятор температури; 3 – стакан реактора; 4 – термомпара; 5 – гвинти; 6 – кришка стакану реактора; 7 – спускний канал; 8 – вентиль спускного каналу; 9 – додатковий датчик температури; 10 – провід додаткового датчика температури; 11 – манометр реактора; 12 – вентиль впускного каналу; 13 – регулятор магнітної мішалки; 14 – магнітна мішалка з підігрівом; 15 – елемент магнітної мішалки; 16 – термоблок; 17 – прокладка фторопластова; 18 – хомут; 19 – впускний канал; 20 – провід основного датчика температури; 21 – з'єднання високого тиску; 22 – шланг високого тиску; 23 – спускні гвинти компресора; 24 – манометр компресора; 25 – водопровід охолодження; 26 – насос системи охолодження компресора; 27 – датчик температури компресора

фенольних кислот проводили за процедурою, описаною в [19] з використанням ВЕРХ серії Agilent 1100 (Agilent Technologies, США).

*Технологія виготовлення зразків фаршу скумбрії.* Скумбрію розморожували, обезголовлювали, патрала, розділяли на філе та вручну знімали шкіру; філе подрібнювали за допомогою кухонного блендера після додавання екстрактів водного (В), етанолового (Е) та субкритичного (СКВ) у концентрації 2,5 та 5 г/кг ставриди. Фарш без додавання будь-якого екстракту був виготовлений аналогічним чином і використовувався як контрольний. Щоб забезпечити рівномірний розподіл екстрактів по всьому фаршу, екстракти розчиняли у 5 мл дистильованої води та додавали до фаршу. У контрольному зразку додавали 5 мл дистильованої води без екстракту. Кожен з семи отриманих зразків (контроль, 2,5 В, % В, 2,5 Е, 5 Е, 2,5 СКВ та 5 СКВ) додатково розділяли на порції по 150 г та поміщали в алюмінієві коробки, закриті картонною та алюмінієвою кришкою. Коробки зберігали при температурі 5 °С протягом 96 годин. У кожен момент часу (Т<sub>0</sub>, Т<sub>24</sub>, Т<sub>48</sub>, Т<sub>72</sub> та Т<sub>96</sub>) вміст коробок вакуумно пакували в поліетиленові пакети та зберігали при температурі 80 °С до подальшого аналізу. У час Т<sub>0</sub> зразки вакуумно пакували в поліетиленові пакети та зберігали при температурі 80 °С одразу після подрібнення. Всі етапи обробки виконувалися в приміщенні з контрольованою температурою 2 °С.

*Технологія виготовлення ковбасок з фаршу скумбрії.* Було використано наступний рецептурний склад контрольного зразка: яйце куряче – 12 г/100г фаршу скумбрії; сало свіже – 16 г/100 г; олія соняшникова рафінована – 16 г/100 г; перець чорний молотий – 1 г/100 г; сіль – 1 г/100 г; цибуля ріпчаста – 8 г/100 г відповідно. У фарш зразки ковбасок додавали водні, етанольні або субкритичні екстракти картопляної шкірки у кількості 2,5 та 5 г/100 г сировини. Інгредієнти вимішували, формували ковбаски, обвалювали у панірувальних сухарях, обсмажували до підрум'янення на пательні, а потім випікали у розігрітій духовці 15 хв при 200 °С. Готові



ковбаски охолоджували при кімнатній температурі до 50 °С, позначали тризначним кодом та надавали експертній комісії на дегустацію.

Вміст води визначали за різницею у вазі після сушіння приблизно 3 г зразка при 115 °С протягом 18 годин відповідно до [20]. Аналізи проводили у трьох повторностях, а результати виражали у г води на 100 г вологого зразка. рН зразків вимірювали за допомогою рН-метра Metrohm 780. Вимірювання кольору проводили за допомогою хроматометра Minolta (Cr-200, Minolta, Японія). Колір вимірювали у трьох різних місцях зразка, і кожне вимірювання складалося з 3 показників. Було розраховано середнє значення трьох вимірювань  $L$ ,  $a$  та  $b$ .

*Визначення загального вмісту ліпідів та перекисного числа (ПЧ).* Загальні ліпіди екстрагували у трьох повторностях з 10 г зразка метанолом/хлороформом (1:1, об./об.) згідно з методом [21]. Вміст ліпідів визначали гравіметрично, а результати виражали у г ліпідів/100 г вологого зразка. ПЧ вимірювали безпосередньо на екстракті відповідно до методу [21].

*Визначення вмісту токоферолу.* Вміст токоферолу визначали в ліпідних екстрактах Блая та Дайєра за допомогою ВЕРХ з використанням ВЕРХ Agilent серії 1100 (Agilent Technologies, США), оснащеного флуоресцентним детектором, згідно з методом [22]. Результати виражені в 1 г токоферолу на грам фаршу.

*Визначення карбонілів білка.* Карбоніли білка вимірювали, як описано у роботі [23]. Зразок фаршу (0,5 г) гомогенізували у 10 мл трис-буфера (рН: 7,4, 50 мМ, 1 мМ ЕДТА), що містив 0,01 % ВНТ, та 200 мкл гомогенату осаджували 50 мкл ТСА (100 %). Після центрифугування (12 000 г, 3 хв) осад інкубували з 500 мкл 10 мМ динітрофенілгідразину (DNPH) у 2 М НСІ у темряві протягом 1 години. Для кожного зразка паралельно проводили холостий аналіз, інкубований у 2 М НСІ без додавання DNPH. Зразки осаджували 50 мкл ТСА (100 %), центрифугували (12 000 г, 3 хв), а гранули промивали тричі 1 мл суміші етанол/етилацетат 1:1 (об./об.). Гранули повторно розчиняли в 1 мл 6 М гуанідину хлориду в 20 мМ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Вміст карбонілу визначали шляхом вимірювання поглинання при 370 та 280 нм відносно гуанідину як холостого розчину. Результати виражаються в нмолях карбонілу на мг білка.

*Вимірювання флуоресценції триптофану та тирозину.* Природну флуоресценцію триптофану та тирозину оцінювали за допомогою флуоресцентної спектроскопії. 1 г фаршу гомогенізували в 10 мл (1:10 мас./об.) 20 мМ натрій-фосфатного буфера (рН 6,5), що містить 0,6 М NaCl, за допомогою Polytron PT1200CL (Kinematica AG, Швейцарія) протягом 30 с. Гомогенати фільтрували через марлю для видалення нерозчинних речовин, і 250 мкл відфільтрованого гомогенату переносили на мікропланшети. Спектри випромінювання триптофану реєстрували від 300 до 500 нм з довжиною хвилі збудження, встановленою на 280 нм. Спектри випромінювання тирозину реєстрували від 300 до 500 нм з довжиною хвилі збудження, встановленою на 270 нм. Ширину щілини збудження та випромінювання встановлювали на 10 нм, а дані збирали зі швидкістю 500 нм/хв. Флуоресценцію триптофану визначали як одиниці інтенсивності флуоресценції, випромінювані при 350 нм, а тирозин – як інтенсивність флуоресценції, випромінювану при 310 нм. Відсоток (%) втрати флуоресценції розраховували як  $(F_0 - F_{96})/F_0 \cdot 100$ , де  $F_0$  – інтенсивність флуоресценції в момент часу 0, а  $F_{96}$  – інтенсивність флуоресценції, випромінювану через 96 годин.

*Сенсорне оцінювання зразків.* Сенсорну оцінку дослідних разків фаршу проводила експертна комісія, що складалася з п'яти осіб. Фарш оцінювали на наявність запаху за дескрипторами «рибний», «прогірклий». Зразки оцінювали за шкалою інтенсивності від нульової до максимальної 9. Члени комісії оцінювали зразки індивідуально. Згодом комісія погодила середній бал для кожного дескриптора. Зразки по 20 г подавали у випадковому порядку після інкубації протягом 1 години при 5 °С.



Сенсорну оцінку ковбасок з розроблених зразків фаршу проводили з урахуванням вимог ДСТУ 8451:2015 «Риба та рибні продукти. Методи визначення органолептичних показників». Дегустаційну комісію (7 осіб) було створено на основі відбору дегустаторів з урахуванням їхньої індивідуальної чутливості, здатність тривалий час зберігати у пам'яті сенсорні характеристики еталонних зразків, володіти методологією оцінювання, а також мати професійну освіту. Для сенсорного оцінювання зразків ковбасок було використано 9-бальну шкалу (від 1 до 9), де кожен бал відповідав певному вербальному опису: 1 – не прийнятно; 2 – дуже не подобається; 3 – не подобається; 4 – помірно не подобається; 5 – нейтральний варіант уподобань (експерт не може визначитися); 6 – помірно подобається; 7 – подобається; 8 – дуже подобається; 9 – вища оцінка. Оцінювання було проведено за наступними показниками властивостей: зовнішній вигляд, колір, смак, запах, консистенція (структура), загальне сприйняття. Узгодженість між оцінками експертів, що характеризує їх рівень кваліфікації, було оцінено коефіцієнтом конкордації.

Всі визначення були у трьох примірниках. Для всіх статистичних аналізів використовувалося програмне забезпечення EXCEL.

*Узагальнення та обговорення результатів експериментів.*

*Визначення раціональних параметрів субкритичного екстрагування.* Аналіз інформації [24] дозволив нам обрати діапазон варіювання параметрів, вагомість впливу яких на ефективність субкритичного екстрагування розташована у наступному порядку: температура > тривалість процесу > розмір фракції > гідромодуль > тиск. У даному процесі тиск потрібний для підтримання води-розчинника у субкритичному стані та прискорення руйнування матриці сировини, тому, враховуючи аналіз апріорної інформації, значення тиску було прийнято на рівні 3 МПа. Гідромодуль та розмір фракції сировини непрямым чином впливають на тривалість процесу екстрагування, та враховуючи наші попередні дослідження було прийнято гідромодуль 1:20 та розмір часток шкірки картоплі –  $0,6 \pm 0,1$  мм.

Результати досліджень впливу температури та тривалості субкритичного екстрагування шкірки картоплі на загальний вихід фенольних сполук наведені на рис. 2.

Узагальнення та аналіз отриманих результатів (рис. 2) дозволив обрати параметри температури (180 °C) та тривалість (40 хв.), які забезпечували максимальний загальний вихід фенольних сполук.

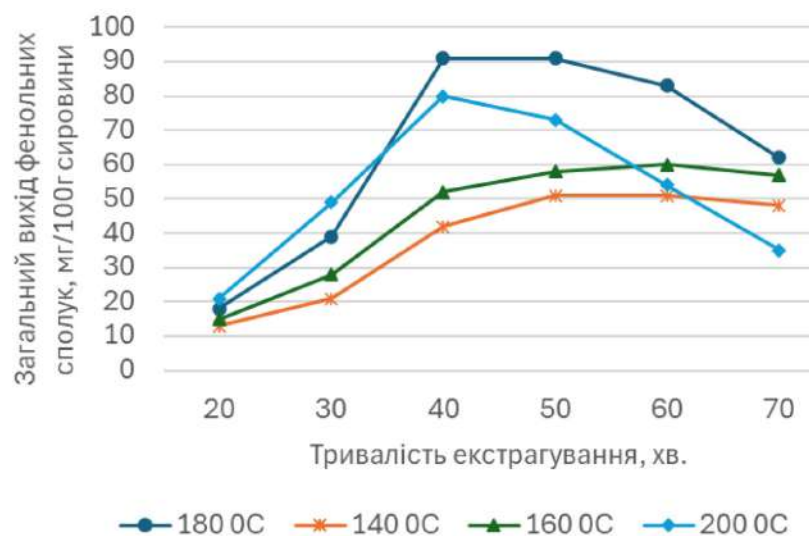


Рис. 2. Вплив параметрів екстрагування картопляної шкірки субкритичною водою на загальний вихід фенольних сполук



*Аналіз загальної кількості та окремих фенольних сполук у екстрактах картопляної шкірки.* Фенольні сполуки становлять одну з основних груп сполук, що діють як первинні антиоксиданти або термінатори вільних радикалів, і тому, на першому етапі досліджень, було визначено загальну кількість фенолів, а також вміст окремих фенольних кислот в екстрактах картопляної шкірки. Більший вміст фенольних сполук було отримано в субкритичних екстрактах ( $95,7 \pm 0,6$  мг/100 г картопляної шкірки), що може бути пов'язано з властивостями субкритичної води як розчинника.

Етанольний екстракт містив більшу кількість загальних фенолів ( $68,7 \pm 5,7$  мг/100 г картопляної шкірки) порівняно з водними екстрактами ( $27,76 \pm 0,5$  мг/100 г картопляної шкірки). Цей висновок узгоджується з результатами, наведеними у роботі [25]. Ці результати можуть бути пов'язані зі здатністю етанолу вивільняти фенольні сполуки, приєднані до білків, але також може бути пов'язаний з вищою розчинністю певних фенольних сполук в етанолі, ніж у воді. Основні фенольні кислоти в екстрактах були ідентифіковані за допомогою ВЕРХ (табл. 1).

Таблиця 1

Основні фенольні кислоти в екстрактах картопляної шкірки (мг/г екстракту)

Фенольні кислоти	Розчинник		
	Вода, В	Етанол, Е	Субкритична вода, СКВ
Галлова кислота	$11,38 \pm 0,25$	$2,90 \pm 0,01$	$19,56 \pm 0,79$
Протокатехова кислота	$6,82 \pm 0,51$	$7,38 \pm 0,04$	$13,58 \pm 0,13$
Гентизинова кислота	$3,66 \pm 1,29$	$13,42 \pm 0,10$	$18,42 \pm 0,19$
P-гідроксибензойна кислота	$4,76 \pm 0,29$	–	$5,12 \pm 0,22$
Хлорогенова кислота	$0,56 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,12$	$9,59 \pm 0,98$
Ванілова кислота	$0,45 \pm 0,09$	$1,10 \pm 0,08$	$2,02 \pm 0,10$
Сирингова кислота	–	$0,64 \pm 0,06$	$3,69 \pm 0,06$
Кавова кислота	$0,11 \pm 0,01$	$2,79 \pm 2,01$	$7,23 \pm 0,73$
Саліцилова кислота	–	$0,11 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,04$
P-кумарова кислота	$0,05 \pm 0,01$	$0,58 \pm 0,09$	$11,18 \pm 0,16$
Ферулова кислота	$0,09 \pm 0,04$	–	$4,54 \pm 0,14$
Разом	27,76	31,35	$95,70 \pm 0,6$

Серед 3-х досліджуваних зразків, субкритичні екстракти містили максимум вихід всіх досліджуваних кислот. Як водні, так і етанольні екстракти містили високий рівень протокатехової кислоти. Водні екстракти містили значно вищий рівень галлової кислоти порівняно з відповідними етанольними екстрактами, тоді як етанольні екстракти показали вищий рівень гентизинової та кавової кислот. P-гідроксибензойна кислота та ферулова кислоти були присутні лише у водних екстрактах, тоді як саліцилова та сирингова кислоти були присутні лише в етанольних екстрактах. Різниця у складі трьох екстрактів зумовлена різницею в розчинності цих фенольних сполук у субкритичній воді, та воді і етанолі при традиційному екстрагуванні. Отримані нами результати узгоджуються з матеріалами роботи [26], де повідомлялося, що розчинність фенольних сполук збільшується зі збільшенням температури.

*Загальний склад фаршу.* Вміст вологи та жиру у зразках фаршу коливався в межах 61,1–63,1 та 21,4–24,7 г/100 г відповідно, при їх значеннях у контрольному зразку – 61,9 та 22,9 г/100 г відповідно. Значення рН у всіх фаршах становило приблизно 6,07–6,10.

*Окислення ліпідів під час зберігання при 5 °С.* Результати досліджень динаміки ПЧ при зберігання дослідних зразків фаршу при 5 °С наведено на рис. 3.

При T0 не було суттєвих відмінностей у значеннях ПЧ між зразками. У міру продовження зберігання зразків, ПЧ демонструвало поступове збільшення в контролі та у зразках з дода-

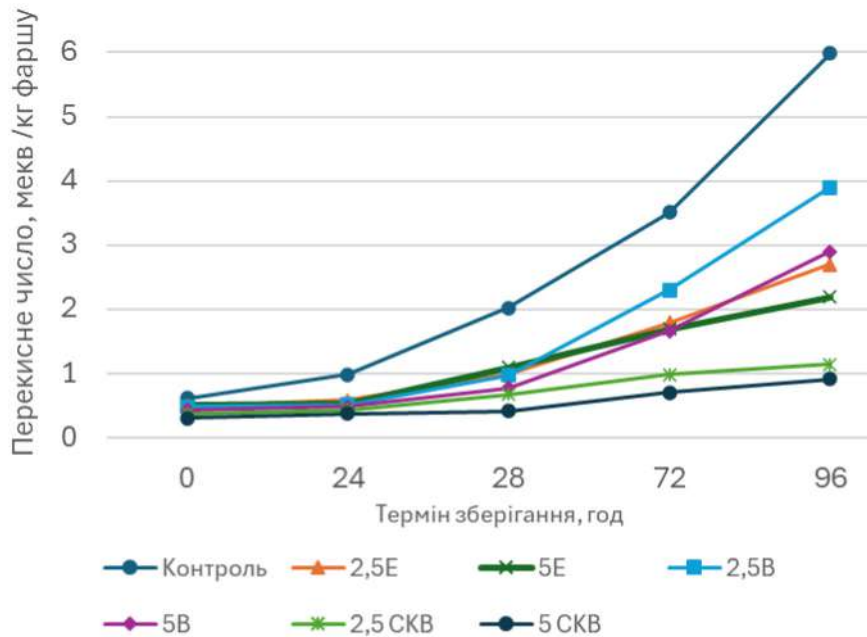
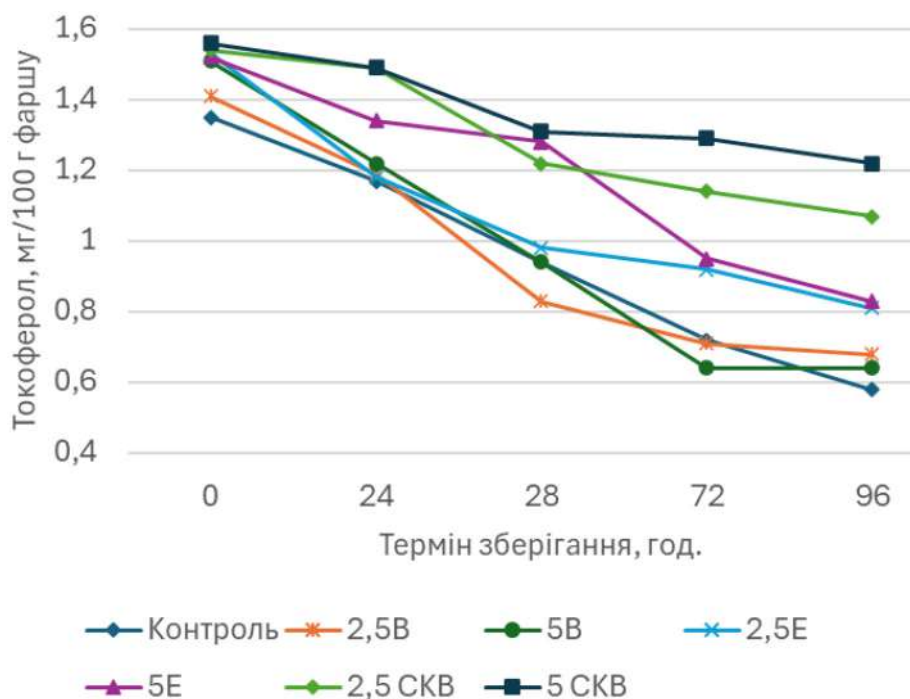


Рис. 3. Динаміки ПЧ при зберігання зразків фаршу при 5 °С

ними екстрактами. ПЧ контролю досягло 5,98 мекв/кг фаршу наприкінці періоду зберігання. Фарші з СКВ екстрактами після 96 годин зберігання мав 1,15 та 0,92 мекв/кг фаршу відповідно.

Після 48 годин зберігання зразків з водними та етанольними екстрактами спостерігалось значне збільшення значень ПЧ і його значення досягло 3,9 мекв/кг фаршу наприкінці періоду зберігання у водних екстрактах 2,5 г/кг, та 2,9 мекв/кг фаршу при додаванні 5 г/кг водного екстракту. Фарш з етанольними екстрактами 2,5 або 5 г/кг продемонстрував більшу стійкість до окислення завдяки нижчому значенню ПЧ у порівнянні з водними екстрактами, а наприкінці періоду зберігання ПЧ становило 2,7 та 2,2 мекв/кг фаршу при додаванні 2,5 або 5 г/кг екстрактів відповідно.

Динаміка вмісту  $\alpha$ -токоферолу у зразках фаршу показано на рис. 4.

Рис. 4. Динаміка вмісту  $\alpha$ -токоферолу при зберігання зразків фаршу при 5 °С



При T0 не було суттєвої різниці між концентраціями  $\alpha$ -токоферолу в зразках фаршу та його значення знаходилося в межах 1,35–1,56 мг/100г фаршу. Використання екстрактів 2,5СКВ та 5СКВ забезпечило незначне зменшення вмісту  $\alpha$ -токоферолу, яке склало після 96 годин зберігання 1,07 та 1,22 мг/100г фаршу відповідно.

На відміну від цього, спостерігалось значне зниження вмісту  $\alpha$ -токоферолу в контролі та у фаршах, до яких додавали водні екстракти. Фарш, що містив 2,5 та 5 г/кг водних екстрактів, показав найнижчу концентрацію  $\alpha$ -токоферолу наприкінці періоду зберігання: 0,68 та 0,64 мг/100г фаршу. Використання етанольних екстрактів забезпечило кінцеві значення вмісту  $\alpha$ -токоферолу на рівні 0,81–0,83 мг/100г фаршу.

З цих результатів видно, що субкритичні екстракти були дуже ефективними у уповільненні окислення ліпідів рибного фаршу. Таким чином, загальний порядок окислювальної стабільності становить 5 СКВ > 2,5 СКВ > 5 Е > 2,5 Е > 5 В > контроль.

Отримані нами результати узгоджуються з роботою [25], де було виявлено, що етанольні екстракти мали вищу антиоксидантну активність порівняно з водними екстрактами при дослідженні емульгованих олій та роботою [27], де повідомляли, що етанольні екстракти картоплі ефективно уповільнюють окислення ліпідів у м'ясі ягнятини. Повідомлялося, що ліофілізований екстракт картопляної шкірки ефективно контролює окислення ліпідів та зміни кольору під час холодного зберігання яловичих котлет, хоча й меншою мірою, ніж порівняно з кореневищами імбиру та насінням пажитника [28]. Отримані нами результати свідчать, що субкритичні та етанольні екстракти картоплі запобігають окисленню ліпідів у такій чутливій до окислення системі, як фарш з скумбрії.

Наведені вище результати показують, що високий рівень інгібування окислення ліпідів у фарші скумбрії добре корелює з високим загальним вмістом фенолів у субкритичних та етанольних екстрактах. Окрім загального вмісту фенолів, окремі фенольні сполуки в екстрактах також відіграють важливу роль в їхній антиоксидантній активності. СКВ та етанольні екстракти містили значно вищі рівні кавової та гентизинової кислот і слідові рівні сиригової та саліцилової кислот порівняно з водними екстрактами.

Нижча ефективність водних екстрактів у уповільненні окислення ліпідів може бути пов'язана або з прооксидантним ефектом деяких спільно екстрагованих сполук, таких як аскорбінова кислота, або деяких фенольних сполук, які присутні у більших кількостях у водних екстрактах. Водні екстракти містили значно вищі рівні галової кислоти порівняно з етанольними екстрактами. У багатофазній системі, такій як рибний фарш, на антиоксидантну активність впливає кілька факторів, включаючи концентрацію антиоксидантів, розподіл антиоксидантів та взаємодію з іншими сполуками, такими як перехідні метали. Автори роботи [29] повідомляли, що галова кислота та епігалокатехін переважно локалізовані у водній фазі, і таким чином мають менший доступ до ліпідних пероксильних радикалів. Це може бути однією з причин нижчої ефективності водних екстрактів у запобіганні окисленню ліпідів порівняно з етанольними nF СКВ екстрактами. Однак, автори роботи [30] показали, що кавова кислота, незважаючи на її локалізацію у водній фазі, була ефективнішою у уповільненні перекисного окислення ліпідів у фарші ставриди, ніж інші гідроксикоричні та бензойні кислоти. Вони також припустили, що висока антиоксидантна ефективність пов'язана з відмінними відновлювальними властивостями кавової кислоти, а не з її металохелатною здатністю.

*Зміни білка під час зберігання при 5 °C.* Окислення ліпідів та білків каталізується одними й тими ж сполуками. Ці процеси можуть розвиватися незалежно або паралельно [31]. Більше того, ці два процеси можуть взаємодіяти один з одним. Таким чином, добре відомо, що радикали, гідропероксиди та вторинні сполуки, що утворюються в результаті окислення ліпідів, реагують з білком, що призводить до втрати функціональності білка. Альдегіди, що утворю-

ються під час окислення ліпідів, можуть взаємодіяти з аміногрупами білка, утворюючи продукти основи Шиффа [32].

Утворення карбонільних сполук білка є однією з найважливіших змін, що відбуваються під час окислення білків та характеризує ступінь пошкодження білкових молекул (окиснення білків). Деякі основні амінокислоти, такі як лізин, гістидин, пролін та аргінін, утворюють карбонільні сполуки, і тому концентрація таких сполук є значущим показником окислювального статусу м'язових білків [33]. Динаміка вмісту карбонільних сполук білків при зберіганні зразках фаршу скумбрії показана на рис. 5.

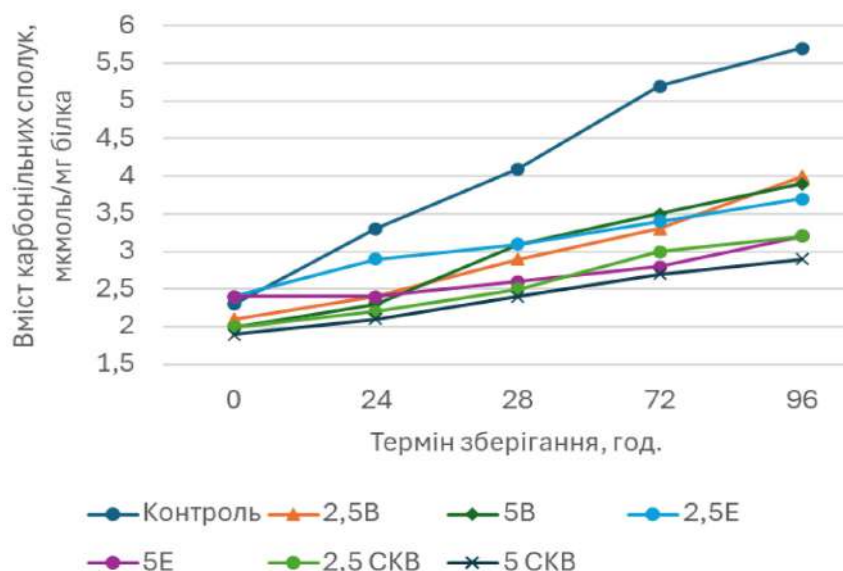


Рис. 5. Динаміка вмісту карбонільних сполук у зразках фаршу скумбрії

При T0 не було суттєвої різниці у вмісті карбонільних груп білків між групами обробки. У міру продовження зберігання окислення білка було очевидним за значним збільшенням вмісту карбонільних груп білків.

Наприкінці періоду зберігання контрольна група показала найвищий (5,7 моль/мг білка), а фарш з 2,5 та 5 г/кг СКВ екстрактів – найнижчий рівень вмісту карбонільних груп. Порядок захисту від утворення карбонільних сполук становив 5 СКВ > 2,5 СКВ > 5 Е > 2,5 Е > 5 В > 2,5 В > контрольна група. Утворення карбонільних сполук білка є другою ознакою окислення білка через взаємодію білків з вторинними продуктами окислення ліпідів. Найнижчий вміст карбонільних сполук у фарші з екстрактами 5 СКВ та 2,5 СКВ свідчить про потужну захисну роль цього екстракту проти окислення білків. Було виявлено, що деякі фенольні кислоти, фенольні дитерпени, флаванолі [34, 35] пригнічують утворення карбонільних сполук білка в м'ясних продуктах. Аналогічно, у нашому дослідженні також багаті на фенолі екстракти картопляної шкірки запобігали утворенню карбонільних білків і, таким чином, окисленню білків. Було висловлено припущення, що фенольні сполуки пригнічують окислення білків або шляхом уповільнення реакцій окислення ліпідів, або шляхом зв'язування з білками, або шляхом утворення комплексу з ними [35].

Наявність ароматичного кільця в залишках триптофану та тирозину відповідає за природну флуоресценцію, що випромінюється цими амінокислотами при 350 нм та 310 нм при збудженні при 280 та 270 нм відповідно. Флуоресценція триптофану та тирозину показує, як добре вона корелює з їх концентрацією та деградацією. Більше того, у роботі [36] було показано, що утворення бітрозину при окисленні радикалами зменшує флуоресценцію. Таким чином, зміни власної флуоресценції можна використовувати для моніторингу структурних

змін у білках. У нашому дослідженні спектр флуоресценції тирозину нагадував спектр триптофану, але інтенсивність флуоресценції тирозину була нижчою, ніж у триптофані при збудженні при 270 нм та 280 нм відповідно. Це може бути пов'язано з тим, що тирозин є слабшим випромінювачем, ніж триптофан. Флуоресценцію залишків триптофану та тирозину вимірювали та представляли у вигляді % втрати інтенсивності флуоресценції (рис. 6).

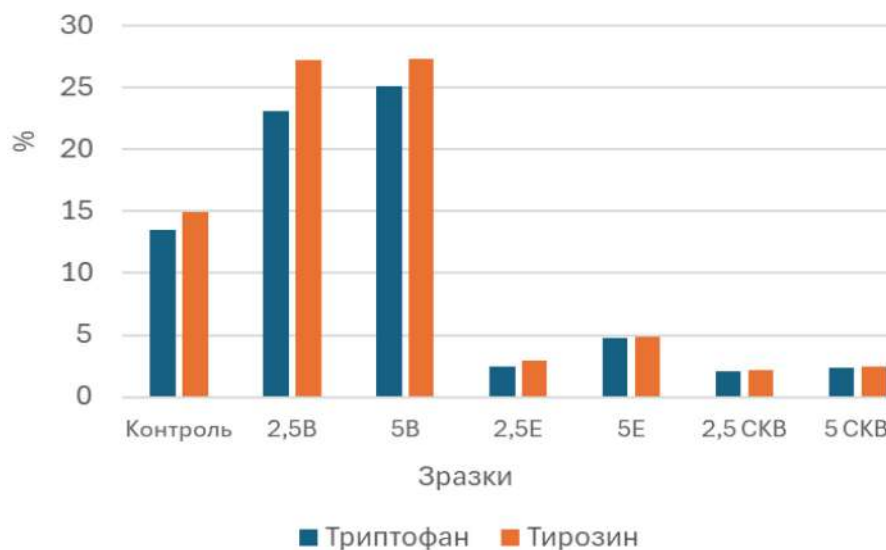


Рис. 6. Відсоток втрати флуоресценції триптофану та тирозину у фарші скумбрії при додаванні водних, етанольних та субкритичних екстрактів

Фарш з СКВ та етанольними екстрактами показав значно вищий захист від втрати флуоресценції триптофану та тирозину, тоді як фарш, що містив водні екстракти, показав значно нижчий захист від втрати триптофану та тирозину порівняно з контролем. Цей результат узгоджується з динамікою показника ПЧ. Наведені результати узгоджується з даними роботи [37], де показано, що втрата флуоресценції триптофану є ранньою подією окислення білка та слідує за первинними продуктами окислення. Зниження власної флуоресценції триптофану та тирозину можна пояснити фізико-хімічними змінами в білках, включаючи ті, що походять від окисляючого стресу. Різниця у відсотках втрат флуоресценції триптофану та тирозину у фарші скумбрії при додаванні водних, етанольних та субкритичних екстрактів може бути пов'язана з нижчим рівнем окислення ліпідів, що пояснюється високою концентрацією фенольних сполук, включаючи кавову кислоту, в цьому екстракті.

Серед гідроксикоричних кислот, кавова та хлорогенова кислоти, як повідомлялося, мають більш виражений антиоксидантний ефект щодо окислення триптофану [38]. Рослинні фенольні сполуки відомі як окисно-відновні сполуки, що проявляють антиоксидантну та прооксидантну дію залежно від їх концентрації та наявності інших окисно-відновних сполук. Отже, загальний ефект (антиоксидантний або прооксидантний) рослинних фенольних сполук значною мірою визначається балансом між антиоксидантною та прооксидантною дією. Вища втрата триптофану та тирозину у фаршах, що містять водні екстракти, узгоджується з вимірюванням ПЧ і може бути пов'язана з вищим окисленням ліпідів та/або прооксидантною дією певних фенольних сполук та коекстрагованих сполук на білки.

*Колір.* При дослідження кольору (світлота  $L^*$ , почервоніння  $a^*$  та жовтизна  $b^*$ ) зразків фаршу спостерігалось значне зниження почервоніння у всіх групах, і контрольна група мала найменше почервоніння наприкінці терміну (рис. 7). Це вказує на те, що фарш, оброблений екстрактами, запобіг окисленню гемових білків, гемоглобіну та міоглобіну, які є червоними у відновленій

формі та коричневими в окисленій формі заліза. Не спостерігалось суттєвої зміни жовтизни у фарші з етанольними екстрактами, але контрольний варіант та фарш з водними екстрактами показали значне збільшення жовтизни при зберіганні.

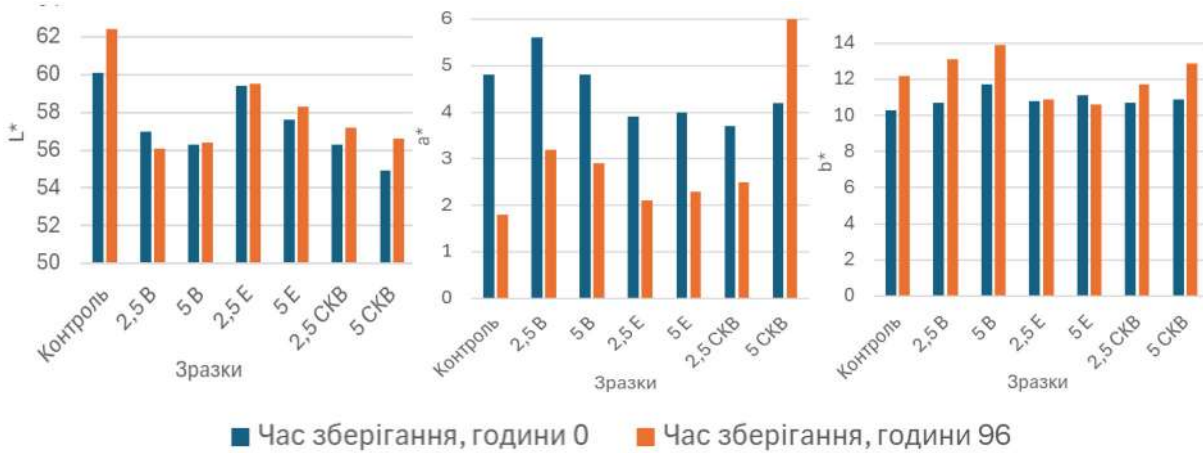


Рис. 7. Показники кольору досліджуваних зразків фаршу скумбрії

Збільшення жовтизни в контрольному та водному екстрактах може бути пов'язане зі збільшенням окислення ліпідів, і ці дані також добре корелюють зі значеннями ПЧ. Альдегіди, що утворюються в результаті окислення ліпідів, здатні дуже швидко модифікувати деякі амінокислотні залишки, такі як лізин, що утворює піроли, які за допомогою реакції полімеризації відповідають за зміни кольору. Хоча зміни кольору, пов'язані з окисленням ліпідів, повідомляються, зміни кольору в цьому дослідженні важко порівняти з окисленням ліпідів або білків, оскільки самі екстракти мають певний колір (жовтий для етанольних екстрактів і чорний для водних екстрактів) і можуть мати певний вплив на колір.

Сенсорний аналіз фаршу та рибних ковбасок з фаршу скумбрії. Згідно обраної методики, сенсорний аналіз фаршу було проведено з використанням дискрипторів запаху (рис. 8). Коефіцієнт конкордації, розрахований за результатами роботи експертної групи ( $W = 0,78$ ) показав високий рівень узгодженості оцінок.

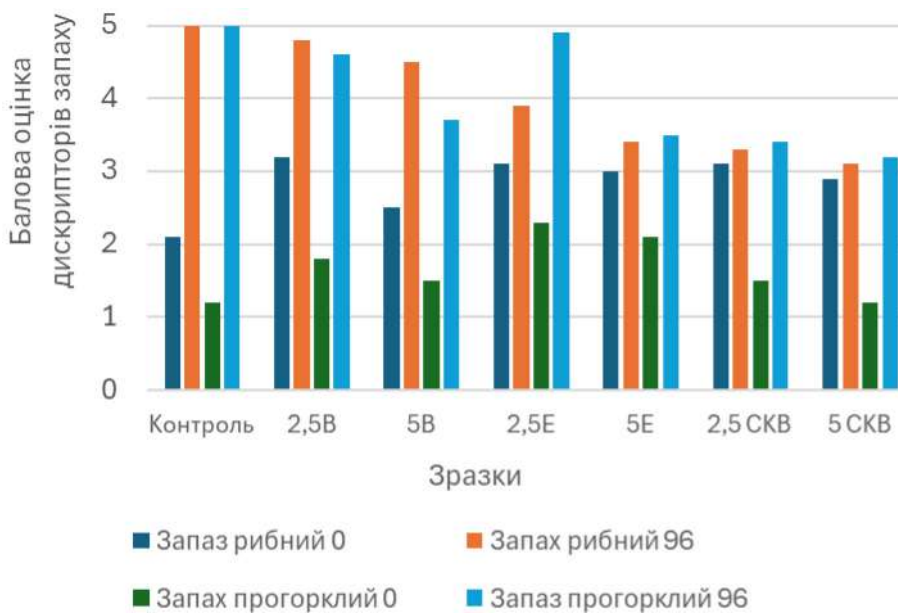


Рис. 8. Балова оцінка дискрипторів запаху досліджуваних зразків фаршу скумбрії

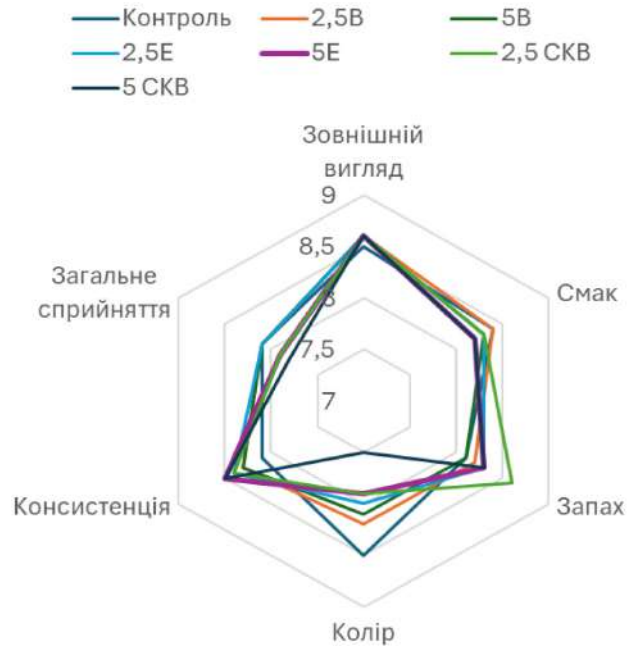


Рис. 9. Профілограма сенсорного оцінювання ковбасок з фаршу скумбрії, виготовлених із додаванням екстрактів картопляної шкірки

Загалом, спостерігалось збільшення рибного та прогірклого запахів для всіх зразків фаршу після зберігання. Дані сенсорного аналізу для фаршу погано корелюють з ПЧ та іншими параметрами окислення. Тим не менш, сенсорні дані також вказують на те, що 5 Е, 2,5 СКВ та 5 СКВ екстракти з картопляної шкірки потенційно можуть зменшити окислювальне погіршення смаку рибного фаршу.

На рис. 9 наведена профілограма показників сенсорного оцінювання ковбасок, виготовлених із розроблених зразків фаршу.

Аналіз результатів свідчить про несуттєве зменшення показника «смак» для ковбасок з 5 СКВ екстрактом (8,2 бали) у порівнянні з контролем (8,4 бали), зменшенні оцінок кольору з 8,5 до 7,5 та «загального сприйняття» з 8,1 до 7,8. В той же час, оцінка за «зовнішнім виглядом» підвищилася з 8,5 до 8,6; запаху – з 8,1 до 8,3. В цілому, всі досліджувані зразки ковбасок з екстрактами 2,5В, 5В та 2,5Е за показником «загального сприйняття» (8,1) відповідали контрольному зразку (8,1). Зменшення балів за даним показником для зразків ковбасок з екстрактами 5Е, 2,5СКВ та 5СКВ було несуттєвим (<1 %).

**Висновки.** Екстракти з картопляної шкірки є ефективним природнім антиоксидантом при пролонгація термінів зберігання рибних продуктів та фаршу скумбрії (*Scomber scombrus*). Додавання субкритичних екстрактів з картопляної шкірки в концентрації 2,5 та 5 г/кг фаршу забезпечило найкращий захист від окислення ліпідів та білків у фарші скумбрії. Висока ефективність субкритичних та етанольних екстрактів корелювала з вищим загальним вмістом фенолів та кавової кислоти в цих екстрактах. Субкритичні та етанольні екстракти зменшують втрату токоферолу, що вказує на зберігання токоферолу фенольними сполуками. Водні екстракти показали нижчу ефективність та/або проокислювальну дію. Це може бути пов'язано з низьким вмістом фенолів та/або проокислювальною дією певних фенольних сполук та коекстрагованих сполук. Утворення карбонільних сполук білка є другою ознакою окислення білка через взаємодію білків з вторинними продуктами окислення ліпідів. Найнижчий вміст карбонільних сполук у фарші з екстрактами 5 СКВ та 2,5 СКВ свідчить про потужну захисну роль цих екстрактів проти окислення білків. Таким чином, результати цього дослідження свідчать

про те, що субкритичні та етанольні екстракти картопляної шкірки можуть бути використані як природний антиоксидант для запобігання окисленню ліпідів та білків рибного філе/фаршу скумбрії при охолодженню зберіганні.

#### Список використаних джерел

1. Chen J., Jayachandran M., Bai W., & Xu B. A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chemistry*, 2022. 369. 130874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874>
2. Longteng Zhang, Qian Li, Yulong Bao, Yuqing Tan, René Lametsch, Hui Hong, Yongkang Luo. Recent advances on characterization of protein oxidation in aquatic products: A comprehensive review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2024;64(6):1572-1591. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2117788>
3. Sheng L., & Wang L. The microbial safety of fish and fish products: Recent advances in understanding its significance, contamination sources, and control strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020. 20(1), 738–786. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12671>
4. Nie X., Zhang R., Cheng L., Zhu W., Li S., & Chen X. Mechanisms underlying the deterioration of fish quality after harvest and methods of preservation. *Food Control*, 2022. 135, 108805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108805>
5. Liu R., & Mabury S. A. Synthetic phenolic antioxidants: A review of environmental occurrence, fate, human exposure, and toxicity. *Environmental Science & Technology*, 2020. 6. 54(19), 11706–11719. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05077>
6. Xu X., Liu A., Hu S., Ares I., Martínez-Larranaga M. R., Wang X., et al. Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards and mechanism of action. *Food Chemistry*, 2021. 15(353), 129488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129488>
7. Basavegowda N., & Baek K. H. Synergistic antioxidant and antibacterial advantages of essential oils for food packaging applications. 2021. *Biomolecules*, 2, 11(9). 1267. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11091267>
8. Huang X., Lao Y., Pan Y., Chen Y., Zhao H., Gong L., et al. Synergistic antimicrobial effectiveness of plant essential oil and its application in seafood preservation: A review. *Molecules*, 2021. 26, 307. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26020307>
9. Shahidi F., & Hossain A. Preservation of aquatic food using edible films and coatings containing essential oils: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022. 62(1), 66–105. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1812048>
10. Leandro Presenza, Bianca Ferraz Teixeira, Juliana Antunes Galvao, Thais Maria Ferreira de Souza Vieira. Technological strategies for the use of plant-derived compounds in the preservation of fish products. Review. *Food Chemistry* 2023. 419. 136069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136069>
11. Khanal S., Karimi K., Majumdar S. et al. Sustainable utilization and valorization of potato waste: state of the art, challenges, and perspectives. *Biomass Conv. Bioref.* 2024. 14, 23335–23360. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04521-1>
12. Nabia Ijaz, Shahid Bashir, Ali Ikram, Aimen Zafar, Huma Bader Ul Ain, Saadia Ambreen, Muhammad Ahmad, Riyadh S. Almalki, Muhammad Zubair Khalid, Waseem Khalid. Valorization of potato peel: a sustainable eco-friendly approach. Review Article. *CyTA – Journal of Food* 2024, Vol. 22, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2306951>
13. Salem M.A., Mansour H.E.A., Mosalam E.M. et al. Valorization of by-products Derived from Onions and Potato: Extraction Optimization, Metabolic Profile, Outstanding Bioactivities, and Industrial Applications. *Waste Biomass Valor* 2023. 14, 1823–1858. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-022-02027-x>
14. Franková H., Musilová J., Árvay J., Harangozo L., Šnirc M., Vollmannová A., Lidiková J., Hegedúsová A., Jaško E. Variability of Bioactive Substances in Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) Depending on Variety and Maturity. *Agronomy*. 2022. 12. 1454. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061454/>
15. Micael de Andrade Lima, Rafaela Andreou, Dimitris Charalampopoulos and Afroditi Chatzifragkou. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Phenolic Compounds from Potato (*Solanum tuberosum*) Peels. *Appl. Sci.* 2021, 11(8), 3410. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11083410>



16. Jimenez-Champi D., Romero-Oregon F. L., Moran-Reyes A., Muñoz A. M., Ramos-Escudero F. Bioactive Compounds in Potato Peels, Extraction Methods, and Their Applications in the Food Industry: A Review. *CYTA – J. Food* 2023, 21, 418–432. <https://doi.org/10.1080/19476337.2023.2213746>
17. Martínez-Inda B., Esparza I., Moler J.A., Jiménez-Moreno N., Ancin-Azpilicueta C. Valorization of Agri-Food Waste through the Extraction of Bioactive Molecules. Prediction of Their Sunscreen Action. *J. Environ. Manag.* 2023, 325, 116460. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116460>
18. Valerii O. Sukmanov, Olena V. Kovalchuk. Influence of extraction parameters on the properties of subcritical water extracts of soybean meal. *Journal of Chemistry and Technologies.* 2023. Vol. 31 No. 1. 72–81. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-256-264>
19. Valerii A. Sukmanov, Andrey V. Suprun. Extraction of biologically active substances from onion peel with the subcritical water in a static mode. *Journal of Chemistry and Technologies.* 2021. 29(2). 265–278. URL: <http://chemistry.dnu.dp.ua/issue/view/14066>
20. AOAC (1995). Official method of analysis (16th ed.). Arlington, VA, USA: AOAC.
21. Gotoh N., Miyake S., Takei H. et al. Simple Method for Measuring the Peroxide Value in a Colored Lipid. *Food Anal. Methods.* 2011. 4, 525–530. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9193-5>
22. AOCS (1992). Official method Ce 8-89. Determination of tocopherols and tocotrienols in vegetable oils and fats by HPLC. Champaign, IL: AOCS.
23. Levine R. L., Williams J. A., Stadtman E. R., & Shacter E. Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins. *Method in Enzymology*, 1994. 233, 346–357. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(94\)33040-9](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(94)33040-9)
24. J. Zhang, C. Wen, H. Zhang. Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review. *Trends in Food Science & Technology.* 2020. Vol.95. P. 183–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.018>
25. Habeebullah S. F. K., Nielsen N. S., & Jacobsen C. Antioxidant activity of potato peel extracts in a fish-rapeseed oil mixture and in oil-in-water emulsions. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 2010. 87. 1319–1332. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1611-0>
26. Mota F. L., Queimada A. J., Pinho S. P., & Macedo E. A. Aqueous solubility of some natural phenolic compounds. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2008. 47. 5182–5189. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie071452o>
27. Kanatt S. R., Chander R., Radhakrishna P., & Sharma A. Potato peel extract a natural antioxidant for retarding lipid peroxidation in radiation processed lamb meat. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2005. 53. 1499–1504. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf048270e>
28. Mansour E. H., & Khalil A. H. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application to ground beef patties. *Food Chemistry.* 2000. 69. 135–141. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00234-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00234-4)
29. Rice-Evans C. A., Miller N. J., & Paganga G. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science Reviews*, 1997. 2, 152–159. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01018-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2)
30. Medina I., Gallardo J. M., Gonzalez M. J., Lois S., & Hedges N. Effect of molecular structure of phenolic families as hydroxycinnamic acids and catechins on their antioxidant effectiveness in minced fish muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007. 55. 3889–3895. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf063498i>
31. Karel M., Schaich K., & Roy R. B. Interaction of peroxidizing methyl linoleate with some proteins and amino acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1975. 23. 159–163. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf60198a046>.
32. Guadalupe López-García, Octavio Dublan-García, Daniel Arizmendi-Cotero, Leobardo Manuel Gómez Oliván. Antioxidant and Antimicrobial Peptides Derived from Food Proteins. *Molecules.* 2022 Feb 16;27(4):1343. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27041343>
33. Dalle-Donne I., Rossi, R., Giustarini D., Milzani A., & Colombo R. Protein carbonyl group as biomarkers of oxidative stress. *Clinica Chimica Acta*, 2003. 329. 23–38. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-8981\(03\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0009-8981(03)00003-2)
34. Vuorela S., Salminen H., Mäkelä M., Kivikari R., Karonen M., & Heinonen M. Effect of plant phenolics and protein and lipid oxidation in cooked pork meat patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2005. 53(22). 8492–8497. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf050995a>.
35. Salminen H., Estevez M., Kivikari R., & Heinonen M. Inhibition of protein and lipid oxidation by rapeseed, camelina and soy meal in cooked pork meat patties. *European Food Research and Technology*, 2006. 223(4). 461–468. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0225-5>



36. Davies K. J. A., Delsignore M. E., & Lin S. W. Protein damage and degradation by oxygen radicals. I. Modification of amino acids. *Journal of Biological Chemistry*. 19. 87262. 9902–9907. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)48019-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)48019-2)

37. Rampon V., Lethuaut L., Mouhous-Riou N., & Genot C. Interface characterization and aging of bovine serum albumin stabilized oil-in-water emulsions as revealed by front-surface fluorescence. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001. 49. 4046–4051. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf001170y>

38. Salminen H., & Heinonen M. Plant phenolics affect oxidation of tryptophan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. 56(16). 7472–7481. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf800708t>

*Дата першого надходження статті до видання: 10.03.2026*

*Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026*

*Дата публікації (оприлюднення) статті: 18.05.2026*

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



**V. Sukmanov, A. Polishchuk, M. Ilchenko, B. Shaferivskiy, O. Fesenko**  
**Poltava State Agrarian University**

## **PROLONGATION OF SHELF LIFE OF FISH PRODUCTS AND MACKEREL (*SCOMBER SCOMBRUS*) MIXED BY ADDING POTATO PEEL EXTRACT**

### *Summary*

The article investigates the effectiveness of using extracts (aqueous, ethanolic and subcritical) from potato peels in prolonging the shelf life of minced mackerel. Subcritical extraction of potato peels 0.6 ± 0.1 mm. at 180 °C, hydromodulus 1:20 and 40 min. provided the maximum yield of total phenolic compounds at the level of 95.7 ± 0.6 mg/100 g of raw material; The antioxidant properties of extracts obtained by maceration technology (aqueous and ethanolic) and extraction with subcritical water were compared. The peroxide value of minced mackerel with the addition of 2.5 and 5 g of subcritical extract per 100 minced meat after 96 hours of storage was 1.15 and 0.92 mEq/kg of minced meat, respectively, with 5.98 for the control sample. The use of subcritical extracts compared to aqueous and ethanolic extracts ensured maximum preservation of  $\alpha$ -tocopherol, (1.07 and 1.22 mg/100g of minced meat). At the end of the storage period, the control group showed the highest (5.7 mmol/mg protein), and minced meat with 2.5 and 5 g/kg of subcritical extracts showed the lowest level of carbonyl groups (3.2 and 2.9 mmol/mg protein), respectively. Subcritical and ethanolic extracts reduced the loss of tocopherol. Evaluation of the color of minced meat samples indicated that the addition of extracts prevented the oxidation of heme proteins, hemoglobin and myoglobin, which are red in the reduced form and brown in the oxidized form of iron. No significant change in yellowness was observed in minced meat with ethanolic extracts, but the control and minced meat with aqueous extracts showed a significant increase in yellowness during storage.

Sensory evaluation of minced meat using odor descriptors and fish sausages according to the following indicators: appearance, color, taste, odor, consistency (structure) and overall perception, indicate that subcritical and ethanolic extracts of potato peel can be used as a natural antioxidant to prevent lipid and protein oxidation of minced mackerel fish during refrigerated storage.

**Keywords:** fish products, minced fish, properties of minced mackerel, shelf life, antioxidants, extracts, lipid and protein oxidation.