

УДК: 2. 664.64.016:54.021:547.979-046:001.891
DOI: 10.15673/swonaft.v89i2.3406

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПРИРОДИ БОРОШНЯНОЇ СУМІШІ НА ВОДОРОЗЧИННІ ВЛАСТИВОСТІ І ФАРБУЮЧУ ЗДАТНІСТЬ КУРКУМІНУ

Малинка О.В.¹, к.х.н., доцент, Малинка Є.О.², к.х.н.,
Антіпіна О.О.³, к.т.н., доцент, Сіваченко А.В.⁴, магістр
^{1,3,4}Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

²Одеське управління Департаменту податкових та митних експертиз ДФС, м. Одеса

ORCID: ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8894-6575>; ² <http://orcid.org/0009-0002-2265-2221>;

³ <http://orcid.org/0000-0001-6633-5178>; ⁴ <https://orcid.org/0009-0009-7493-9583>

E-mail: ¹onahtan@ukr.net; ²malynka.eo@gmail.com, ³antipina.onaft@gmail.com, ⁴antoxa05092001@gmail.com

Copyring © 2025 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under Vthe Creative Commons Attribution International License (CC By).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Анотація: робота присвячена вивченню впливу природи борошняної суміші з добавками куркуми на водорозчинні властивості і фарбуючу здатність куркуміну. Проведена експертна оцінка якості чотирьох зразків борошняних сумішей, з яких виготовляли тісто для хінкалі. Встановлено, що додавання до пшеничного борошна горохового, рисового або амарантового призводить до зміни масової частки білків, золи, жиру, крохмалю і води, практично не змінюється активна кислотність. Встановлена залежність спектральних характеристик куркуміну, внесеного до складу борошняних сумішей, від природи складників суміші. Спектрофотометричним методом визначений вміст куркуміну в куркумі, який склав 4,2%. Методом оптичної мікроскопії проведено морфологічне дослідження зразків борошняних сумішей з додаванням порошку куркуми до та після варки борошняних виробів.

Основним компонентом та структурним елементом борошна є крохмаль, і в залежності від природи борошна частинки крохмалю відрізняються за мікроструктурою та розміром. Крохмаль пшеничного борошна є крохмалем бімодального типу: основу складають гранули дискподібної еліптичної або круглої форми, які мають діаметр 10-35 мкм (тип А), тоді як крохмаль типу Б має сферичну або багатокутну форму з діаметром <10 мкм. Зерна рисового крохмалю багатогранної форми розміром 3-8 мкм. Горохове борошно за мікроструктурою представляє собою крохмальні зерна овальної, еліптичної, круглої та округло-овальної форми розміром 10-40 мкм, сім'ядолі та їх фрагменти, дрібні фрагменти стінок клітин неправильної форми та дрібних частинок протеїну. У випадку цілюзернового амарантового борошна спостерігаються частинки від 1 до 100 мкм. Дрібні частинки (1-2 мкм) відносяться до гранул амарантового крохмалю. Крохмальні гранули амарантового борошна полігональної форми. Слід зазначити, що при внесенні до борошна куркуми, її частинки розподілені в суміші випадковим чином у неагрегованому вигляді. Для всіх видів борошна після варки характерними морфологічними ознаками є структура, яка утворена крохмально-протеїновою матрицею/сіткою, в якій розподілені полідисперсні частинки куркуми.

Зроблено припущення, що розчинні білки амаранту утворюють комплексні сполуки з куркуміном, збільшують його розчинність у воді і вимиваються з продукту. Оптична густина розчинів корелює з розчинністю борошна (для горохового та амарантового цей показник найбільший). ІЧ-спектри водних екстрактів відповідають сумішам крохмалю та протеїнів, що збігається з даними літератури про утворення комплексів куркуміну з протеїнами. Таким чином, при введенні куркуми до складу борошняного продукту, можливе одночасне досягнення кількох цілей, а саме: збагачення біологічно активними речовинами та забарвлення продукту, а для сумішей з гороховим або амарантовим борошном – утворення водорозчинного куркуміну.

Ключові слова: експертиза, куркумін, хінкалі, борошняна суміш

Вступ. Підвищення якості і функціональності харчових продуктів необхідно для поповнення внутрішніх ресурсів людини, підтримки емоційної стабільності та стійкості до стресу, тому експерименти зі складом, технологією виробництва стають актуальними завданнями для дослідників харчової промисловості. Перспективним напрямком є збагачення продуктів харчування дієтичними добавками.

Однією з таких добавок є куркумін (КК) з кореня куркуми *Curcuma longa* L. В роботах [1,2] доводиться, що куркумін виявляє антиоксидантну, протизапальну, протівірусну, антибактеріальну, протигрибкову та протипухлинну дію. З іншого боку куркумін є натуральним харчовим жовтим барвником Е 100. Незважаючи на широкий спектр корисних властивостей, застосування куркуміну як біологічно активного агента в різних функціональних продуктах було обмеженим через його низьку розчинність у воді, а також невелику хімічну стабільність, тому дослідження способів підвищення біологічної активності куркуміну через покращення його розчинності у воді є актуальним завданням.

Модельним продуктом на якому проводили наукові дослідження було обрано хінкалі. Хінкалі мають добрі смакові якості та користуються високим попитом у населення. В процесі їх приготування рослинні білки пшеничного борошна комбінуються з тваринними білками м'яса, сиру, молока, яєць. Змішування пшеничного борошна з іншими видами борошна надає можливість модифікації складу для покращення поживної цінності та функціональних властивостей готового продукту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Куркумін відноситься до поліфенольних сполук і має високу здатність утворювати молекулярні комплекси з білками (такими як сироваткові білки, бичачий сироватковий альбумін, β -лактоглобулін), вуглеводами, ліпідами та природними сполуками (наприклад, ресвератрол, піперин, кверцетин). Ці комплекси підвищують біоактивність і біодоступність куркуміну. В роботах [3-6] було досліджено його комплексоутворення з різними білками, такими як сироватковий альбумін, ізолят сироваткового білка, концентрат сироваткового протеїну, казеїн, соєві білки. Авторами [7] було показано, що розчинність КК у воді була покращена завдяки утворенню комплексу з харчовими білками, повідомлялося, що гідрофобні взаємодії відіграють важливу роль у комплексоутворенні куркуміну та харчового білка, а КК зв'язується з гідрофобними доменами білкових молекул, особливо із залишками ароматичних амінокислот. Також водневі зв'язки можуть сприяти утворенню бінарних систем КК - білок [8]. Не можна також виключити електростатичну взаємодію між куркуміном і харчовими білками, особливо в фізіологічних і лужних умовах. Безумовно, молекули КК можуть бути включені в гідрофобні ділянки білків, але також можуть бути зв'язані на поверхні білків.

Куркумін – це слабка кислота Бренстеда з трьома лабільними протонами [9,10]. Авторами встановлено [9,10], що в нейтральному середовищі переважно присутні нейтральні молекули та іонізовані по першому ступеню аніони куркуміну, які можуть реагувати з позитивно зарядженими фрагментами білків і утворювати комплексні сполуки. У зв'язку з цим можна припустити, що введений в харчовий продукт в якості дієтичної добавки куркумін буде взаємодіяти з водорозчинними білками продукту, змінюючи власні водорозчинні властивості і, відповідно, фарбуючу здатність в залежності від складу і природи продукту.

Мета роботи – вивчення впливу природи борошняної суміші для виготовлення хінкалі на водорозчинні властивості і фарбуючу здатність куркуміну.

Завдання:

- провести експертну оцінку якості борошняних сумішей, збагачених куркумою, для виробництва хінкалі;
- визначити масову частку куркуміну у куркумі спектрофотометричним методом аналізу;
- вивчити вплив природи борошняної суміші для виготовлення хінкалі на водорозчинні властивості і фарбуючу здатність куркуміну методами оптичної мікроскопії, UV-Vis та FTIR-спектроскопії.

Об'єкти і методи дослідження.

Об'єктами дослідження було борошно пшеничне і його суміші із гороховим, рисовим і амарантовим борошном, хінкалі власного виробництва та вода, в якій варили хінкалі. Для дослідження використовувались комерційні зразки борошна.

Борошно амарантове цільозернове, маса нетто 500 г, Home super food, Healthy Generation, ТУ У 10.6-39481629-003-2017, штриховий код 4 820233 350712. Виробник: ТОВ «ХЕЛСІ ДЖЕНЕРЕЙШН», вул. Сучкова, 35, м. Самар, Україна (поживна цінність на 100 г продукту: жири 7.02 г, з яких насичені 2,5 г, білки 13,56 г, вуглеводи 58,55 г, з яких цукрів 8,3 г).

Борошно рисове жорнового помелу, маса нетто 1000 г, Ms. Tally, штриховий код 4 820216 950021. Виробник: ТОВ «Каскад», вул. Полтавський шлях, 34, м. Карлівка, Полтавська обл., 39500, Україна (поживна цінність на 100 г продукту: жири 1,4 г, з яких насичені 0,4 г, білки 6,0 г, вуглеводи 80,1 г, з них цукри 0,1 г)

Борошно пшеничне, ГСТУ 46.000-99, вищий сорт, маса нетто 2 кг, Богуміла, штриховий код 4820006 4107094. Виробник: ТОВ «Хмельницькмлин», вул. Вокзальна, 5, ст.Скібнево, Хмельницький р-н, Хмельницька обл., 31362, Україна (поживна цінність на 100 г продукту: жири 1,4 г, з яких насичені 0,3 г, білки 10,5 г, вуглеводи 74,7 г, з них цукри 4,0 г).

Борошно горохове, ТУ У 10.6-39229984-001:2019, маса нетто 1000 г, Виробник: ТОВ Екоорганік, м. Горішні плавні, Україна (поживна цінність на 100 г продукту: білки 21,1 г, жири 2,2 г, вуглеводи 49,2 г).

Куркума, торговельна марка «Приправка», штриховий код 4 820195 511428, оператор ринку харчових продуктів: ПП «СПС», пр. Любові Малої, 93, м. Харків, 61020.

Масову частку вологи борошна визначали гравіметричним методом згідно ДСТУ 7804:2015. Масову частку жиру в борошні визначали екстракцією н-гексаном в апараті Сокслета згідно ДСТУ 4941:2008. Масову частку хлоридів визначали аргентометричним методом за Мором згідно ДСТУ 4939:2008. Масову частку крохмалю в борошні визначали поляриметричним методом аналізу згідно ДСТУ 4953:2008. Масову частку білків в борошні за К'ельдалем визначали згідно ДСТУ 7824:2015. Активну кислотність визначали згідно ДСТУ ISO 2917-2001 за допомогою рН-метра серії Seven Easy фірми Mettler Toledo (Китай) зі скляним електродом, калібрування якого проводили за допомогою стандартних буферних розчинів. Сиру клейковину визначали по відношенню маси відмитої сирої клейковини до маси наважки борошна (у відсотках згідно ДСТУ ISO 1415-2:2009).

Спектри поглинання реєстрували на спектрофотометрі UV-2401 PC (Shimadzu, Японія). Фарбуючу здатність куркуми (вміст куркуміноїдів в куркумі, виражений як масова частка куркуміну) визначали спектрофотометричним методом згідно ISO 5562:1983.

Мікроструктуру продуктів у воді до та після варки визначали з використанням мікроскопу Leica, модель DM2500, світло прохідне, збільшення 200х.

ІЧ-спектри в таблетках KBr реєстрували з допомогою Інфрачервоного спектрометра з Фур'є перетворенням Spectrum One (Perkin-Elmer). Роздільна здатність 4 см-1, число сканів 16.

Результати досліджень і їх обговорення

Для вивчення впливу природи борошняної суміші для виготовлення хінкалі на водорозчинні властивості і фарбуючу здатність куркуміну була проведена експертна оцінка якості за фізико-хімічними показниками наступних зразків борошняних сумішей: 1 – борошно пшеничне; 2 – борошно пшеничне з куркумою; 3 – борошно пшенично-горохове з куркумою; 4 – борошно пшенично-рисове з куркумою; 5 – борошно пшенично-амарантове з куркумою. В таблиці 1 наведені результати випробування.

Таблиця 1 - Результати випробування якості борошняних сумішей

Нормативні показники	Пшеничне борошно	Пшенично-горохове	Пшенично-рисове	Пшенично-амарантове	НД на методи випробування
Білки, %	10,5	14,3	11,0	19,8	ДСТУ 46.004-99
Жири, %	15,5	10,5	6,3	7,4	ДСТУ 46.004-99
Крохмаль, %	60,7	56,5	69	60,5	ДСТУ 46.004-99
Зольність, %	1,5	2,6	0,6	2,4	ДСТУ ISO 2171:2009
Вологість, %	14	12,5	12,5	12,5	ДСТУ ISO 1442:2005
Сира клейковина, %	24	-	-	-	ДСТУ ISO 1415-2:2009
Активна кислотність, рН	3,3	3,4	3,4	3,3	ДСТУ ISO 2917-2001

Як видно з таблиці 1, додавання до пшеничного борошна горохового призводить до зростання масової частки білків, зольності, зменшення масової частки жиру, крохмалю і води, практично не змінюється кислотність; введення до пшеничного борошна рисового призводить до зростання масової частки крохмалю, значного зменшення жиру, зольності і води, практично не змінилась кислотність і масова частка білків; введення до пшеничного борошна амарантового призводить до зростання масової частки білків, зольності, зменшення масової частки жиру і води, практично не змінилась кислотність і масова частка крохмалю.

З отриманих борошняних сумішей згідно рецептури (таблиця 2) були вироблені п'ять зразків хінкалі, в тісто яких до пшеничного борошна додавали горохове, рисове та амарантове борошно співвідношенням (1:1), з однаковою начинкою, без додавання куркуми (зразок 1) і з додаванням куркуми (зразки 2-5).

Таблиця 2 - Рецептура виготовлення хінкалі

Хінкалі з яловичини та свинини		
Назва сировини	Брутто, г	Нетто, г
Приготування тіста		
Борошно	260	240
Яйця	30	25
Вода	98	85
Сіль	15	15
Цукор	5	5

Куркума	3	3
Вихід н/ф тісто		370
Приготування начинки хінкалі (м'ясного фаршу)		
Яловичина	313	230
Свинина	310	264
Цибуля ріпчаста	57	48
Сіль	9	9
Перець, спеції	1	1
Вода (або бульйон)	100	100
Вихід страви		1000

На рисунку 1 представлені фото зразків тіста для хінкалі, на якому можна бачити, що зразки мають різне забарвлення. Кожний зразок був одночасно зварений у воді в окремому посуді, ємністю 1000 см³ і також відрізнявся за кольором.



1 – борошно пшеничне; 2 – борошно пшеничне з куркумою;
3 – борошно пшенично-горохове з куркумою; 4 – борошно пшенично-рисове з куркумою;
5 – борошно пшенично-амарантове з куркумою

Рис. 1 – Зразки тіста для хінкалі
Fig. 1. Khinkali dough samples

Оскільки для приготування хінкалі використовували приправу куркуму, то було визначено масову частку куркуміну (жовтого харчового барвника Е 100) в куркумі. Суть методу полягала в екстракції фарбувальних речовин куркуми гарячим етанолом, розведенні екстракту і вимірі за допомогою спектрофотометра його оптичної щільності при довжині хвилі 425 нм, яка відповідає максимуму світлопоглинання куркуміну.

Наважку для аналізу меленої куркуми масою 0,5 г зважували з точністю до 0,001 г. Поміщали наважку в екстракційну круглодонну колбу місткістю 100 см³, додавали 30 см³ етанолу і кип'ятили зі зворотним холодильником протягом 2,5 год. Давали можливість охолотитися і фільтрували кількісно в мірну колбу місткістю 100 см³. Ретельно промивали осад на фільтрі, збираючи промивну рідину в мірну колбу. Розбавляли вміст колби до мітки етанолом. За допомогою піпетки переносили 5 см³ відфільтрованого екстракту в мірну колбу місткістю 250 см³. Розбавляли до мітки етанолом. Наповнювали одну з спектрофотометричних кварцових кювет даним розчином, а іншу - етанолом. Вимірювали оптичну густину *OD* при довжині хвилі 425 нм використовуючи етанол в якості розчину порівняння. Спектр поглинання розчину наведено на рис. 2.

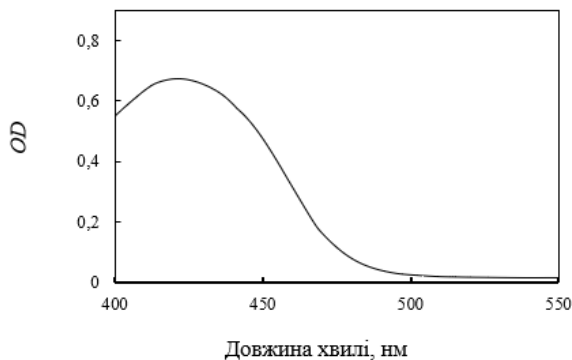


Рис. 2 - Спектр поглинання етанольного екстракту з порошку куркуми
Fig. 2. Absorption spectrum of the ethanol extract from turmeric powder

Масову частку куркуміну (ω , %) розраховували за формулою (1):

$$\omega = \frac{OD \times D \times 100}{E_{1\text{ cm}}^{1\%} \times m}, \%$$
(1)

де OD – оптична густина;

D – розведення екстракту;

$E_{1\text{ cm}}^{1\%}$ – питомий показник світлопоглинання 1% розчину куркуміну, який визначено при довжині хвилі 425 нм з використанням кювет з товщиною поглинального шару 1 см; $E_{1\text{ cm}}^{1\%} = 1607$;

m – маса навжки порошку куркуми для аналізу, г.

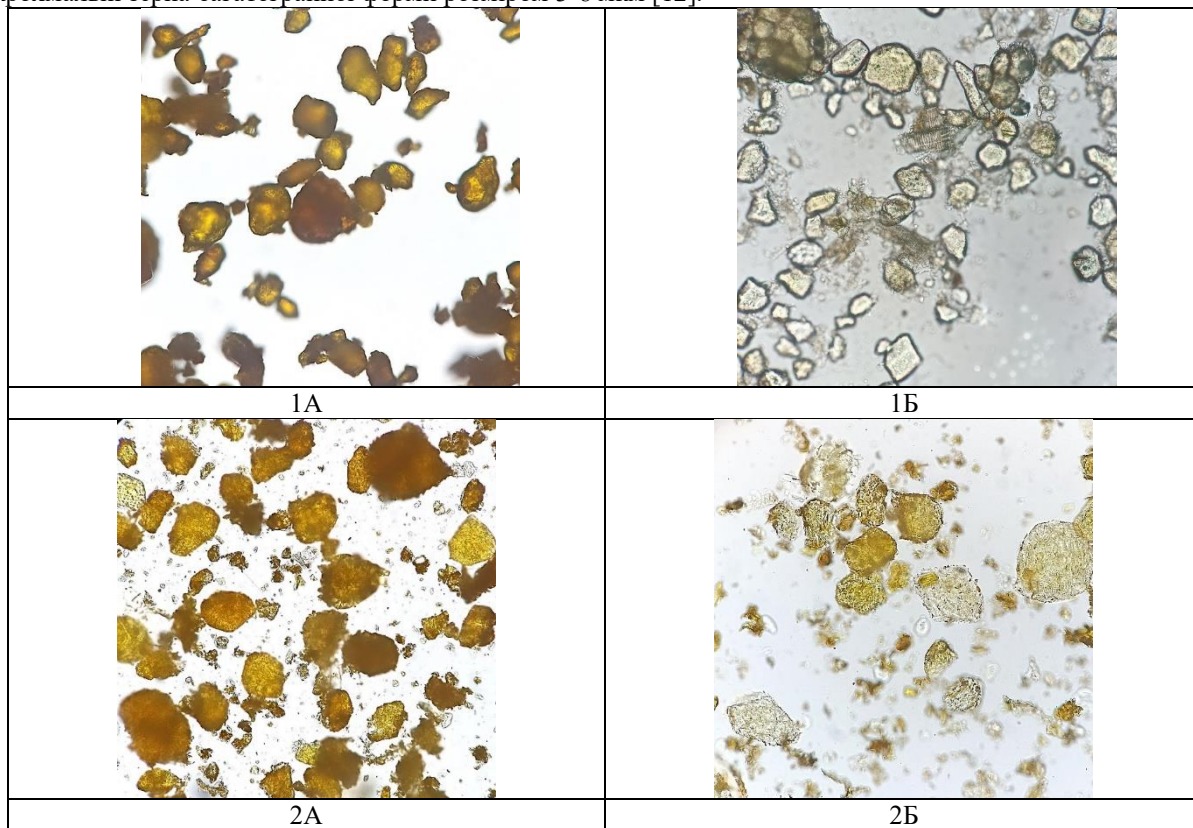
Визначений вміст куркуміну склав $(4,2 \pm 0,2) \%$.

Приготування хінкалі передбачає варку. У зв'язку з цим куркума була піддана варці у воді без інших інгредієнтів. Як видно з рисунку 3, при змішуванні порошку куркуми (1А) з водою спостерігається розпад агрегованих частинок порошку куркуми з утворенням полідисперсної суспензії (2А) з частинками куркуми різного розміру. Присутні частинки розміром від кількох мікрметрів до крупних – від 50 до 125 мкм. При кип'ятінні водної суспензії куркуми протягом 5 хв. спостерігається неповне знебарвлення частинок куркуми (2Б), тобто частина куркуміну з порошку екстрагується водою при високих температурах.

На рисунку 4 представлені мікрофото борошна різних видів, що було змішане з порошком куркуми до та після варки.

Основним компонентом та структурним елементом борошна є крохмаль. В залежності від природи борошна крохмаль відрізняється за мікроструктурою та розміром. Крохмаль пшеничного борошна є крохмалем бімодального типу [11]. Основу складають гранули крохмалю дископодібної еліптичної або круглої форми, які мають діаметр 10-35 мкм (тип А), тоді як крохмаль типу Б має сферичну або багатокутну форму з діаметром <10 мкм (рис. 4).

Як видно з рисунку 4, основним компонентом рисового борошна є рисовий крохмаль у якого крохмальні зерна багатогранної форми розміром 3-8 мкм [12].



1А – порошкоподібна куркума; 1Б - порошок куркуми після екстракції куркуміну;

2А – водна суспензія куркуми; 2Б - водна суспензія куркуми після кип'ятіння

Рис. 3 – Мікрофото порошку куркуми та її водних суспензій, ширина зображення 500 мкм
Fig. 3. Micrographs of turmeric powder and its aqueous suspensions, image width 500 μm

Горохове борошно за мікроструктурою представляє собою крохмальні зерна овальної, еліптичної, круглої та округло-овальної форми розміром 10-40 мкм, сім'ядолі та їх фрагменти, дрібні фрагменти стінок

клітин неправильної форми та дрібних часток протеїну (рис.4) [13].

У випадку цільозернового амарантового борошна спостерігаються частки від 1 до 100 мкм. Дрібні частки 1-2 мкм відносяться до гранул амарантового крохмалю. Крохмальні гранули амарантового борошна полігональної форми (рис.4) [14,15].

Слід зазначити, що при цьому куркума у вигляді крупних та дрібних частинок розподілена в борошні випадковим чином у неагрегованому вигляді.

Знайдено, що під час варки готових виробів частина куркуміну з куркуми переходить у водну фазу, забарвлюючи розчини, спектри поглинання яких представлені на рисунку 5.

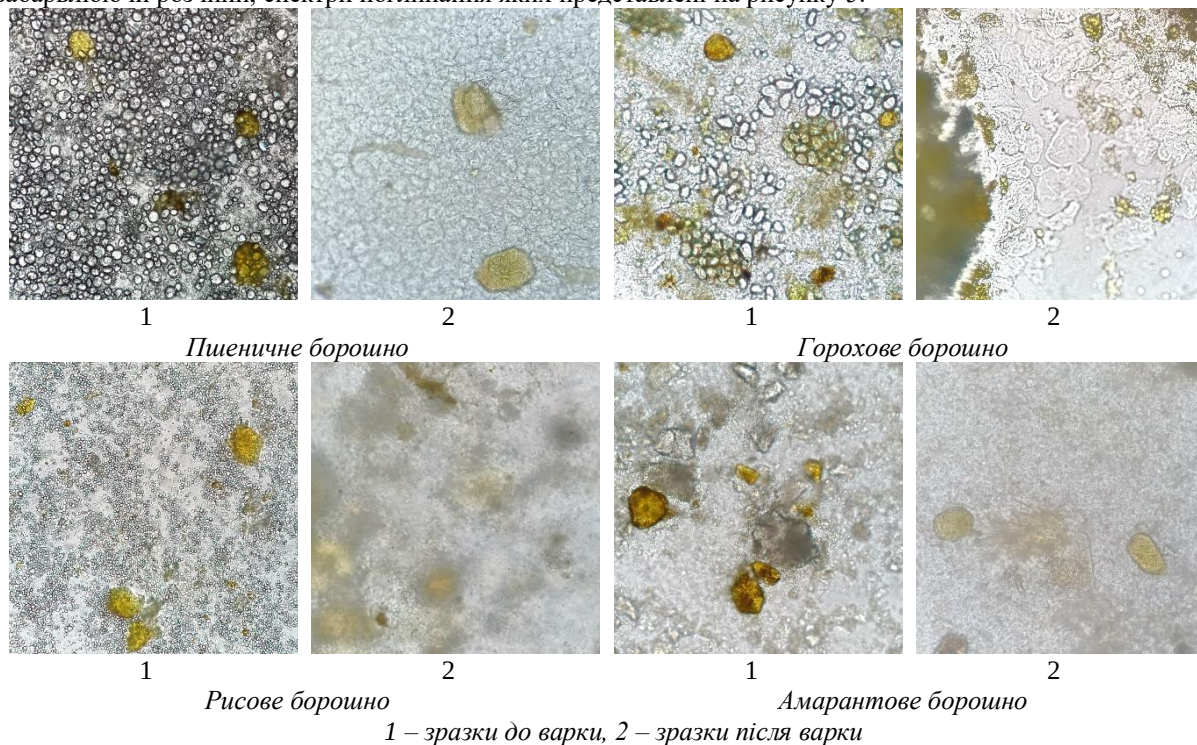
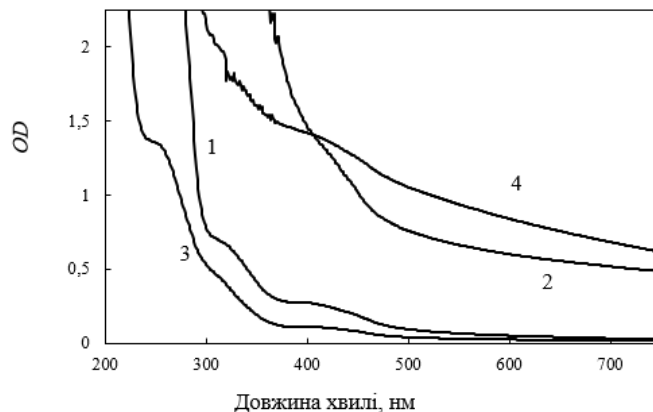


Рис. 4 - Мікрофото різних видів борошна з куркумою; ширина зображення 500 мкм
Fig. 4. Micrographs of different types of flour with turmeric; image width 500 μm



1 – борошно пшеничне; 2 – борошно пшеничне з куркумою; 3 – борошно пшенично-горохове з куркумою; 4 – борошно пшенично-рисове з куркумою; 5 – борошно пшенично-амарантове з куркумою

Рис. 5 – Спектри поглинання зразків води, у яких були зварені хінкалі
Fig. 5. Absorption spectra of the cooking water samples after boiling the khinkali

Оптична густина розчинів після варки (і відповідно розчинність) найбільша для горохового та амарантового борошна, а найменша розчинність спостерігається для рисового борошна.

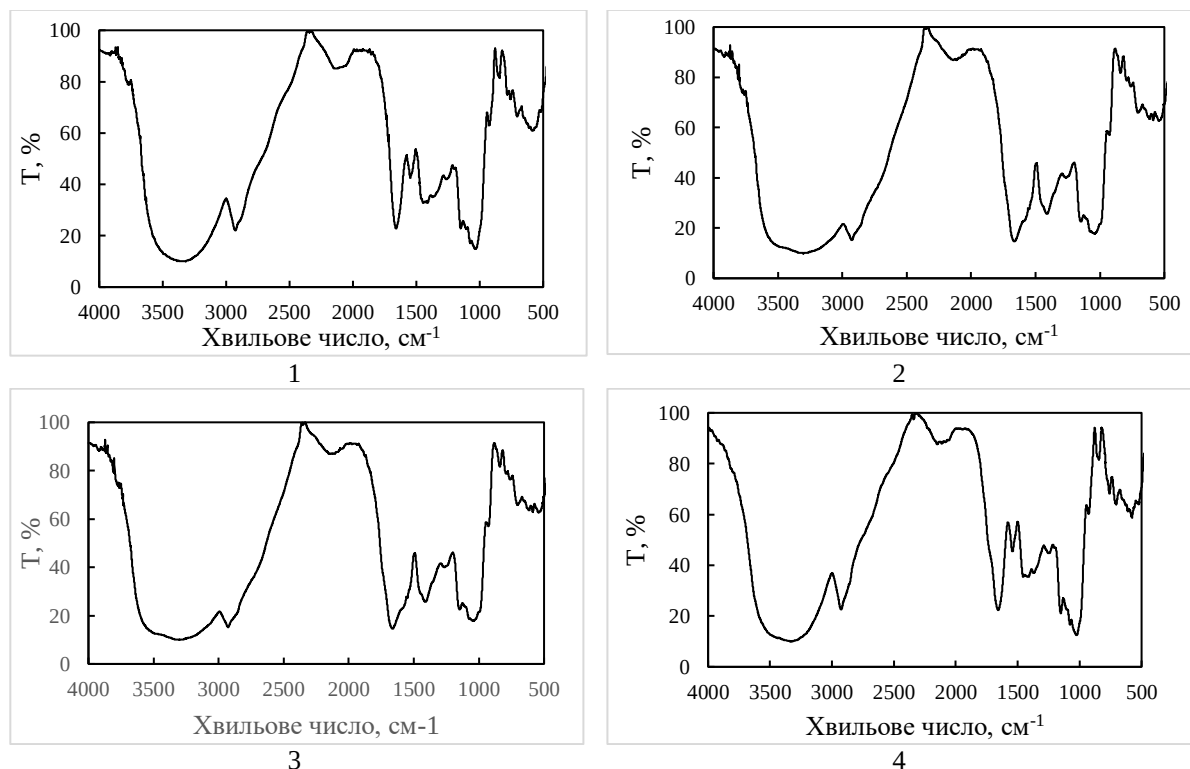
На рисунку 6 представлені ІЧ-спектри водорозчинного куркуміну з борошном. В ІЧ-спектрах водорозчинних компонентів присутні характеристичні смуги поглинання протеїнів: валентних коливань $\text{C}=\text{O}$ груп аміду I при $\sim 1650 \text{ cm}^{-1}$, деформаційними коливаннями $\text{N}-\text{H}$ груп та валентними коливаннями $\text{C}-\text{N}$ пептидного остова аміду II при $\sim 1540 \text{ cm}^{-1}$, а в області «відбитків пальців» спостерігаються смуги

поглинання крохмалів [15,16].

У випадку амарантового борошна коливання, які відповідають аміді I та аміді II протеїнів, спостерігаються при 1658 та 1542 cm^{-1} , відповідно. Основні смуги поглинання крохмалю при 1154, 1103, 1079, 1025 cm^{-1} .

У випадку горохового борошна коливання, які відповідають аміді I та аміді II протеїнів, спостерігаються для при 1663 та 1550 cm^{-1} , відповідно. Основні смуги поглинання крохмалю при 1147, 1103, 1073, 1045, 999 cm^{-1} .

У випадку рисового борошна коливання, які відповідають аміді I протеїнів, спостерігається при 1658 cm^{-1} , смуга аміді II протеїнів спостерігається як плече, смуги поглинання крохмалю при 1157, 1103 (плече), 1081, 1021, 993 cm^{-1} .



1 – борошно пшеничне, 2 – борошно пшенично-горохове,

3 – борошно пшенично-рисове, 4 – борошно пшенично-амарантове

Рис. 6 – ІЧ-спектри висушеного водорозчинного комплексу куркуміну з борошна з куркумою

Fig. 6. IR spectra of the dried water-soluble curcumin complex obtained from flour with turmeric

У випадку пшеничного борошна коливання, які відповідають аміді I та аміді II протеїнів, спостерігаються при 1660 та 1542 cm^{-1} , відповідно. Основні смуги поглинання крохмалю при 1149, 1106, 1076, 1034 cm^{-1} .

Смуги поглинання ліпідів / жирів не спостерігаються.

ІЧ-спектри водних екстрактів відповідають сумішам крохмалю та протеїнів, що збігається з даними літератури про утворення комплексів куркуміну з протеїнами [5,16-21].

Висновки: встановлено, що куркума здатна вбудовуватися в тісто, виготовлене для хінкалі, що дозволяє куркуміну змінювати колір виробу з білого на жовтий. Склад борошняних сумішей впливає на утворення водорозчинних комплексів куркуміну у ряду: рисове борошно < пшеничне борошно < амарантове борошно < горохове борошно. Таким чином, можливе одночасне досягнення кількох цілей, а саме, введення куркуми до складу продукту як джерела біологічно активних речовин, забарвлення продукту та утворення водорозчинного куркуміну завдяки створенню борошняних сумішей з використанням горохового та амарантового борошна.

Література

1. Aggarwal B., Sundaram C., Malani N., Ichikawa H. Curcumin: the Indian solid gold. *Adv Exp Med Biol.* 2007;595:1-75. https://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5_1
2. Gupta S.C., Sung B., Kim J.H., Prasad S., Li S., Aggarwal B. Multitargeting by turmeric, the golden spice: From kitchen to clinic. *Mol Nutr Food Res.* 2013 Sep; 57(9):1510-1528. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100741>

3. Li M., Ma Y., Ngadi M.O. Binding of curcumin to β -lactoglobulin and its effect on antioxidant characteristics of curcumin. *Food Chem.* 2013 Nov 15; 141(2):1504-1511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.099>
4. Li M., Cui J., Ngadi M.O., Ma Y. Absorption mechanism of whey-protein-delivered curcumin using Caco-2 cell monolayers. *Food Chem.* 2015 Aug 1;180:48-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.132>
5. Vijayan U.K., Shah N.N., Muley A.B., Singhal R.S. Complexation of curcumin using proteins to enhance aqueous solubility and bioaccessibility: Pea protein vis-à-vis whey protein, *Journal of Food Engineering*, 2021, 292, 110258. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110258>
6. Shuo Chen, Ning Zhang, Chuan-He Tang. Influence of nanocomplexation with curcumin on emulsifying properties and emulsion oxidative stability of soy protein isolate at pH 3.0 and 7.0, *Food Hydrocolloids*, Volume 61, 2016, P.102-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.048>
7. Mirzaee F., Hosseinzadeh L., Ashrafi-Kooshk M.R., Esmaeili S., Ghobadi S., Farzaei M.H., Zad-Bari M.R., Khodarahmi R. Diverse Effects of Different «Protein-Based» Vehicles on the Stability and Bioavailability of Curcumin: Spectroscopic Evaluation of the Antioxidant Activity and Cytotoxicity In Vitro. *Protein Pept Lett.* 2019;26(2):132-147. <https://doi.org/10.2174/0929866525666181114152242>
8. Kim T.H., Jiang H.H., Youn Y.S., Park C.W., Tak K.K., Lee S., Kim H., Jon S., Chen X., Lee K.C. Preparation and characterization of water-soluble albumin-bound curcumin nanoparticles with improved antitumor activity. *Int J Pharm.* 2011 Jan 17;403(1-2):285-291. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.10.041>
9. Priyadarsini K.I. The chemistry of curcumin: from extraction to therapeutic agent. *Molecules.* 2014 Dec 1;19(12):20091-112. <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>
10. Typek R., Dawidowicz A.L., Wianowska D., Bernacik K., Stankevič M., Gil M. Formation of aqueous and alcoholic adducts of curcumin during its extraction. *Food Chem.* 2019 Mar 15;276:101-109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.006>
11. Stoddard F.L. Survey of Starch Particle-Size Distribution in Wheat and Related Species. *Cereal Chem.* 1999 Jan;76(1):145-149. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.1.145>
12. Rohaya M.S., Maskat M.Y., Ma'Aruf A.G. Rheological properties of different degree of pregelatinized rice flour batter. *Sains Malaysiana.* 2013 Aug;42(12):1707-1714.
13. Möller A.C., van der Padt A., van der Goot A.J. From raw material to mildly refined ingredient – Linking structure to composition to understand fractionation processes. *Journal of Food Engineering.* 2021 Feb 1;291:110321. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110321>
14. Molenda M., Stasiak M., Horabik J., Fornal J., Błaszczak W., Ornowsk A. Microstructure and mechanical parameters of five types of starch. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2006, Vol. 56, No 2, p. 161–168.
15. Coțovanu I., Mironeasa S. Effects of molecular characteristics and microstructure of amaranth particle sizes on dough rheology and wheat bread characteristics. *Scientific reports.* 2022;12(1):7883. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12017-7>
16. Yang T., Wang P., Zhou Q., Wang X., Cai J., Huang M., Jiang D. Investigation on the Molecular and Physicochemical Changes of Protein and Starch of Wheat Flour during Heating. *Foods* 2021, 10, 1419. <https://doi.org/10.3390/foods10061419>
17. Malik A., Khamrui K., Prasad W. Effect of Hydrothermal Treatment on Physical Properties of Amaranth, an Underutilized Pseudocereal. *Future Foods*, March 2021,3(1):100027. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100027>
18. Verma V.C., Kumar A., Zaidi M.G., Verma A.K., Jaiswal J.P., Singh D.K., Singh A., Agrawal S. Starch isolation from different cereals with variable amylose/amylopectin ratio and its morphological study using SEM and FT-IR. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*- 2018.- Vol.7, №10. P.211-228. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.022>
19. Kotsiou K., Sacharidis D.-D., Matsakidou A., Biliaderis C.G., Lazaridou A. Impact of Roasted Yellow Split Pea Flour on Dough Rheology and Quality of Fortified Wheat Breads. *Foods*.- 2021, 10, 1832. <https://doi.org/10.3390/foods10081832>
20. Roa D.F., Santagapita P.R., Buera M.P., Tolaba M.P. Amaranth milling strategies and fraction characterization by FT-IR. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7(3), P.711-718. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1050-7>
21. Siwatch M., Yadav R.B., Yadav B.S. X-ray diffraction, rheological and FT-IR spectra studies of processed amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*). *J. Food Measurement and Characterization*.- 2017.- 11 (4).- P.1717-1724. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9552-z>.

STUDY OF THE FLOUR MIX NATURE INFLUENCE ON THE WATER-SOLUBLE PROPERTIES AND COLORING CAPACITY OF CURCUMIN

O.V. Malynka¹, PhD, Associate Professor, Ye.O. Malynka², PhD,
O.O. Antipina¹, PhD, Associate Professor, A.V. Sivachenko¹, Master

¹Odesa National Technological University, Odesa, Ukraine

²Odesa Department of the Tax and Customs Expertise Department of the SFS, Odesa, Ukraine

Abstract: This study investigates the influence of the nature of flour mixture with turmeric additives on the solubility and coloring properties of curcumin. An expert quality evaluation was conducted on four samples of flour mixtures used for khinkali dough preparation. It was established that adding to wheat flour pea, rice, or amaranth flour caused changes in the mass fractions of proteins, ash, fat, starch, and water, while the active acidity remained nearly the same. The spectral characteristics of curcumin in flour mixtures were shown to depend on the nature of the flour components. Spectrophotometric analysis determined the curcumin content of turmeric to be 4.2%. Morphological analysis of flour mixtures with turmeric powder additives was carried out using optical microscopy before and after boiling it.

Starch was confirmed as the main component and structural element of flour, with its granules varying in microstructure and size depending on the composition of the flour. Wheat starch had a bimodal starch type: type A granules were discoid, elliptical, or round (10–35 μm), whereas type B granules were spherical or polygonal (<10 μm). Rice starch grains were multifaceted, 3–8 μm in size. Pea flour in its microstructure contained oval, elliptical, round, and round-oval granules of 10–40 μm , along with cotyledons and their fragments, cell wall fragments in irregular shapes, and small protein particles. Wholegrain amaranth flour particles were noticed ranging from 1 to 100 μm . Small particles (1–2 μm) corresponded to polygonal amaranth starch granules. After adding turmeric to the flour, its particles were found to be randomly dispersed in the flour in a non-aggregated form. For all flour types, post-boiling morphological characteristic was a structure, formed by a starch–protein matrix that distributed polydisperse turmeric particles.

It is suggested that soluble amaranth proteins form complex compounds with curcumin, increase its water solubility and wash out from the product. The optical density of solutions correlated with flour solubility, with pea and amaranth flour showing the highest values. IR spectrums of water extracts corresponded to mixtures of starch and proteins, consistent with previous research data on the formation of the complexes with proteins and curcumin. Thus, the addition of turmeric to flour-based products can achieve multiple objectives simultaneously: enrichment with biologically active compounds, product coloration, and, in case of pea or amaranth flour, the formation of water-soluble curcumin..

Keywords: expertise, curcumin, khinkali, flour mixture

References

1. Aggarwal, B. B., Sundaram, C., Malani, N., & Ichikawa, H. (2007). Curcumin: the Indian solid gold. *Advances in experimental medicine and biology*, 595, 1–75. https://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5_1
2. Gupta, S. C., Sung, B., Kim, J. H., Prasad, S., Li, S., & Aggarwal, B. B. (2013). Multitargeting by turmeric, the golden spice: From kitchen to clinic. *Molecular nutrition & food research*, 57(9), 1510-1528. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100741>
3. Li, M., Ma, Y., & Ngadi, M. O. (2013). Binding of curcumin to β -lactoglobulin and its effect on antioxidant characteristics of curcumin. *Food Chemistry*, 141(2), 1504–1511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.099>
4. Li, M., Cui, J., Ngadi, M. O., & Ma, Y. (2015). Absorption mechanism of whey-protein-delivered curcumin using Caco-2 cell monolayers. *Food Chemistry*, 180, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.132>
5. Vijayan, U. K., Shah, N. N., Muley, A. B., & Singhal, R. S. (2021). Complexation of curcumin using proteins to enhance aqueous solubility and bioaccessibility: Pea protein vis-à-vis whey protein. *Journal of Food Engineering*, 292, 110258. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110258>
6. Chen, S., Zhang, N., & Tang, C. H. (2016). Influence of nanocomplexation with curcumin on emulsifying properties and emulsion oxidative stability of soy protein isolate at pH 3.0 and 7.0. *Food Hydrocolloids*, 61, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.048>
7. Mirzaee, F., Hosseinzadeh, L., Ashrafi-Kooshk, M. R., Esmaeili, S., Ghobadi, S., Farzaei, M. H., ... & Khodarahmi, R. (2019). Diverse effects of different “protein-based” vehicles on the stability and bioavailability of curcumin: spectroscopic evaluation of the antioxidant activity and cytotoxicity in vitro. *Protein and peptide letters*, 26(2), 132-147. <https://doi.org/10.2174/0929866525666181114152242>
8. Kim, T. H., Jiang, H. H., Youn, Y. S., Park, C. W., Tak, K. K., Lee, S., ... & Lee, K. C. (2011). Preparation and

- characterization of water-soluble albumin-bound curcumin nanoparticles with improved antitumor activity. *International journal of pharmaceutics*, 403(1-2), 285-291. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.10.041>
9. Priyadarsini, K. I. (2014). The chemistry of curcumin: from extraction to therapeutic agent. *Molecules*, 19(12), 20091-20112. <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>
10. Typek, R., Dawidowicz, A. L., Wianowska, D., Bernacik, K., Stankevič, M., & Gil, M. (2019). Formation of aqueous and alcoholic adducts of curcumin during its extraction. *Food Chemistry*, 276, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.006>
11. Stoddard, F. L. (1999). Survey of starch particle-size distribution in wheat and related species. *Cereal chemistry*, 76(1), 145-149. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.1.145>
12. Rohaya, M. S., Maskat, M. Y., & Ma'Aruf, A. G. (2013). Rheological properties of different degree of pregelatinized rice flour batter. *Sains Malaysiana*, 42(12), 1707-1714.
13. Möller, A. C., van der Padt, A., & van der Goot, A. J. (2021). From raw material to mildly refined ingredient—Linking structure to composition to understand fractionation processes. *Journal of Food Engineering*, 291, 110321. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110321>
14. Molenda, M., Stasiak, M., Horabik, J., Fornal, J., Błaszczak, W., & Ornowski, A. (2006). Microstructure and mechanical parameters of five types of starch. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 56(2), 161-168.
15. Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2022). Effects of molecular characteristics and microstructure of amaranth particle sizes on dough rheology and wheat bread characteristics. *Scientific reports*, 12(1), 7883. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12017-7>
16. Yang, T., Wang, P., Zhou, Q., Wang, X., Cai, J., Huang, M., & Jiang, D. (2021). Investigation on the molecular and physicochemical changes of protein and starch of wheat flour during heating. *Foods*, 10(6), 1419. <https://doi.org/10.3390/foods10061419>
17. Malik, A., Khamrui, K., Prasad, W. (2021) Effect of Hydrothermal Treatment on Physical Properties of Amaranth, an Underutilized Pseudocereal. *Future Foods*, 3(1), 100027. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100027>
18. Verma, V. C., Kumar, A., Zaidi, M. G. H., Verma, A. K., Jaiswal, J. P., Singh, D. K., ... & Agrawal, S. (2018). Starch isolation from different cereals with variable amylose/amylopectin ratio and its morphological study using SEM and FT-IR. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(10), 211-228. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.022>
19. Kotsiou, K., Sacharidis, D. D., Matsakidou, A., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2021). Impact of roasted yellow split pea flour on dough rheology and quality of fortified wheat breads. *Foods*, 10(8), 1832. <https://doi.org/10.3390/foods10081832>
20. Roa, D. F., Santagapita, P. R., Buera, M. P., & Tolaba, M. P. (2014). Amaranth milling strategies and fraction characterization by FT-IR. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 711-718. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1050-7>
21. Siwatch, M., Yadav, R. B., & Yadav, B. S. (2017). X-ray diffraction, rheological and FT-IR spectra studies of processed amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1717-1724. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9552-z>

Отримано в редакцію 10.10.2025
Прийнято до друку 23.10.2025
Розміщено в інтернеті 29.12.2025

Received 10.10.2025
Approved 23.10.2025
Available in Internet 29.12.2025