

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2025\(55\)05](https://doi.org/10.31617/2.2025(55)05)
УДК 663.952.031.4:635.657



ГНІЦЕВИЧ Вікторія

<https://orcid.org/0000-0002-6089-1082>

д. т. н., професор, професор кафедри
ресторанних та крафтових технологій
Державного торговельно-економічного
університету

вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
v.gnitsevyich@knute.edu.ua

ДОРОНІН Кирило

<https://orcid.org/0009-0001-1302-439X>

аспірант кафедри ресторанних
та крафтових технологій
Державного торговельно-економічного
університету

вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
k.doronin@knute.edu.ua

GNITSEVYCH Victoriya

<https://orcid.org/0000-0002-6089-1082>

Doctor of Sciences (Technical), Professor,
Professor of the Department of Restaurant
and Craft Technologies
State University of Trade and Economics

19, Kyoto St., Kyiv, 02156, Ukraine
v.gnitsevyich@knute.edu.ua

DORONIN Kyrylo

<https://orcid.org/0009-0001-1302-439X>

Postgraduate Student at the Department
of Restaurant and Craft Technologies
State University of Trade and Economics

19, Kyoto St., Kyiv, 02156, Ukraine
k.doronin@knute.edu.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СТАРТОВИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ФЕРМЕНТОВАНОГО ХУМУСУ

Бобові культури є цінним джерелом рослинного білка, клітковини, вітамінів і мінералів, що робить їх важливим елементом здорового харчування. Їхнє регулярне споживання сприяє профілактиці ряду захворювань, підтримує продовольчу безпеку завдяки доступності й поживності, що робить дослідження з розроблення нових технологій їх оброблення актуальним завданням. Визначено, що ферментація максимально сприяє покращенню біодоступності поживних речовин у бобових, а серед способів ферментації найбільш придатним є використання стартових культур. Метою роботи є обґрунтування вибору стартових культур для ферментації бобових паст, зокрема хумусу. Визначено перелік стартових культур, здатних до розмноження та метаболізму в умовах холодного зберігання.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF STARTER CULTURES FOR THE PRODUCTION OF FERMENTED HUMMUS

Legumes are a valuable source of plant protein, fiber, vitamins, and minerals, making them an important part of a healthy diet. Regular consumption of legumes helps prevent a number of diseases and supports food security due to their availability and nutritional value, making research into the development of new processing technologies a pressing issue. It has been determined that fermentation maximally contributes to improving the bioavailability of nutrients in legumes, and among the methods of fermentation, the use of starter cultures is the most suitable. The aim of the work is to justify the choice of starter cultures for the fermentation of legume pastes, in particular humus. A list of starter cultures capable of reproduction and metabolism under cold storage conditions has been determined.



Copyright © 2025. Автор(и). Це стаття відкритого доступу, яка розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution License 4.0 \(CC-BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) Міжнародна ліцензія

Висунуто гіпотезу щодо можливості спрямованого регулювання процесу ферментолізу хумусу, що уможливить видалення консервантів із рецептури і надання продукту бажаних споживчих характеристик. Для органолептичної оцінки результатів ферментолізу використано метод бальної шкали. Методом газової хроматографії з мас-спектрометрією здійснено порівняльний аналіз вмісту ароматичних сполук у модельних системах і контролі – класичному хумусі. За органолептичною оцінкою зразків визначено, що модельна система хумусу із внесенням *Lactobacillus Rhamnosus* та *Lactococcus lactis* має максимально виражений смак та аромат, характерний для хумусу. Це підтверджено багатократним збільшення вмісту кетонів, зокрема діацетилу та ацетоїну у ферментованому хумусі порівняно з класичним. Вони є ключовими леткими ароматичними сполуками, що утворюються під час ферментації молочнокислими бактеріями, сприяють утворенню вершкового, маслянистого, горіхового аромату. Таким чином, встановлена можливість використання стартових культур для виробництва ферментованого хумусу, наближеного за органолептичними показниками до класичного.

Ключові слова: бобові, ферментація, хумус, стартова культура, органолептична оцінка, ароматичні сполуки.

A hypothesis has been put forward regarding the possibility of targeted regulation of the humus fermentation process, which will make it possible to remove preservatives from the recipe and give the product the desired consumer characteristics. A scoring scale method was used for the organoleptic evaluation of the fermentation results. Gas chromatography with mass spectrometry was used to perform a comparative analysis of the content of aromatic compounds in model systems and the control – classic hummus. Organoleptic evaluation of samples has determined that the model hummus system with the addition of *Lactobacillus Rhamnosus* and *Lactococcus lactis* has the most pronounced taste and aroma characteristic of hummus. This is confirmed by a multiple increase in the content of ketones, in particular diacetyl and acetoin, in fermented hummus compared to classic hummus. These are key volatile aromatic compounds formed during fermentation by lactic acid bacteria, contributing to the formation of a creamy, buttery, slightly nutty aroma. Thus, the possibility of using starter cultures for the production of fermented hummus, similar in characteristics to classic hummus, has been established.

Keywords: legumes, fermentation, hummus, starter culture, organoleptic evaluation, aromatic compounds.

JEL Classification: L66.

Вступ

Всесвітня організація з продовольства ООН – FAO зараховує бобові до стратегічних продовольчих культур, яким належить важлива роль у забезпеченні сталого розвитку сільського господарства. Бобові культури (горох, нут, сочевиця та квасоля) відзначаються як джерело рослинного білка, фолатів, нерозчинної і розчинної форм клітковини, феруму, фосфору, достатньої кількості поліненасичених та мононенасичених жирних кислот, що містять лінолеву та олеїнову кислоти, антиоксидантів (поліфенолів) (Bender et al., 2024). Завдяки такому унікальному хімічному складу, а також тому, що у бобових низький глікемічний індекс, їх рекомендовано включати до раціону харчування широкого кола споживачів. У більшості технологій бобові використовуються у відварному вигляді. Такий спосіб оброблення сприяє втраті бобовими значної кількості поживних речовин, зокрема водорозчинних вітамінів групи В (В₁, В₂, В₆, фолієва кислота), поліфенолів та флавоноїдів, зниженню вмісту мінеральних речовин, водночас збільшується глікемічний індекс продукту (Liu et al., 2020).

Водночас важливим є те, що бобові містять і антипоживні речовини, зокрема фітати, інгібітори протеолізу та лектини, які знижують

біодоступність важливих нутриєнтів та ускладнюють процес їх перетравлення (Kang et al., 2022). Інноваційні технології обробки бобових культур надають можливість знизити вміст цих речовин і покращити функціональні властивості продуктів. Науковцями запропоновано низку сучасних методів обробки бобових культур, які містять екструзію, обробку високим тиском, ультразвукову та мікрохвильову обробку, ферментацію, а також імпульсні електромагнітні поля (Чебаненко & Мельник, 2024).

Особливі переваги у покращанні споживчих характеристик бобових відзначаються при їх ферментації. Цей процес здавна широко застосовується в країнах Східної та Південно-Східної Азії, Японії, Єгипті у виробництві традиційних продуктів (місо, темпе, натто, кінема, доу-чі тощо). Ферментація бобових дає змогу покращити їх засвоєння, бо руйнуються антинутрієнти, які заважають засвоєнню мінеральних речовин, накопичити пробіотики, отримати унікальні насичені смаки, подовжити термін зберігання продуктів, знизити ризики алергічної реакції певної частини населення (Bessada et al., 2019; Sun et al., 2020).

Останніми роками методи ферментаційної обробки бобових активно вивчають у наукових колах. Ферментація розглядається як ефективний спосіб для покращання смакових якостей бобових для зниження вмісту тіаніну та лектину (Peyrano et al., 2021; Tas & Shah, 2021).

Сучасні технологічні підходи насамперед передбачають застосування стартових культур *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Pediococcus*, що дає змогу досягти синергії в аспектах смаку, безпеки та ферментативної активності при виробництві продуктів із рослинної сировини, зокрема бобових, злакових, насіння (Montemurro et al., 2021; Emkani et al., 2022; Gu et al., 2022; Ohanenye et al., 2022).

Авторами (Zhou et al., 2025) досліджено поживні властивості, антипоживні фактори та характеристики перетравлення нуту після твердофазної ферментації з автохтонними мікроорганізмами в умовах *in vitro*. Ферментовані зразки мали вищий вміст низькомолекулярних пептидів та функціональних біологічно активних пептидів і водночас значно нижчий вміст фітатів. Таким чином, автори довели, що твердофазна ферментація з автохтонними мікроорганізмами може покращити поживні якості нуту.

Субмерсійна ферментація – це ще один спосіб бродіння, при якому мікроорганізми (бактерії, дріжджі, гриби) культивуються в рідкій фазі, що забезпечує контрольований об'єм рідини, *pH*, кисню та інших параметрів. На відміну від твердофазної ферментації, де культури ростуть на поверхні або у вологому субстраті без вільної водної фази, тут усі компоненти перебувають у розчиненому стані. В праці (Ohanenye et al., 2022) ізолят сочевиного білка використовували як сировину для зануреної ферментації з *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* або *Lactobacillus plantarum*. Ферментований ізолят сочевиного

білка має перспективні смакові профілі, які можуть покращити його сенсорні властивості для харчового застосування.

На основі аналізу існуючих публікацій *Guo Q., Chen P., Chen X. (2023)* зробили висновок, що біологічно активні речовини (БАР), отримані з ферментованих продуктів, у тому числі бобових культур, мають антигіпертензивну, антиоксидантну та антибактеріальну активність та окреслюють майбутні напрямки з метою створення основи для застосування БАР у ферментованих продуктах у харчовій та фармацевтичній галузях.

Таким чином, дослідження щодо ферментації бобових є сучасним та перспективним напрямом досліджень для розроблення новітніх технологій харчових продуктів. Аналітики прогнозують, що сегмент ферментованих бобових зросте з 0.3 млрд дол. США у 2024 до 1.5 млрд дол. США до 2035 р. (*Wise Grang Reports, 2025*), при цьому ферментовані соєві продукти є домінуючим сегментом ринку.

Серед продуктів із бобових культур широкою популярністю користується хумус – пастоподібний продукт, багатий на білки та рослинні жири. Нині на ринку представлені як локальні виробники хумусу, так й імпортовані продукти. Здебільшого це хумус із додаванням кислот та консервантів. Традиційний варіант – це діп або спред із звареного нутового пюре, змішаного з тахіні, оливковою олією, лимонним соком та спеціями. За даними *Grand View Research (2025)* упродовж останнього десятиліття популярність хумусу стрімко зростає, що дало змогу йому стати широко вживаним продуктом у всьому світі та в Україні зокрема. Інформація щодо розроблення технологій ферментованого хумусу відсутня. Тому постає завдання створення хумусу з підвищеною біологічною цінністю та функціональними властивостями шляхом використання контрольованої ферментації із застосуванням стартових культур мікроорганізмів.

У цьому процесі вибір штамів мікроорганізмів є ключовим етапом у розробленні ферментації. Це передбачає багатокрокову оцінку біологічних, технологічних і комерційних властивостей мікроорганізмів (рисунк).



Критерії вибору штамів мікроорганізмів

Джерело: складено авторами.

Технологічна ефективність штаму полягає у відповідності вимогам виробництва, включаючи швидкість ферментації та продуктивність, швидке зростання, стійкість до умов процесу та значень pH середовища, осмотолерантність. Метаболічна активність означає, що штам має виробляти цільові метаболіти у потрібній кількості (кислоти, ароматичні компоненти, вуглекислий газ). Безпечність штаму – це його нетоксичність та відповідність статусу *GRAS* (Generally Recognized as Safe) (*FDA*, 2025) для харчових продуктів, генетична стабільність для уникнення мутацій у процесі. Стійкість до контамінації передбачає ефективну конкурентність із небажаною мікрофлорою та здатність інгібувати патогени.

Метою статті є обґрунтування вибору ефективних штамів мікроорганізмів для ферментації бобових паст з урахуванням їхньої ферментативної активності, здатності до покращання органолептичних властивостей готового продукту.

На підставі аналізу інформації щодо стану використання стартових культур у технологіях ферментованих продуктів сформульовано науково-практичну гіпотезу – використання стартових культур за умов спрямованого регулювання процесу ферментолізу дасть змогу накопичити певні сполуки, які здатні регулювати функціонально-технологічні властивості хумусу, отримати продукт з прогнозованими органолептичними показниками.

1. Склад модельних систем хумусу

Тестування проведено із внесенням культур мікроорганізмів у пасту з нуту, виготовленою за стандартною рецептурою з виключенням із переліку інгредієнтів калію сорбату та натрію бензоату (табл. 1). За контроль використано хумус, що приготовлений за класичною технологією без внесення стартових культур.

Таблиця 1

Рецептура бобової пасту для ферментації, %

№	Найменування продукту	Кількість	
		Контроль (Хумус "Класичний" ТМ Yofi)	Дослід
1	Нутова паста	54.0	54.0
2	Вода/лід	12.0	12.0
3	Соняшникова олія	14.0	14.0
4	Тахіна	12.0	12.0
5	Стартова культура	–	$5 \cdot 10^6$
6	Лимонна кислота (45%)	1.24	1.24
7	Сіль	1.0	1.0
8	Часник сухий	0.6	0.6
9	Калію сорбат	0.1	–
10	Натрію бензоат	0.1	–
	Усього	100	

Джерело: складено авторами.

Для стабілізації ферментованого хумусу необхідно запобігти розвитку дріжджів та плісняви як причин мікробіологічного псування. Одним з ефективних рішень є використання стартових культур, здатних до розмноження та метаболізму в умовах холодного зберігання, що відповідає технологічному процесу. Відібрано мікроорганізми, які відповідають поставленим цілям.

Відповідно до умов експерименту вносили стартові культури в готову нутову пасту, отримуючи модельні системи:

- Модельна система 1 (МС 1) із внесенням *Lactobacillus Rhamnosus*.
- Модельна система 2 (МС 2) – *Lactobacillus curvatus*.
- Модельна система 3 (МС 3) – *Pediococcus acidilactici*.
- Модельна система 4 (МС 4) – *Lactobacillus Sakei*.

Додатковим бар'єром для розвитку дріжджів та плісняви є специфічний штам *Lactococcus lactis*, грампозитивна молочнокисла бактерія (МБК), що належить до родини *Streptococcaceae*. Ця культура споживає кисень в упаковці, тим самим пригнічуючи аеробні мікроорганізми. Її використовували у складі кожної модельної системи (МС1–МС4), що забезпечує комплексний біозахисний ефект.

При виборі концентрації мікроорганізмів для інокуляції опиралися на ефект Джеймсона (*Buchanan & Gorris, 2001*), який описує вплив початкової концентрації інокуляту на швидкість його зростання, метаболічну активність і кінцевий результат ферментації. Норма внесення відповідно до рекомендацій виробника *Novonesis* (Данія) становить $5 \cdot 10^6$ – $1 \cdot 10^7$ КУО/г, що дає змогу забезпечити ведення технологічного процесу за допомогою стартової культури.

Зразки бобових паст зі стартовими культурами розфасовували у споживчу тару. Далі продукт зберігався за температури 2–6°C та відносної вологості повітря не вище 75%. За стандартних для цього виду продукту температурних умов зберігання відбувається так звана "холодна ферментація", що характеризується, зокрема, нетиповими температурними режимами.

2. Органолептична оцінка якості модельних систем хумусу

Ефективність ферментації оцінювали за результатами органолептичних показників модельних систем на різних етапах протягом 25 діб.

Органолептичні показники, за якими оцінювалися зразки та їх критерії, наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Критерії оцінювання органолептичних показників

Показник	Характеристика показника
Зовнішній вигляд	Кремоподібна маса від світло- до темно-кремового кольору
Смак	Нейтральний, злегка горіховий смак з невеликою кислою ноткою від лимонного соку
Аромат	Ніжний горіховий аромат з нотами вершків
Консистенція	Пастоподібна, однорідна маса без грудочок

Джерело: складено авторами.

За розробленою шкалою оцінки залежно від якості модельних систем розподілено за такими показниками: 5.0–4.4 бала – відмінна якість, 4.3–3.7 – добра якість, 3.6–3.0 – задовільна якість. Органолептичну оцінку показників модельних систем з різними штамами наведено в *табл. 3*.

Таблиця 3

Органолептична оцінка модельних систем
з різними штамами мікроорганізмів

Показник	Коефі- цієнт вагомості	Коефіцієнт вагомості характе- ристики показника	Характерис- тика показника	Контроль	МС 1	МС 2	МС 3	МС 4
Зовнішній вигляд	0.2	0.5	Однорідність	4.95	5.00	4.87	4.65	4.85
		0.5	Дисперсність	5.00	5.00	5.00	4.96	4.65
Загальна оцінка за дескрипторами				4.97	5.00	4.93	4.8	4.75
Загальна оцінка за показником				0.99	1.0	0.98	0.96	0.95
Консистен- ція	0.2	0.3	Однорідність	4.80	5.00	4.80	4.80	4.65
		0.5	Пластичність	4.90	5.00	5.00	5.00	4.55
		0.2	Намашчува- ність	4.90	5.00	5.00	5.00	4.30
Загальна оцінка характеристик показника				4.87	5.00	4.94	4.94	4.5
Загальна оцінка показника				0.97	1.0	0.99	0.98	0.9
Аромат	0.3	0.4	Виразність	3.90	4.90	3.95	4.65	3.90
		0.2	Інтенсивність	4.00	4.00	3.95	4.00	3.85
		0.4	Чистота	3.95	4.00	3.90	4.10	4.10
Загальна оцінка характеристик показника				3.95	4.3	3.93	4.06	3.95
Загальна оцінка показника				1.18	1.29	1.18	1.22	1.18
Смак	0,3	0,2	Виразність	3.90	4.50	3.95	3.95	4.50
		0,2	Збалансова- ність	3.90	4.00	4.20	4.00	4.30
		0,3	Чистота	4.00	3.95	3.90	4.00	4.30
		0,3	Натураль- ність	4.50	4.50	4.50	4.30	4.00
Загальна оцінка характеристик показника				4.11	4.23	4.15	4.08	4.24
Загальна оцінка показника				1.23	1.27	1.24	1.22	1.27
Загальна оцінка виробу				4.37	4.56	4.39	4.38	4.30

Джерело: складено авторами.

За результатами проведення серії тестувань дегустаційною комісією визначено, що протягом зберігання продукції у відповідних умовах (холодильне зберігання, температура від 2 до 6°C) відбуваються певні мікробіологічні та фізико-хімічні процеси, що позначається на органолептичних характеристиках продукту. Найкращі показники за смако-ароматичними властивостям визначені в МС1. Відзначено, що з часом зразки МС2, МС3 та МС4 втрачали здебільшого аромат та смак, що не відповідає очікуваним характеристикам для цього виду продукту.

3. Вміст смако-ароматичних сполук у модельних системах хумусу

Для визначення відмінностей у смако-ароматичному профілі модельних систем хумусу порівняно з контролем здійснено порівняльний аналіз вмісту летких ароматичних сполук. Леткі ароматичні сполуки у зразках ферментованого хумусу визначали методом газової хроматографії з мас-спектрометрією (GC-MS) (табл. 4).

Таблиця 4

Порівняльний аналіз вмісту летких ароматичних сполук

Найменування		Співвідношення (модельна система/контроль)			
		MC1	MC2	MC3	MC4
Misc	1.8-цінеол	5	2	-1	-4
Alcohol	1-гексанол	10	27	-5	61
Aromatic	3-карен	22	2	-1	-8
Ketone	ацетоїн	195	15	-15	-3
Sulfur	алілметилсульфід	25	25	40	5
Aromatic	а-пінен	5	-5	-15	-25
Misc	кубене	5	-5	2	5
Aldehyde	деканел	2	2	2	2
Ketone	діацетил	136	-10	2	15
Aromatic	лімонен	9	-2	-13	-24
Aromatic	о-цимен	4	4	4	4
Pyrazine	2.5-диметилпірацин	-3	2	7	12
Sulfur	2-ацетилтіазол	-2	15	32	49
Ketone	2-бутанон	-3	-7	-15	5
Pyrazine	2-етил-3.5-диметил-пірацин	-2	-2	5	3
Furan	2-гексаноїл-фуран	-2	15	2	19
Aldehyde	2-метил-бутаналь	-2	10	22	11
Furan	3-метил-фуран	-18	-5	8	11
Sulfur	діаліл-дісульфід	-20	2	12	7
Sulfur	диметил-дісульфід	-3	-3	24	13
Alcohol	етанол	-37	-3	31	65
Ester	етил-ацетат	-2	-2	14	7
Misc	індол	-5	-2	1	4
Pyrazine	триметил-піразин	3	-2	15	12

Джерело: складено авторами.

Зміни у вмісті ароматичних сполук у хумусі під час ферментації пояснюються кількома ключовими біохімічними процесами, пов'язаними з активністю молочнокислих бактерій. У процесі ферментації молочнокислі бактерії розкладають амінокислоти, білки та вуглеводи нуту, кунжутної пасти (тахіні), часнику що призводить до утворення таких летких ароматичних сполук, як альдегіди (гексаналь, нонаналь); спирти (етанол, 1-гексанол); кетони, кислоти (молочна, оцтова), сірковмісні сполуки (з часнику). Використаний штам *Lactobacillus Rhamnosus* здатний продукувати ароматичні сполуки з триптофану (індоли), фенілаланіну (фенілетанол). Утворення ефірів і кетонів також змінює профіль смаку –

з'являються м'які фруктові або кисломолочні ноти. Про це свідчить багатократне – в 136 разів – збільшення вмісту кетонів, зокрема діацетилу в модельній системі MC1. Кетони, зокрема діацетил (2,3-бутандіон), є ключовими леткими ароматичними сполуками, які формуються під час ферментації молочнокислими бактеріями. Вони мають низький поріг сприйняття (відчуваються навіть у дуже малих концентраціях) і відіграють важливу роль у формуванні смако-ароматичного профілю продукту. Він сприяє утворенню вершкового, маслянистого, трохи горіхового аромату. Крім того, кетони зумовлюють набуття продуктом солодкуватого смаку, подібного до смаку топленого масла.

Інший кетон ацетоїн, вміст якого в MC1 збільшується в 195 разів, зумовлює м'який, вершковий, молочний, менш інтенсивний, ніж діацетил аромат, а також солодкуватий, з нотками йогурту, масла, згущеного молока смак.

Інші штами, що використані в MC2, не призводять до значного утворення ацетоїну, а в MC3 та MC4 їх вміст взагалі зменшується в 3–15 разів. Вміст діацетилу в MC2 при цьому зменшується в 10 разів, у MC3 та MC4 – збільшується незначно порівняно із контролем.

Незначне зниження *pH* (поява легкої кислинки) під час ферментації впливає на леткість і стабільність ароматичних молекул, що приводить до нового балансу ароматів: зникають різкі ноти, з'являються молочнокислі, м'які, пряні тони.

Висновки

Результати аналізу наукових досягнень із напрямів перероблення бобових, що сприяють зниженню в них вмісту антипоживних речовин, покращують споживні властивості продукту, свідчать, що перспективним є ферментація бобових стартовими культурами. Сформульована робоча гіпотеза щодо можливості їх використання у виробництві ферментованого хумусу окреслила ряд штамів, що можуть працювати в умовах "холодного бродіння". Визначали органолептичну оцінку модельних систем хумусу із різними штамами мікроорганізмів та порівнювали вміст ароматичних сполук у модельних систем із контролі. Встановлено, що MC1 із внесенням *Lactobacillus Rhamnosus* та *Lactococcus Lactis* має більш виражений смак та аромат, характерний для цього виду продукту, що зумовлено підвищеним вмістом кетонів порівняно з іншими модельними системами. Таким чином, у результаті проведених досліджень підтверджено наукову гіпотезу та визначено, що для ферментації бобових паст слід обрати стартову культуру, до складу якої входять *Lactobacillus Rhamnosus* та *Lactococcus lactis*.

На наступному етапі поставлено завдання дослідити зміни основних фізико-хімічних показників хумусу протягом процесу ферментації за різних параметрів технологічного процесу та визначити біодоступність основних поживних нутрієнтів у готовому продукті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCE

- Bender, D., Yamsaengsung, R., Waziirah, E., Schoenlechner, R., & Jaeger, H. (2024). Effect of ultrasound-assisted soaking on the hydration kinetics and physicochemical properties of chickpeas. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16916>
- Bessada, S. M., Barreira, J. C., & Oliveira, M. B. P. (2019). Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.022>
- Buchanan, R. L., & Gorris, L. G. M. (2001). Modeling microbial competition in food: Application to the behavior of lactic acid bacteria in fermented foods. *Food Research International*, 34(6), 545–556. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(01\)00097-4](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(01)00097-4)
- Emkani, M., Oliete, B., & Saurel, R. (2022). Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review. *Fermentation*, 8(6), 244. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>
- Grand View Research. (25 липня 2025). *Hummus Market Size, Growth & Trends Report (2023–2030)*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/hummus-market-report>
- Gu, J., Bk, A., Wu, H., Lu, P., Nawaz, M. A., Barrow, C. J., ... & Suleria, H. A. R. (2022). Impact of processing and storage on protein digestibility and bioavailability of legumes. *Food Reviews International*, 39(7), 4697–4724. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2039690>
- Guo Q., Chen P., & Chen X. (2023). Bioactive peptides derived from fermented foods: Preparation and biological activities. *Journal of Functional Foods*, (101), 105422. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105422>
- Kang, S., Zhang, J., Guo, X., Lei, Y., & Yang, M. (2022). Effects of Ultrasonic Treatment on the Structure, Functional Properties of Chickpea Protein Isolate and Its Digestibility In Vitro. *Foods*, 11(6), 880. <https://doi.org/10.3390/foods11060880>
- Liu, S., Yin, H., Pickard, M., & Ai, Y. (2020). Influence of infrared heating on the functional properties of processed lentil flours: A study focusing on tempering period and seed size. *Food Research International*, (136), 109568. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109568>
- Montemurro, M., Pontonio, E., Coda, R., & Rizzello, C. G. (2021). Plant-based alternatives to yogurt: State-of-the-art and perspectives of new biotechnological challenges. *Foods*, 10(2), 316. <https://doi.org/10.3390/foods10020316>
- Ohanenye, I. C., Ekezie, F.-G. C., Sarteshnizi, R. A., Boachie, R. T., Emenike, C. U., Sun, X., Nwachukwu, I. D., & Udenigwe, C. C. (2022). Legume Seed Protein Digestibility as Influenced by Traditional and Emerging Physical Processing Technologies. *Foods*, 11(15), 2299. <https://doi.org/10.3390/foods11152299>
- Ohanenye, I. C., Ekezie, F.-G. C., Sarteshnizi, R. A., Boachie, R. T., Emenike, C. U., Sun, X., Nwachukwu, I. D., & Udenigwe, C. C. (2022). Legume Seed Protein Digestibility as Influenced by Traditional and Emerging Physical Processing Technologies. *Foods*, 11(15), 2299. <https://doi.org/10.3390/foods11152299>
- Peyrano, F., de Lamballerie, M., Avanza, M. V., & Speroni, F. (2021). Gelation of cowpea proteins induced by high hydrostatic pressure. *Food Hydrocolloids*, (111), 106191. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106191>
- Sun, X., Ohanenye, I. C., Ahmed, T., & Udenigwe, C. C. (2020). Microwave treatment increased protein digestibility of pigeon pea (*Cajanus cajan*) flour: Elucidation of underlying mechanisms. *Food Chemistry*, (329), 127196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127196>
- Tas, A. A., & Shah, A. U. (2021). The replacement of cereals by legumes in extruded snack foods: Science, technology and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, (116), 701–711. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.016>
- (GRAS). Food and Drug Administration. (n.d.). *Generally Recognized as Safe*. FDA. (25 липня 2025). https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras?utm_source=chatgpt.com
- Wise Grang Reports. (30 серпня 2025). *Global Fermented Plant-Based Alternatives Market*. https://www.wiseguyreports.com/reports/fermented-plant-based-alternatives-market?utm_source=chat

Zhou, S., Wang, Y., Hu, Q., Li, J., Chen, J., & Liu, X. (2025). Enhancement of nutritional quality of chickpea flour by solid-state fermentation for improvement of *in vitro* antioxidant activity and protein digestibility. *Food Chemistry*, (468), 142418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142418>

Чебаненко, Є. В., & Мельник, О. Ю. (2024). Огляд інноваційних методів обробки бобових культур та їх вплив на харчову цінність і функціональні властивості. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів"*, 4(58), 69–74. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.4.10>

Chebanenko, Y. V., & Melnyk, O. Y. (2024). Review of innovative processing methods of legumes and their impact on nutritional value and functional properties. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Mechanization and Automation of Production Processes"*, 4(58), 69–74. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.4.10>

Конфлікт інтересів. Автори заявляють, що не мають фінансових чи нефінансових конфліктів інтересів щодо цієї публікації; не мають відносин із державними органами, комерційними або некомерційними організаціями, які могли б бути зацікавлені у поданні цієї точки зору. З огляду на те, що автори працюють в установі, яка є видавцем журналу, що може зумовити потенційний конфлікт або підозру в упередженості, остаточне рішення про публікацію цієї статті (включно з вибором рецензентів та редакторів) приймалося тими членами редколегії, які не пов'язані з цією установою.

Автори не отримували прямого фінансування для цього дослідження.

Гніцевич, В., & Доронін К. (2025). Обґрунтування вибору стартових культур для виробництва ферментованого хумусу. *Товарознавство. Технології. Інжиніринг*, 3(55), 73–83. [https://doi.org/10.31617/2.2025\(55\)05](https://doi.org/10.31617/2.2025(55)05)

Надійшла до редакції 31.07.2025.

Прийнято до друку 01.09.2025.

Публікація онлайн 16.09.2025.