



UDC 664.8:582.632.2

COMPLEX PROCESSING AND PROSPECTS OF OAK FRUITS USE IN THE FOOD INDUSTRY

Tetiana G. Filinska, Iryna V. Sukha, Antonina O. Filinska, Oksana V. Berzenina*

Ukrainian State University of Science and Technology, 2 Lazariana St., Dnipro, 49010, Ukraine

Received 6 October 2025; accepted 2 March 2026; available online 23 March 2026

Abstract

All morphological parts of the oak tree, including fruit, bark, wood and leaves, have many uses. Acorns are rich in nutrients, making them an important raw material resource. Since ancient times, oak fruits have been a valuable food product and today have great potential for use in various industries. Acorn flour is an important gluten-free component of bakery, flour confectionery and pasta products. Acorn starch can be used not only for food purposes, but also find application in the production of bioethanol, in paper production, in the manufacture of composites and polymer films. Acorn extracts exhibit antioxidant properties and are used for medicinal purposes. Oak fruit protein isolates have prospects in the production of food water-fat emulsion products, acorn oil is a source of valuable fatty acids. Acorn drinks - coffee substitutes - are becoming increasingly popular. The analysis of recent publications has shown that the issue of using oak fruits as a multipurpose raw material is given considerable attention. Scientific research is focused on individual processes, or the study of the properties and areas of application of certain compounds of oak fruits. The work is carried out using advanced research methods, they are characterized by the depth of study of the nutritional and technological characteristics of the resulting acorn products. The predictability of their behavior in multicomponent systems is an important characteristic that affects the technology and implementation of innovations in food production. An important task is not to implement separate processes for extracting acorn components, but a comprehensive, ecologically and economically justified waste-free processing of oak fruits into food, pharmaceutical and technical products. Solving this task requires systematization of research results and the formation of flexible approaches to the issue of complex processing of oak fruits.

Keywords: acorns; flour; starch; tannin; oil; protein isolate.

КОМПЛЕКСНЕ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПЛОДІВ ДУБА В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Тетяна Г. Філінська, Ірина В. Суха, Антоніна О. Філінська, Оксана В. Берзеніна

Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010, Україна

Анотація

Всі морфологічні частини дуба, включаючи плоди, кору, деревину та листя, мають безліч застосувань. Жолуді багаті на поживні речовини, що робить їх важливим сировинним ресурсом. З давніх часів плоди дуба були цінним харчовим продуктом і на сьогодні мають великий потенціал використання в різних галузях промисловості. Жолудеве борошно є важливим безглютеновим компонентом хлібобулочних, борошняних кондитерських і макаронних виробів. Жолудевий крохмаль слугує не лише харчовим інгредієнтом, а й відкриває широкі можливості для промисловості – від виробництва біоетанолу й паперу до створення композитів та полімерних плівок. Жолудеві екстракти, багаті на антиоксиданти, цінуються й у медицині. Білкові ізоляти плодів дуба мають перспективи у виробництві харчових водно-жирових емульсійних продуктів, жолудева олія є джерелом цінних жирних кислот. Все більшого поширення набувають жолудеві напої – заміники кави. Проведений аналіз останніх публікацій показав, що питанням використання плодів дуба як сировини багатоцільового призначення приділяється значна увага. Наукові дослідження здебільшого зосереджуються на окремих процесах, властивостях та можливих сферах застосування сполук, виділених із плодів дуба. Вказані роботи виконуються з використанням передових методів досліджень, їм властива глибина вивчення поживних і технологічних характеристик отримуваних жолудевих продуктів. Прогнозованість їх поведінки в багатокомпонентних системах є важливою характеристикою, яка впливає на технологію і впровадження інновацій у харчовій промисловості. Важливим завданням є не реалізація окремих процесів вилучення компонентів жолудів, а комплексне, екологічне і економічно обґрунтоване безвідходне перероблення плодів дуба в продукти харчового, фармацевтичного й технічного призначення. Вирішення цього завдання потребує систематизації результатів досліджень і формування гнучких підходів до питання комплексного перероблення плодів дуба.

Ключові слова: жолуді; борошно; крохмаль; танін; олія; білковий ізолят.

*Corresponding author: e-mail: berzenina@gmail.com

© 2025 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v34i1.340806

Вступ

Використання відновлюваної сировини сьогодні є одним із пріоритетних напрямів розвитку різних галузей промисловості. Важливим завданням будь-яких країн є формування продовольчої безпеки і створення умов для раціонального і ефективного використання альтернативних джерел поживних компонентів. Встановлена біоактивність морфологічних частин дуба свідчить про доцільність оцінки їхнього промислового потенціалу. Тим не менш, на сьогодні жолуді залишаються недооціненими і практично не інтегрованими в харчові ланцюги. Застосування в технологіях харчових продуктів нетрадиційної сировини вимагає досліджень хімічного складу, фізіологічної цінності, виявлення взаємозв'язку з іншими компонентами продукції для розроблення ефективної технології їх використання. Встановлення складу і властивостей морфологічних частин жолудів лежить в основі їх оцінювання в якості сировини харчового, технічного та фармацевтичного призначення. Комплексна переробка жолудів має охоплювати всі морфологічні частини плоду як відновлюваної сировини. Такий підхід мінімізує утворення відходів і сприяє раціональному використанню ресурсів. Додатково це знижує екологічні ризики та запобігає забрудненню екосистем.

Сучасні дослідження альтернативних відновлюваних сировинних ресурсів для харчових та суміжних виробництв є науково й практично актуальними. Вони ґрунтуються на інноваційних методах аналізу та забезпечують глибоке вивчення поживних і технологічних характеристик одержуваних продуктів. Окрему цінність для технологів має підвищення передбачуваності поведінки такої сировини в багатокомпонентних системах, що полегшує проектування стабільних рецептур і процесів.

Плоди дуба, відомі як кормовий ресурс для диких і свійських тварин, здавна слугували також альтернативним і недорогим інгредієнтом у раціоні харчування людей. Попри окремі приклади застосування жолудів у низці галузей, їх інтеграція в харчові ланцюги залишається точковою; це обґрунтовує необхідність системного огляду технологічних рішень для їх переробки. Для максимально ефективного застосування жолудів як сировини багатоцільового призначення, важливо враховувати сучасні

напрацювання щодо технологій вилучення основних складових, таких як вуглеводи (крохмаль), білки, жири та інші біологічно активні сполуки. Не менш важливим завданням є не реалізація окремих процесів, а комплексна, екологічно та економічно обґрунтована безвідходна переробка плодів дуба на продукти харчового й технічного призначення. Вирішення цього завдання потребує систематизації результатів досліджень і формування гнучких підходів до питання перероблення жолудів.

Метою роботи була систематизація інформації про застосування плодів дуба та методів вилучення поживних і корисних сполук, а також формування сучасних підходів до розроблення схем комплексного перероблення всіх морфологічних частин жолудя в продукти багатоцільового призначення.

Методологія огляду. Для проведення огляду літератури було обрано напрями пошуку відповідних наукових праць на тему, що висвітлює склад і використання плодів дуба в сфері досліджень харчової і суміжних галузей науки. Параметр «тема» відноситься до всіх відповідних досліджень, що містять наступні пошукові терміни в ключових словах, анотації або заголовку: «плоди дуба» «жолуді», «склад», «використання». За цими ключовими словами були проаналізовані статті за останні 20 років (2005–2025pp.). Під час пошуку використовувалися відповідні бази даних, такі як Web of Science (WoS) та Scopus. Такий вибір обумовлений надійністю цих основних бібліографічних баз даних.

Аналіз літературних даних

Представники роду *Quercus* поширені в більшості лісів Європи, Північної Африки, Америки та Азії, охоплюючи діапазон від прохолодних до тропічних біомів. У світі налічується за різними даними до 500 видів *Quercus*, з яких близько 45 % вважаються такими, що знаходяться під загрозою, оскільки вони страждають від руйнування довкілля або хвороб і шкідників. Питання збереження дубів у багатьох країнах є важливим завданням, а оскільки більшість видів *Quercus* мають насіння, чутливе до висихання, їх довгострокове збереження залежить від розроблення та застосування кріобіотехнології [1].

Жолуді – це плоди (горіхи) дуба (*Quercus*), а точніше, це сім'янки з одного насіння. Жолудь

— це нерозкривний плід із однією вільною насінною, укладеною в твердий дерев'янистий оплідник. Він розміщується у блюдцеподібній або чашоподібній мисочці, яка слугує для прикріплення плоду до стебла. (рис. 1). Плюска (чашка, мисочка) являє собою

чашоподібний наріст, утворений зі зрослих видозмінених приквіток. У деяких рослин, зокрема у дуба, вона лише частково охоплює плід, тоді як у каштана та бука повністю вкриває горіхи й розтріскується після дозрівання для їхнього вивільнення.

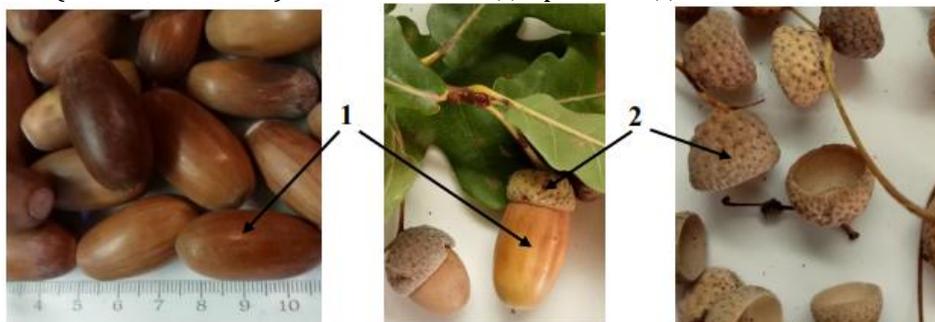


Fig. 1. Fruit (nut) of the English oak (*Quercus robur*): 1 – acorn; 2 – cupule
Рис. 1. Плід (горіх) дуба *Quercus robur*: 1 – жолудь; 2 – плюска

Плоди дуба, як і листя, є ознаками, що дозволяють ідентифікувати різновиди дубів. Серед характеристик, які відрізняють жолуді різних видів *Quercus*, можна назвати: структуру чашоподібної мисочки, форму, масу (разом із відсотком затверділого перикарпію) та розміри [2; 3].

Ліси України сформовані понад 30 видами деревних порід. Загальна площа лісового фонду України до недавня становила 10.4 млн. га, із яких вкриті лісовою рослинністю – 9.6 млн. га. В них домінують хвойні (сосна та ялина), які займають 42.2 % та твердолистяні (дуб, бук) дерева – 43.2 %, менший відсоток припадає на м'яколистяні насадження, такі як береза, осика та ін. У природних насадженнях рівнинної частини України зростають дуби: звичайний або черешчатий (*Quercus robur*), скельний (*Quercus petraea*) і пухнастий (*Quercus pubescens*). Насадження дуба звичайного в Україні займають приблизно 95 % загальної площі дубових насаджень [4].

Історично жолуді відігравали помітну роль у людському харчуванні як доступне джерело енергії та мікронутрієнтів. Їхній склад (крохмаль, жири, білок, фенольні сполуки) зумовлює інтерес як до харчового, так і до технологічного використання [5].

Вміст білків, жирів, вуглеводів (крохмалю) в жолудях залежить від виду *Quercus*, місця зростання, ступеня зрілості плодів і коливається в широкому діапазоні (табл.1) [2]. Ці відмінності можна спостерігати навіть в межах одного виду [6].

В жолудях присутні біоактивні фенольні сполуки, включаючи фенольні кислоти, флавоноїди, таніни та ін. Виявлено безліч інших сполук з біологічною активністю як гідрофільних, так і ліпофільних.

Жолуді – доступний інгредієнт для харчових продуктів і кормів; їхні екстракти мають підтверджену антиоксидантну активність і використовуються як функціональні добавки в харчових і суміжних галузях [7].

Chemical composition of acorns from different *Quercus* species

Table 1

Таблиця 1

Види <i>Quercus</i>	Хімічний склад жолудів різних видів <i>Quercus</i>				
	Вміст компонентів, %				
	жири	білки	вуглеводи	крохмаль	зола
<i>Q. brantii</i>	0.72	3.37	ів*	63.00	2.09
<i>Q. calliprinos</i>	2.31	4.94	77.86	ів*	1.78
<i>Q. cerris</i>	1.05	4.30	ів*	64.55	1.75
<i>Q. coccifera</i>	2.67	2.54	ів*	66.2	1.81
<i>Q. ilex</i>	9.14 – 14.95	3.90 – 5.94	8.95 – 12.47	ів*	1.34 – 2.02
<i>Q. infectoria</i>	1.55	4.37	ів*	68.15	1.95
<i>Q. ithaburensis</i>	0.76	2.84	58.94	ів*	3.21
<i>Q. rotundifolia</i>	8.38 – 13.51	3.56 – 4.34	ів*	47.98 – 59.95	1.94 – 2.19
<i>Q. suber</i>	2.09 – 8.22	6.19 – 9.38	ів*	22.03 – 60.00	2.12 – 2.98

ів* – інформація відсутня

Екстенсивні системи, що набувають все більшого поширення в тваринництві, заохочують до вирощування місцевих порід свиней і використання місцевих кормових ресурсів, що сприяє підтримці генетичного різноманіття та передбачає поставку на ринок нішевого продукту з високою органолептичною якістю. Як приклад, вирощування іберійської свині, кінцевий період відгодівлі якої проходить переважно в середземноморських преріях, де на пасовищах тварина споживає жолуді в якості основного компонента свого кормового раціону, доповненого травою, якщо вона доступна [8]. Рекомендоване оптимальне добове споживання становить від 3.1 до 3.6 кг ядер жолудів та від 0.38 до 0.49 кг трави. Зазначимо, що іберійські свині споживають лише ядро, не ковтаючи оболонку [9].

Інтенсивні або традиційні системи вирощування свійських тварин у закритих приміщеннях потребують додаткового збагачення кормів поживними речовинами. Позитивні результати досліджень щодо введення жолудів у раціон харчування не лише свиней, а й інших тварин, мають підтвердження. Для вигодовування буйволів рекомендується до 47.3 % жолудів в складі кормів, для кіз молочної породи – до 40 %. Споживання зелених жолудів (*Quercus ilex*) позитивно впливає на засвоюваність поживних речовин і процес зростання ягнят, також жолуді (*Quercus pubescens*) розглядаються як джерело енергії в комбікормах для кроликів [10–14].

Вивчалися ефекти від введення жолудів і до складу кормів свійських птахів. Вивчена їхня позитивна дія в суміші з кукурудзою на показники зростання бройлерів, характеристики їх тушок та жирнокислотний склад м'яса. За твердженнями практиків-птахівників, борошно з жолудів, якими годують курей, збільшує їх яйценосність. Для цього випечені з жолудевого борошна хлібці додають до корму, попередньо розмочивши їх у воді [15].

Результати, описані в роботі [16], доводять необхідність використання порошку з жолудів під час розведення коропа звичайного. Використання жолудевих добавок у кормах для риб корелювало з кращими продуктивними показниками та сприятливими змінами гематобіохімічних маркерів (підвищення еритро- й лейкоцитарних показників, гемоглобіну;

зниження загального холестерину та тригліцеридів).

Жолудевий крохмаль, частка якого в плодах дуба досить висока (50–70 %), використовується не лише в харчових цілях, а може знаходити застосування в виробництві: біоетанолу; лимонної кислоти, паперу; виготовленні композитів (з жолудевого крохмалю та полімолочної кислоти, модифікованих димерною жирною кислотою або димерним поліамідом жирної кислоти); склеюваної та термозварювальної композитних плівок [17–22].

Висока концентрація дубильних речовин (танінів) у жолудях істотно обмежує їх харчове використання: таніни формують характерну терпкість і гіркоту, погіршуючи сприйняття смаку. Проте, виділений із жолудів танін широко використовують у технологіях дублення шкір. Особливо цінується Valonea – танін, який одержують з плодів дубу, що зростає в західній частині Туреччини: він характеризується стабільним вмістом активних компонентів та високою ефективністю в технологічних процесах. Окрему увагу привертають дослідження танінів, екстрагованих із чашечок жолудів, як потенційних коагулянтів у процесах водоочищення. Вивчалися їх властивості як первинних коагулянтів – альтернатив галуну – та як допоміжних коагуляційних агентів. Експериментальні випробування проводилися в воді з різними показниками рН та ступенем каламутності. Результати засвідчили, що таніни демонструють значно вищу ефективність, ніж основні коагулянти. Їхня коагуляційна активність перевищувала ефективність синтетичного аніонного поліелектроліту AN913 [23; 24], що відкриває перспективи для їхнього екологічно безпечного застосування в системах водопідготовки. Таким чином, дубильні речовини жолудів, попри обмеження щодо харчового використання, становлять цінний об'єкт для подальших досліджень у галузях екотехнологій, водоочищення та біоактивних матеріалів, що відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку та ресурсозбереження.

Після попереднього зменшення вмісту танінів очищені ядра перетворюють на жолудеве борошно, яке застосовують у технологіях безглютенової продукції. Знежирене жолудеве борошно водночас стабілізує структуру м'якушки (в поєднанні з

гідроколоїдами) і покращує нутриціологічний профіль виробів [25]. Його рекомендують вводити до рецептурного складу безглютенового хліба разом з іншими видами борошна: рисовим, гречаним, нутовим. [26–30]. Досліджена можливість виготовлення печива з жолудево-кукурудзяної борошняної суміші, а також заміна на жолудеве пшеничного та кукурудзяного борошна з метою покращення антиоксидантної активності продукту [31–33]. Борошно з жолудів доцільно використовувати як базовий інгредієнт у безглютенових кексах і як збагачувальний компонент у макаронних виробках [34; 35]. За даними хімічного аналізу воно містить вітаміни А, РР та комплекс вітамінів групи В (В1, В2, В3, В6, В9), а також широкий спектр макро- й мікроелементів. Амінокислотний профіль включає як замінні, так і незамінні амінокислоти, що підвищує біологічну цінність продуктів із його додаванням.

Частка олії в жолудях коливається в широкому діапазоні від 5 до 20 %, а за деякими даними може досягати 30 %. Вміст і склад жирних кислот залежать від генетичних

факторів, абіотичних чинників (таких як ступінь дозрівання), клімату та географічного походження і розрізняється для різних видів (табл.2) [3].

Олеїнова та лінолева кислоти є основними ненасиченими жирними кислотами жолудевої олії, а переважаючою насиченою є пальмітинова кислота [7]. Жолудева олія має високу поживну цінність, а її смак подібний до оливкової. Можливості застосування жолудевої олії як нового харчового інгредієнта ще повністю не вивчені. Хоча, наприклад, у португальському законодавстві вона визначена в категорії харчових олій, і в шістдесятих роках минулого століття її було оцінено як сировину для харчової промисловості. Вилучати олію з жолудів можна різними способами. Традиційно холодний віджим є одним з найбільш використовуваних методів отримання жолудевої олії. Вилучають її також екстрагуванням з використанням різних органічних розчинників або CO₂ [36; 37]. Було виявлено, що жолудева олія придатна і для виробництва біодизельного палива (метилових ефірів жирних кислот) [38].

Table 2

Fatty acid profile of acorns of various *Quercus* species (%)

Таблиця 2

Жирнокислотний склад зразків жолудів різних видів *Quercus*, (%)

Кислота	Вміст жирних кислот, %				
	Види <i>Quercus</i>				
	<i>Q. faginea</i>	<i>Q. suber</i>	<i>Q. pyrenaica</i>	<i>Q. coccifera</i>	<i>Q. ilex</i>
C14:0 міристинова	0.19 ± 0.05	0.31 ± 0.06	0.18 ± 0.02	0.30 ± 0.09	0.18 ± 0.04
C15:0 пентадеканова	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.15 ± 0.01	0.16 ± 0.03	0.08 ± 0.01
C16:0 пальмітинова	11.69 ± 1.19	14.27 ± 1.48	12.17 ± 0.55	16.22 ± 0.99	12.28 ± 1.55
C16:1 пальмітоолеїнова	0.36 ± 0.12	0.26 ± 0.03	0.38 ± 0.02	0.37 ± 0.15	0.17 ± 0.04
C17:0 маргарінова	0.16 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.03
C18:0 стеаринова	3.50 ± 0.66	2.74 ± 0.54	3.23 ± 0.66	3.31 ± 0.44	4.03 ± 0.86
C18:1 олеїнова	62.44 ± 2.46	56.25 ± 6.84	57.46 ± 3.46	48.02 ± 4.55	65.83 ± 3.75
C18:1 вакценова	2.49 ± 0.24	2.23 ± 0.41	2.36 ± 1.18	3.11 ± 0.76	1.40 ± 0.31
C18:2 лінолева	16.42 ± 0.22	20.73 ± 4.43	21.30 ± 3.54	25.38 ± 2.54	14.17 ± 2.98
C18:3 ліноленова	0.74 ± 0.21	1.34 ± 0.42	0.80 ± 0.10	1.57 ± 0.25	0.54 ± 0.18
C20:0 арахінова	0.58 ± 0.18	0.26 ± 0.06	0.54 ± 0.15	0.29 ± 0.03	0.36 ± 0.04
C20:1 гадолеїнова	0.43 ± 0.12	0.39 ± 0.08	0.39 ± 0.07	0.38 ± 0.04	0.36 ± 0.04
C20:2 ейкозадієнова	0.04 ± 0.03	0.08 ± 0.02	0.04 ± 0.04	0.06 ± 0.02	0.03 ± 0.05
C22:0 бегенова	0.34 ± 0.17	0.35 ± 0.15	0.41 ± 0.11	0.28 ± 0.06	0.18 ± 0.01
C23:0 трикозанова	0.12 ± 0.05	0.14 ± 0.07	0.12 ± 0.03	0.10 ± 0.02	0.05 ± 0.06
C24:0 лігноцерінова	0.22 ± 0.10	0.23 ± 0.12	0.21 ± 0.04	0.16 ± 0.04	0.09 ± 0.01
Загальна кількість насичених жирних кислот, %	16.96 ± 0.88	18.64 ± 1.87	17.15 ± 1.44	21.01 ± 1.35	17.44 ± 1.01
Загальна кількість мононенасичених жирних кислот, %	65.73 ± 2.36	59.13 ± 6.50	60.59 ± 3.55	51.89 ± 4.05	67.76 ± 3.93
Загальна кількість поліненасичених жирних кислот, %	17.31 ± 2.14	22.24 ± 4.74	22.26 ± 3.61	27.11 ± 2.80	14.80 ± 3.12

Жолудеві білкові ізоляти як самостійно, так і в суміші з гуміарабіком, забезпечують формування стійких водно-жирових емульсій прямого типу, властивості яких залежать від способу приготування та послідовності змішування компонентів [39].

Порошок із ядра жолудів є гідним замінником кави, має привабливий мікро- та макроелементний склад. Зважаючи на те, що вживання жолудевого напою в світі набуває поширення, виконується все більше робіт по вивченню біологічної активності, безпечності, токсичності і поживної цінності напою з жолудів. Досліджуються питання впливу способів попереднього оброблення жолудів на склад і характеристики отриманого напою [40; 41].

Набувають популярності продукти, виготовлені безпосередньо з жолудевого крохмалю, такі як локшина та доторимук (корейською *도토리묵*), а також *cazhi doufu* чи *xiangzi doufu* китайською. Остання, схожа на желе, страва досить поширена в Кореї та Китаї [42]. Жолудевий крохмаль може слугувати альтернативною заміною іншим видам крохмалю в складі харчових продуктів. Наприклад, досліджено вплив крохмалю, екстрагованого з туніського *Quercus ilex*, на якість ферментованих молочних продуктів [43]. Також виконуються дослідження фізико-хімічних властивостей жолудевого крохмалю як стабілізатора емульсій Пікерінга [44].

Неїстівні частини жолудя (шкаралупи і чашки) використовують для виготовлення паливних брикетів. В одному з досліджень їх формування здійснювали за температури 150 °С, тиску 100 кгс/см² протягом 60 с на гідравлічному пресі. Отримані зразки характеризувалися теплотворною здатністю ~17428 кДж/кг, зольністю ~1.22 % і залишковою вологістю <1 %, і були готові до використання. Виготовлення брикетів з жолудів дуба звичайного (*Quercus robur*) не

потребувало додаткових сполучних матеріалів, а отриманий продукт відповідав існуючим європейським стандартам [45; 46].

Проведений аналіз останніх публікацій показав, що питанням використання плодів дуба як сировини багатоцільового призначення приділяється значна увага. Але водночас дослідження зосереджені на вивченні окремих процесів або властивостей і сфер застосування тих чи інших сполук плодів дуба. Нагальним залишається питання комплексного перероблення жолудів, зменшення відходів і екологічного навантаження, гнучкого підходу до розроблення технологічних схем з урахуванням запиту на кінцеві продукти.

Переважає більшість процесів перероблення жолудів починається з очищення від чашок і шкаралупи. Плюски (чашки), що формують зовнішній шар навколо частини плоду дуба (діаметр 1.5–1.8 см завдовжки і 0.8–1.5 см завширшки), зазвичай відносять до побічних продуктів перероблення, які найчастіше вважаються відходами. Разом з іншими відходами перероблення дубів вони забруднюють навколишнє середовище, тому актуальними були дослідження їх складу та властивостей як вторинного матеріального ресурсу. В роботі з висушених і подрібнених чашок дуба монгольського (*Quercus mongolica*), поширеного в Азії, методом екстрагування вилучено й охарактеризовано біологічно активні речовини з високою антиоксидантною здатністю. Встановлено оптимальний склад водно-спиртового екстрагенту, який забезпечив вилучення найбільшої кількості загальних фенолів, флавоноїдів і танінів з досліджуваних зразків порошку чашок дуба. Екстракти, отримані з використанням 50 %-вого водно-спиртового розчину, містили найбільше екстрагованих компонентів (табл. 3) [47].

Table 3

Overall levels of phenolic compounds, flavonoids, and tannins in extracts of oak cups

Таблиця 3

Загальний вміст фенолів, флавоноїдів і танінів в екстрактах дубових чашок

Склад екстрагенту		Вміст компонентів в екстракті			
вода, %	етиловий спирт, %	феноли, мг GAE/100 г	флавоноїди, мг RE /100 г	таніни	
				загальний вміст, мг GAE/100 г	конденсовані, мг CE/100 г
100	0	59.81 ± 1.43	88.63 ± 2.13	40.27 ± 0.54	6.72 ± 0.37
70	30	70.93 ± 5.03	95.32 ± 1.19	50.39 ± 2.12	10.87 ± 0.42
50	50	99.82 ± 2.86	102.27 ± 3.19	77.01 ± 0.67	11.71 ± 0.46
20	80	34.86 ± 1.51	46.15 ± 2.19	26.87 ± 0.69	7.06 ± 0.56
0	100	18.31 ± 1.27	25.52 ± 0.49	12.05 ± 0.68	4.44 ± 0.13

GAE – еквівалент галової кислоти; RE – еквівалент рутину; CE – катехіновий еквівалент

Тож, під час розробки схеми комплексного перероблення жолудів доцільно на першому етапі процесу включити стадії відділення чашок, їх сушіння, подрібнення та екстрагування водно-спиртовим розчином. Залишок після екстрагування можливо додавати до маси на разі виготовлення паливних брикетів.

Подальше перероблення плодів, звільнених від чашок, може здійснюватися різними способами, в залежності від мети щодо одержання кінцевого продукту. Наприклад, процес вилучення крохмалю для виготовлення традиційного корейського желейного продукту з жолудів, включає низку технологічних операцій, послідовність яких може відрізнятись. Описаний спосіб, у якому не було попередньої стадії очищення від шкаралупи, а видалення терпких сполук (танінів) вимочуванням у холодній воді відбувалося після подрібнення неочищених жолудів [42].

Натомість, під час очищення та подальшого вилучення танінів процес може бути прискорений завдяки термічному обробленню. Варіння при температурі 85–96 °C забезпечувало кращі смакові характеристики отриманого продукту порівняно з кип'ятінням при 100 °C. Жолуді, з яких дубильні речовини вилучалися шляхом кип'ятіння, мали виразно гіркий присмак, тоді як після варіння вони набували солодкуватого відтінку. Такий результат пояснюється

взаємодією (зв'язуванням) дубильних речовин, що мають гіркий смак, із крохмалем жолудів під час кипіння. Під дією високих температур і води крохмалі інтенсивно поглинають вологу, що призводить до незворотної желатинізації та утворення стійких комплексів між дубильними речовинами й крохмалем. Отже, вилучення танінів кип'ятінням, ймовірно, не є достатньо ефективним методом вилуговування дубильних речовин [48]. Такі результати слід враховувати не лише при визначенні послідовності технологічних стадій комплексного перероблення жолудів, а й під час встановлення оптимальних технологічних параметрів процесу.

Як зазначалося вище, одержання жолудевої олії може здійснюватися пресовим і екстракційним способами. З побічних продуктів переробки (макухи і шроту) доцільно виготовляти продукти з доданою вартістю за схемами, аналогічними для традиційних олійних культур. Наприклад, макуха може використовуватися не лише як добавка до кормів свійських тварин і птахів, а також і як сировина для одержання жолудевих білкових ізолятів. Виготовлення ізолятів безпосередньо з плодів дуба включає такі стадії: очищення ядра, подрібнення, вилуговування (видалення танінів), відділення крохмалю та жиру, одержання кінцевого продукту. Хімічний склад порошку і білкового ізоляту наведено в табл. 4 [39].

Table 4

Chemical composition of acorn powder and protein isolate

Таблиця 4

Хімічний склад жолудевого порошку та білкового ізоляту

Продукт	Вміст компонентів, %					
	білки	волога	жири	вуглеводи	клітковина	зола
Жолудевий порошок	6.0	10.3	7.9	72.5	1.3	2.0
Жолудевий білковий ізолят	83.8	8.3	0.21	4.72	0.52	2.45

Жолудевий білковий ізолят (ОПІ) виявляє емульгуючі властивості, а в суміші з полісахаридами (гуміарабік GA) стабілізує багаточасові емульсії (табл. 5). Створення останніх (рис. 2). надає технологіям харчових

продуктів нові засоби покращення якості та стабільності багатьох харчових продуктів, а також можливість розробляти нові системи інкапсуляції та доставки.

Table 5

Functional properties of acorn protein isolate (ОПІ) and its complex with gum arabic (ОПІ + GA) at a 4:1 ratio and pH = 3.2

Таблиця 5

Функціональні властивості жолудевого білкового ізоляту (ОПІ) і його комплексу з гуміарабіком (ОПІ+ GA) за співвідношення 4 : 1 і pH = 3.2

Зразок	Поглинання води, г/г	Поглинання олії, г/г	Піноутворююча здатність, %	Стійкість піни, %	Гідрофобність поверхні
ОПІ	2.02 ± 0.03	1.68 ± 0.04	53.42 ± 0.18	43.26 ± 1.07	125.15 ± 4.04
ОПІ+ GA	1.76 ± 0.41	2.01 ± 0.11	64.31 ± 0.41	72.41 ± 0.92	216.36 ± 1.93

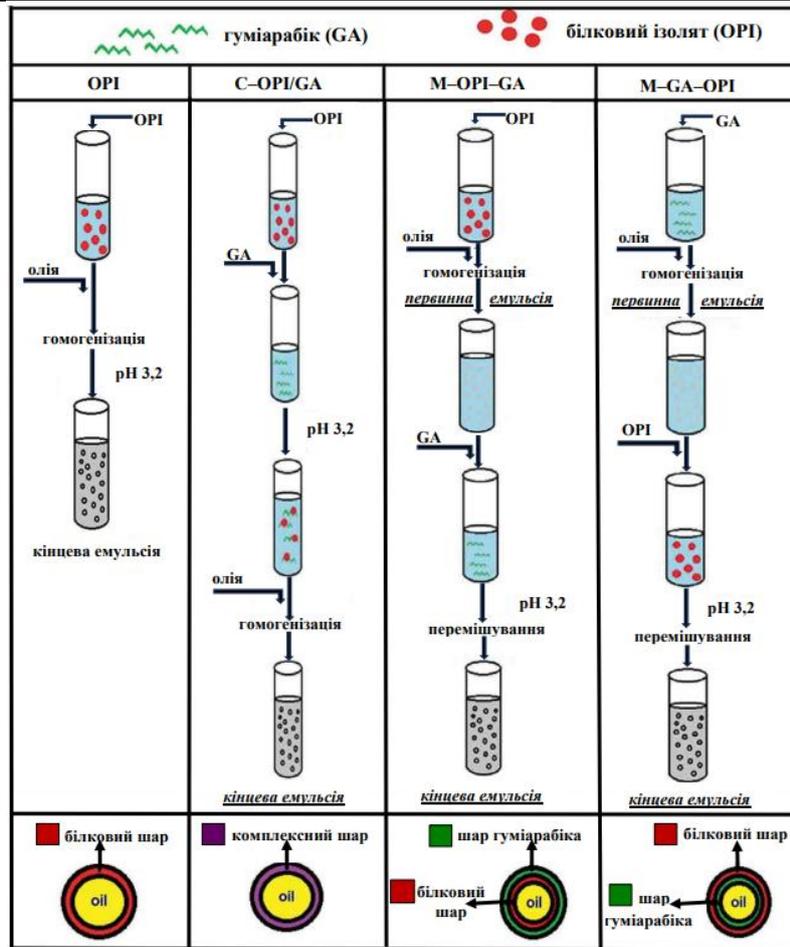


Fig. 3. Schematic representation of various methods for preparing emulsions stabilized with OPI and GA
Рис. 3. Схематичне зображення різних способів приготування емульсій, стабілізованих OPI та GA

Гуміарабік GA може як підвищувати, так і знижувати стабільність емульсій в залежності від способів приготування (табл. 6). Порядок додавання біополімерів суттєво впливає на властивості емульсій. Системи C-OPI/GA та M-

OPI-GA формували відносно стабільні емульсії, тоді як M-GA-OPI через значний розмір частинок і схильність до флокуляції виявився непридатним для використання в харчових системах.

Table 6
Emulsifying properties of different emulsions stabilized by acorn protein isolate (OPI) and its complex with gum arabic (OPI + GA)

Таблиця 6
Емульгуючі властивості різних емульсій, стабілізованих жолудевим білковим ізолятом (OPI) і його комплексом з гуміарабіком (OPI+ GA)

Вид емульсії	Активність емульсії, %	Стабільність емульсії, %	Середній розмір частинок, мкм
OPI	44.2 ± 1.5	31.6 ± 1.3	1.9 ± 0.1
C-OPI/GA	88.9 ± 1.4	77.4 ± 1.0	1.31 ± 0.07
M-OPI-GA	88.9 ± 1.4	48.3 ± 0.82	1.51 ± 0.09
M-GA-OPI	37.2 ± 1.1	17.2 ± 0.9	2.21 ± 0.12

Процес виготовлення жолудевого борошна (порошку) залежно від вмісту дубильних речовин у сировині може відбуватися зі стадією замочування або без неї. Наприклад, жолудеве борошно з *Quercus brantii*, яке використовували для виготовлення кексів, отримували подрібненням ядер після замочування їх протягом 48 год з періодичною заміною води [49]. Борошно з плодів *Quercus*

ilex, *Quercus suber* і *Quercus coccifera* для виготовлення зразків печива отримували лише шляхом подрібнення очищених ядер. Таке борошно було трохи солодким, не гірким і мало обмежений рівень терпкості, тому його виробництво не потребувало будь-якої попередньої обробки для видалення танінів [32]. Отже, вибір технології перероблення жолудів значною мірою залежить від

характеристик вихідної сировини, що зумовлює необхідність її попереднього дослідження.

Таніни мають широкий спектр застосувань, зокрема як харчова добавка E181 (барвник). Присутні в жолудях таніни можна вилучати різними методами, такими як: занурення в воду, термічний, хімічний та ферментативний [12; 50]. Результати досліджень двох методів екстракції: занурення в воду за кімнатної температури та термічний гідроліз шляхом кип'ятіння показують, що обидва методи екстракції є ефективними варіантами для отримання танінів, хоча вони знижують вміст деяких важливих мінералів. Отже, всі описані вище методи оброблення плодів дуба, що передбачають стадію вилучення танінів, повинні враховувати цей процес як складову комплексної переробки жолудів.

Жолудева кава за органолептичними властивостями – кольором і смаком – майже не поступається натуральній, а за поживною цінністю навіть перевершує кавове зерно. Для цієї групи напоїв встановлено норматив щодо вмісту екстрактивних речовин – не менше 20 %. Усі кавові напої являють собою порошкоподібну або крупчасту масу темно-коричневого кольору, зі смаком і ароматом, характерним для якісно обсмажених продуктів, без сторонніх запахів чи присмаків. Допустима вологість продукту на момент випуску не повинна перевищувати 5 %, а під час зберігання – 7 %; зольність обмежується рівнем до 5.5 %. [51].

Жолудева кава завдяки своїм властивостям рекомендована для споживання особам з серцево-судинними захворюваннями, дітьми та вагітними жінками як смачний і тонізуючий напій. Аромат жолудевої кави вирізняється своєрідністю та не поступається аромату традиційної кави. Зростаючий інтерес до жолудевих напоїв у різних країнах сприяє розробці нових рецептур. Відомі кавові напої, що містять у своєму складі жолуді: «Арктика» (15 % натуральних зерен кави, 25 % жолудів, 40 % ячменю, 20 % сої), «Наша марка» (35 % натуральних зерен кави, 30 % цикорію, 25 % жолудів, 10 % каштанів) [52]. Такі композиції забезпечують не лише привабливі сенсорні властивості, але й потенціал для створення функціонального продукту з високою біологічною цінністю.

Зважаючи на той факт, що вживання жолудевого напою в світі набуває поширення, виконується все більше робіт по вивченню

біологічної активності, безпечності, токсичності і поживної цінності кави з жолудів. Досліджуються питання впливу способів попереднього оброблення жолудів на склад і властивості отриманого з них напою. Були виявлені відмінності щодо вмісту макроелементів, таких як: калій, кальцій, фосфор, сірка та магній у термічно оброблених зразках жолудів (смажених і варено-смажених) і необроблених (сирих). Вид оброблення по-різному впливає на кількісні зміни макроелементів. Для деяких показників маємо збільшення (вміст P, Mg і S) після використання кожного способу оброблення, а для окремих випадків спостерігаємо зменшення вмісту макроелементів, наприклад, під час смаження (Ca), або варінні і наступному смаженні (K) [53].

Процес виробництва жолудевої кави включає використання виключно стиглих плодів, які очищаються від шкаралупи, подрібнюються на декілька частин, сушаться, обсмажуються на сухій сковороді до темно-коричневого кольору, після чого перемелюються до порошкоподібного стану. Якість напою прямо залежить від ступеня подрібнення: чим дрібніший порошок, тим вищі органолептичні показники. До жолудевого напою допускається додавання невеликої кількості натуральної кави, що сприяє покращенню смакових властивостей та стабілізації аромату [54].

Аналіз летких компонентів напою зі смажених жолудів дав змогу ідентифікувати 19 ароматичних сполук. Серед них домінували фурфурол, 5-метилфурфурол та фурфуриловий спирт. Ароматичний профіль включав ноти, характерні для традиційної кави: кислі (оцтова, пропанова кислоти), масляні/карамельні (2,3-пентандіон, гексаналь, 3-гідрокси-2-бутанон, нонаналь, ізомальтол тощо), димні/смажені (диметилпіразин, фурфурилметиловий ефір) та фруктові (3-пентен-2-он, бензальдегід) [55].

Знання технології приготування напоїв на основі жолудевого порошку інтегрується до навчальних програм з тактичної підготовки військовослужбовців, орієнтованих на виживання в екстремальних умовах, зокрема за обмеженого доступу до традиційних ресурсів. Особливу увагу приділяють використанню дикорослих рослин як альтернативних джерел харчування, що дозволяє формувати навички автономного забезпечення життєдіяльності та адаптації до

польових умов. Жолудева кава, як приклад функціонального напою з високим рівнем доступності, розглядається не лише як джерело енергії, а й як елемент, що має практичне значення в контексті військової логістики та польового раціону [56].

Вміст важких металів у харчових продуктах є критичним показником безпечності, що підлягає обов'язковому контролю згідно з чинними нормативами. Гранично допустимі концентрації (ГДК) для основних токсичних елементів у харчових продуктах становлять: для свинцю – 1.0 мг/кг, нікелю – 0.5 мг/кг, хрому – 0.3 мг/кг, кадмію – 0.1 мг/кг. Водночас, згідно з вимогами ДСТУ 4394:2005 «Кава натуральна розчинна. Загальні технічні умови», допустимий рівень кадмію для кавової продукції знижено до 0.05 мг/кг. Результати дослідження зразків жолудевих напоїв засвідчили відповідність вмісту важких металів встановленим нормативам. Однак було зафіксовано відмінності між зразками, отриманими з термічно оброблених та необроблених жолудів, що підтверджує вплив технологічних процесів на хімічний склад продукту. . Окрему увагу приділено дослідженню впливу обжарювання на функціональні властивості напоїв на основі

жолудів *Quercus*. Встановлено, що такі напої характеризуються антиоксидантною активністю, зумовленою наявністю фенольних сполук, серед яких домінує елагова кислота. Завдяки цьому напій проявляє антимулагенні властивості. Термічна обробка спричиняє зниження загального вмісту жирних кислот, водночас не фіксується утворення генотоксичних або цитотоксичних компонентів, що підтверджує безпечність продукту. Перспективним напрямом є застосування високого тиску як альтернативного методу обробки. Незважаючи на обмежений термін зберігання необроблених напоїв, використання високого тиску дозволяє створювати функціональні продукти з покращеними сенсорними характеристиками. Порівняльний аналіз зразків, оброблених тиском 450 і 600 МПа протягом 5, 12.5 та 20 хв, із зразками, термічно обробленими за температури 85 °C протягом 30 хв, не виявив суттєвих відмінностей за антиоксидантною активністю та фенольним профілем, де основною сполукою виступає галова кислота [57].

Етапи перероблення плодів дуба (табл.7) можуть повністю або частково і в різній послідовності використовуватися для одержання продуктів із доданою вартістю.

Table 7

Processing stages of oak fruits

Таблиця 7

Етапи перероблення плодів дуба

Номер і назва етапу	Суть процесу	Кінцеві продукти
1. Відділення і переробка чашок (плюсок)	Вилучення з чашок біологічно-активних речовин. Стадії процесу: відділення чашок; сушіння; подрібнення: екстрагування 50 %-вим водно-спиртовим розчином	1. Екстракт біологічно-активних речовин з антиоксидантними властивостями. 2. Залишок (використання для виготовлення паливних брикетів).
3. Вилучення олії	Вилучення жолудевої олії пресовим або екстракційним методами. Екстракція можлива з використанням органічних розчинників (гексан, петролейний ефір), методом фокусованої мікрохвильової екстракції, ультразвуковою екстракцією та надкритичною екстракцією CO ₂ .	1. Жолудева олія харчового або технічного призначення (виготовлення біопалива – метилових ефірів жирних кислот). 2. Знежирений жолудевий порошок.
3. Вилучення дубильних речовин (танінів)	Вилучення танінів методами занурення в воду, термічним, хімічним та ферментативним методом	1. Екстракт танінів 2. Осад після відділення танінів
4. Вилучення крохмалю	Вилучення крохмалю з очищених від лузги і подрібнених плодів ферментативною або хімічною (розчини гідроксиду натрію або метабісульфіту натрію) обробкою. Можливе виділення крохмалю шляхом замочування в етанолі за допомогою ультразвуку	1. Крохмаль 2. Залишок після відділення
5. Вилучення ізольованих білків	Виготовлення жолудевого білкового ізоляту з подрібненого і просіяного порошку змішуванням з водою (1 : 10) з наступним доведенням до pH = 8 додаванням розчину гідроксиду натрію, центрифугуванням.	1. Жолудевий білковий ізолят 2. Залишок (порошок після відділення)

Висновки

На основі узагальнення представлених матеріалів можна констатувати, що плоди дуба (жолуді) є перспективною сировинною базою для багатопрофільного використання в різних галузях промисловості, зокрема у виробництві харчових продуктів і напоїв. Завдяки високому вмісту поживних речовин жолуді відіграють важливу роль у системі годівлі сільськогосподарських тварин, впливаючи на якісні характеристики продукції тваринництва. Біохімічні компоненти жолудів – білки, ліпіди та вуглеводи (зокрема крохмаль) – активно залучаються до технологічних процесів виготовлення хлібобулочних, кондитерських та макаронних виробів. Вони також використовуються як структуроутворюючі та стабілізуючі добавки у виробництві молочних

продуктів, водно-жирових емульсій та інших харчових систем. Порошок із жолудів дедалі частіше використовується як альтернатива каві, входить до складу безкофеїнових напоїв, що набувають популярності серед споживачів, орієнтованих на здорове харчування. Водночас видовий склад дуба зумовлює варіативність хімічного складу плодів, що потребує адаптації технологічних схем перероблення, зокрема можливість введення додаткових стадій або коригування параметрів процесу. Таким чином, актуальним є формування гнучких, екологічно орієнтованих підходів до розроблення комплексних безвідходних технологій перероблення жолудів з метою отримання багатоцільових продуктів із високою доданою вартістю, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку та ресурсоефективності.

References

- [1] Ballesteros, D., Pritchard, H. W. (2020). The cryobiotechnology of oaks: An integration of approaches for the long-term ex situ conservation of *Quercus* species. *Forests*, 11(12), 1281. <https://doi.org/10.3390/f11121281>
- [2] Szabłowska, E., Tańska, M. (2024). Acorns as a source of valuable compounds for food and medical applications: A review of *Quercus* species diversity and laboratory studies. *Applied Sciences*, 14(7), 2799. <https://doi.org/10.3390/app14072799>
- [3] Akcan, T., Gökçe, R., Asensio, M., Estévez, M., Morcuende, D. (2017). Acorn (*Quercus* spp.) as a novel source of oleic acid and tocopherols for livestock and humans: Discrimination of selected species from Mediterranean forest. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 3050–3057. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2740-3>
- [4] Selinnyi, M. M., Korma, O. M. (2019). [Forest management of Ukraine: current state and development prospects]. *Modern Economics*, 17, 211–217. (in Ukrainian).
- [5] Wang, Y., Xu, C., Wang, Q., Jiang, Y., Qin, L. (2023). Germplasm resources of oaks (*Quercus* L.) in China: Utilization and prospects. *Biology*, 12(1), 76. <https://doi.org/10.3390/biology12010076>
- [6] Slipeykh, O. O. (2017). [Dependence between physicochemical characteristics of common oak acorns (*Quercus robur* L.) in Ukrainian steppe populations and their shape coefficient]. *Biologichni systemy*, 9, 264–269 (in Ukrainian)
- [7] Taib, M., Bouyazza, L., Lyoussi, B. (2020). Acorn oil: Chemistry and functionality. *Journal of Food Quality*, 2020, 8898370, 11. <https://doi.org/10.1155/2020/8898370>
- [8] Nieto, R., Rivera, M., García, M. A., Aguilera, J. F. (2002). Amino acid availability and energy value of acorn in the Iberian pig. *Livestock Production Science*, 77(2–3), 227–239. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00040-4)
- [9] Rodríguez-Estévez, V., García, A., Gómez-Castro, A. G. (2009). Intrinsic factors of acorns that influence the efficiency of their consumption by Iberian pigs. *Livestock Science*, 122(2–3), 281–285. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.09.011>
- [10] Sun, Z., Liu, D., An, S., Wu, X., Zhang, J., Miao, Z. (2024). Effects of acorns on fatty acid composition and lipid metabolism in adipose tissue of Yuxi Black pigs. *Animals*, 14(22), 3271. <https://doi.org/10.3390/ani14223271>
- [11] Mohammadabadi, T., Azadi, M. S., Babaei, M. (2020). Effect of diets containing oak kernel on rumen fermentation and digestibility, blood metabolites and liver enzymes in Khuzestani buffalo. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 90(5), 734–738. <https://doi.org/10.56093/ijans.v90i5.104616>
- [12] Sahi, S., Ouennes, H., Bayoud, A., Boukraa, M. (2022). Effect of incorporating holm oak acorn in the feed of "Saanen" breed dairy goats in the wilaya of Batna. *Livestock Research for Rural Development*, 34, 96. <http://www.lrrd.org/lrrd34/10/3496same.html>
- [13] Mekki, I., Smeti, S., Hajji, H., Mahouachi, M., Atti, N. (2022). Effects of green oak acorn (*Quercus ilex*) intake on nutrient digestibility, lamb growth, and carcass and non-carcass characteristics. *Archives Animal Breeding*, 65, 113–120. <https://doi.org/10.5194/aab-65-113-2022>
- [14] Wolf, P., Cappai, M. G. (2020). Response of fattening rabbits with acorns (*Quercus pubescens* Willd.) combined in the diet: Growth performance, carcass traits and perirenal fatty acid profile. *Animals*, 10(8), 1394. <https://doi.org/10.3390/ani10081394>
- [15] Boudroua, K., Mourot, J., Selselet-Attou, G. (2009). The effect of green oak acorn (*Quercus ilex*) based diet on growth performance and meat fatty acids. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(6), 843–848. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80571>
- [16] Abdel-Tawwab, M., Abdulrahman, N. M., Ahmad, V. M., Ramzi, D. O. M., Hassan, B. R. (2021). Effects of dietary oak (*Quercus aegilops* L.) acorn on growth performance, somatic indices, and hemato-biochemical responses of common carp (*Cyprinus carpio* L.) at different stocking densities. *Journal of Applied Aquaculture*, 34(4), 877–893. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1902450>

- [17] Chao, B., Liu, R., Zhang, X., Zhang, X., Tan, T. (2017). Tannin extraction pretreatment and very high gravity fermentation of acorn starch for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 241, 900–907. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.026>
- [18] Okamoto, K., Goda, T., Yamada, T., Nagoshi, M. (2021). Direct ethanol production from xylan and acorn using the starch-fermenting basidiomycete fungus *Phlebia acerina*. *Fermentation*, 7(3), 116. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030116>
- [19] Zhang, N., Jiang, J. C., Yang, J., et al. (2019). Citric acid production from acorn starch by tannin tolerance mutant *Aspergillus niger* AA120. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 188, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2902-4>
- [20] Khaksaar, A. B., Jalali Torshizi, H., Hamzeh, Y. (2023). Valorization and development of acorn starch as sustainable and high-performance papermaking additive for improving bagasse pulp and paper properties. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 937–947. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01912-9>
- [21] Li, S., Xia, J., Xu, Y., Yang, X., Mao, W., Huang, K. (2016). Preparation and characterization of acorn starch/poly(lactic acid) composites modified with functionalized vegetable oil derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 142, 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.01.031>
- [22] Chi, W., Ning, Y., Liu, W., Liu, R., Li, J., Wang, L. (2023). Development of a glue- and heat-sealable acorn kernel meal/κ-carrageenan composite film with high haze and UV-shield for packaging grease. *Industrial Crops and Products*, 204(A), 117250. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117250>
- [23] Onem, E., Gulumser, G., Akay, S., Yesil-Celiktas, O. (2014). Optimization of tannin isolation from acorn and application in leather processing. *Industrial Crops and Products*, 53, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.014>
- [24] Ozacar, M., Şengil, İ. A. (2002). The use of tannins from Turkish acorns (*Valonia*) in water treatment as a coagulant and coagulant aid. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26(3), 255–263.
- [25] Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., Juszcak, L. (2015). The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, 240, 1135–1143. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2417-y>
- [26] Martins, R. B., Gouvinhas, I., Nunes, M. C., Ferreira, L. M., Peres, J. A., Raymundo, A., Barros, A. I. R. N. A. (2022). Acorn flour from holm oak (*Quercus rotundifolia*): Assessment of nutritional, phenolic, and technological profile. *Current Research in Food Science*, 5, 2211–2218. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2022.11.003>
- [27] Martins, R. B., Garzón, R., Peres, J. A., et al. (2022). Acorn flour and sourdough: An innovative combination to improve gluten-free bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 248, 1691–1702. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-03996-y>
- [28] Skendi, A., Mouselimidou, P., Papageorgiou, M., Papastergiadis, E. (2018). Effect of acorn meal-water combinations on technological properties and fine structure of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 253, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.144>
- [29] Martins, R. B., Nunes, M. C., Ferreira, L. M. M., Peres, J. A., Barros, A. I. R. N. A., Raymundo, A. (2020). Impact of acorn flour on gluten-free dough rheology properties. *Foods*, 9(5), 560. <https://doi.org/10.3390/foods9050560>
- [30] Gkoutenoudi-Eskitzi, I., Kotsiou, K., Irakli, M. N., Lazaridis, A., Biliaderis, C. G., Lazaridou, A. (2023). In vitro and in vivo glycemic responses and antioxidant potency of acorn and chickpea fortified gluten-free breads. *Food Research International*, 166, 112579. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112579>
- [31] Korus, A., Gumul, D., Krystyan, M., et al. (2017). Evaluation of the quality, nutritional value and antioxidant activity of gluten-free biscuits made from corn-acorn flour or corn-hemp flour composites. *European Food Research and Technology*, 243, 1429–1438. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2853-y>
- [32] Summo, A., Squeo, G., Caponio, F., Pasqualone, A., Makhoulouf, F. Z., Barkat, M., Difonzo, G. (2019). Effect of acorn flour on the physicochemical and sensory properties of biscuits. *Heliyon*, 5(8), e02242. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02242>
- [33] Parsaei, M., Goli, M., Abbas, H. (2018). Oak flour as a replacement of wheat and corn flour to improve biscuit antioxidant activity. *Food Science & Nutrition*, 6(2). <https://doi.org/10.1002/fsn3.524>
- [34] Masmoudi, M., Besbes, S., Bouaziz, M. A., Khelifi, M., Yahyaoui, D., Attia, H. (2020). Optimization of acorn (*Quercus suber* L.) muffin formulations: Effect of using hydrocolloids by a mixture design approach. *Food Chemistry*, 328, 127082. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127082>
- [35] Kasprzak-Drozd, K., Mołdoch, J., Gancarz, M., Wójtowicz, A., Kowalska, I., Oniszczyk, T., Oniszczyk, A. (2024). In vitro digestion of polyphenolic compounds and the antioxidant activity of acorn flour and pasta enriched with acorn flour. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10), 5404. <https://doi.org/10.3390/ijms25105404>
- [36] Özdikicierler, O., Akcan, T. (2023). *Bioactive phytochemicals from acorn (Quercus spp.) oil processing by-products*. In Hassanien, M. F. R. (Ed.), *Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91381-6_35
- [37] Bernardo-Gil, M. G., Lopes, I. M. G., Casquilho, M., Ribeiro, M. A., Esquível, M. M., Empis, J. (2007). Supercritical carbon dioxide extraction of acorn oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, 40(3), 344–348. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.07.026>
- [38] Karabas, H. (2013). Biodiesel production from crude acorn (*Quercus frainetto* L.) kernel oil: An optimisation process using the Taguchi method. *Renewable Energy*, 53, 384–388. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.002>
- [39] Naderi, B., Keramat, J., Nasirpour, A., Aminifar, M. (2020). Complex coacervation between oak protein isolate and gum Arabic: Optimization and functional characterization. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1854–1873. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1825484>
- [40] Sekeroglu, N., Ozkutlu, F., Kilic, E. (2017). Mineral composition of acorn coffees. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51(3), 504–507. <https://doi.org/10.5530/ijper.51.3s.75>
- [41] Coelho, M., Silva, S., Rodríguez-Alcalá, L. M., Oliveira, A., Costa, E. M., Borges, A., Martins, C., Rodrigues, A. S., &

- Pintado, M. M. E. (2018). Quercus-based coffee-like beverage: Effect of roasting process and functional characterization. *Food Measure*, 12, 471–479. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9660-9>
- [42] An, T., Tang, M., An, J. (2022). Ethnological approach to acorn utilization in prehistory: A case study of acorn mook making in South Korea. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.996649>
- [43] Zarroug, Y., Boulares, M., Mejri, J., Slimi, B., Hamdaoui, G., Djebbi, S., Saidi, F., Nasri, H., Sfayhi, D. T., Kharrat, M. (2020). Extraction and characterization of Tunisian Quercus ilex starch and its effect on fermented dairy product quality. *International Journal of Analytical Chemistry*, 8868673. <https://doi.org/10.1155/2020/8868673>
- [44] Guo, C., Han, F., Geng, S., Shi, Y. Z., Ma, H., Liu, B. (2023). The physicochemical properties and Pickering emulsifying capacity of acorn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 239, 124289. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124289>
- [45] Allouch, M., Alami, M., Boukhelif, F. (2015). *Production of fuel briquettes from acorn shells and acorn cups*. In 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). Marrakech, Morocco. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2015.7455026>
- [46] Ivashchuk, O., Atamanyuk, V., Chyzhovych, R., Manastyrskaya, V., Barabakh, S., Sobechko, I. (2024). Research of common oak acorns use for alternate solid fuel production. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(3), 599–604. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.304213>
- [47] Yin, P., Yang, L., Li, K., Fan, H., Xue, Q., Li, X., Sun, L., Liu, Y. (2019). Bioactive components and antioxidant activities of oak cup crude extract and its four partially purified fractions by HPD-100 macroporous resin chromatography. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(2), 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.arabj.2016.09.018>
- [48] Hanson, K. E., Bryant, P. L., Painter, A. M., Skibo, J. M. (2019). Acorn processing and pottery use in the Upper Great Lakes: An experimental comparison of stone boiling and ceramic technology. *Ethnoarchaeology*, 11(2), 170–185. <https://doi.org/10.1080/19442890.2019.1642574>
- [49] Sasani, N., Kazemi, A., Babajafari, S., Amiri-Ardekani, E., Rezaian, M., Barati-Boldaji, R., Mazloomi, S. M., Cain, C. T., Clark, C. T., Ashrafi-Dehkordi, E. (2022). *Food Science & Nutrition*, 11(2), 883–891. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3123>
- [50] Monteiro, V., Soares, C., Grosso, C., Delerue-Matos, C., Ramalhosa, M. J. (2023). From forest to table: Optimizing the nutritional value of acorns through effective tannin extraction. *Biology and Life Sciences Forum*, 26(1), 16. <https://doi.org/10.3390/Foods2023-15036>
- [51] Syrokhman, I. V., Zadorozhnyi, I. M., Ponomarov, P. Kh. (2007). [*Commodity science of food products: Textbook (4th ed., revised and supplemented)*]. Kyiv: Libra. (in Ukrainian).
- [52] Nazarenko, V. O., Yudicheva, O. P., Zhuk, V. A. (2012). [*Formation of product quality. Part 1: Textbook*]. Kyiv: Tsentru uchbovnoi literatury. (in Ukrainian).
- [53] Sekeroglu N., Ozkutlu F., Kilic E. (2017) Mineral Composition of Acorn Coffees, *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51(3), 504–507. doi: [10.5530/ijper.51.3s.75](https://doi.org/10.5530/ijper.51.3s.75)
- [54] Reva, M. L., Reva, N. N. (1976). [*Wild edible plants of Ukraine*]. Kyiv: Naukova Dumka. (in Ukrainian).
- [55] Díaz-Rojas, L., Galán-Bernal, N., Forero, D. P., Linares, E. L., Marín-Loaiza, J. C., Osorio, C. (2019). Characterization of odour-active volatiles and sensory analyses of roasted oak (*Quercus humboldtii* Bonpl.) acorns, a coffee substitute. *Vitae*, 26(1), 44–50. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v26n1a05>
- [56] Lunkov, A. V., Ozharevskyi, V. A., Poltsev, I. V. (2014). [*Fundamentals of survival in combat conditions: Educational-methodical manual*]. Lviv: ASV. (in Ukrainian).
- [57] Sardão, R., Alexandre, E., Amaral, R., Saraiva, J. A., Pintado, M. (2019). *Effect of high pressure processing on a functional acorn beverage*. In *Proceedings of the XXVI Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Química*. Aveiro, Portugal. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13397.99041>