

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2\(44\)-345-365](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2(44)-345-365)

УДК 634.0.8:664:66.0

**Тетяна Геннадіївна Філінська¹, Тетяна Іванівна Ковальчук²,
Антоніна Олександрівна Філінська³, Олег Вікторович Черваков⁴,
Дмитро Геннадійович Філінський⁵, Сергій Климович Павлюк⁶**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції Український державний університет науки і технологій (Дніпро, Україна)

E-mail: f111nskaya@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-7921-1989>

²кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури Поліський національний університет (Житомир, Україна)

E-mail: tanyana72@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8682-3280>

³старший викладач кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції Український державний університет науки і технологій (Дніпро, Україна)

E-mail: antoniyafilin@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-6975-6186>

⁴доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції Український державний університет науки і технологій

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: ochervakov@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1631-3592>

⁵аспірант кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: filinskyi.dmytro@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-6301-0695>

⁶аспірант кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: serpik07@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-7615-963X>

ПЛОДИ ДУБА – ПЕРСПЕКТИВНА СИРОВИНА ХАРЧОВОГО І ТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Продукти перероблення дуба, включаючи плоди, кору, деревину та листя, мають безліч застосувань. Жолуді багаті на поживні речовини, що роблять їх важливим сировинним ресурсом. З давніх часів плоди дуба були цінним харчовим продуктом і на сьогодні мають великий потенціал до використання у різних галузях промисловості. Жолудеве борошно є важливим безглютеновим компонентом хлібобулочних виробів, а крохмаль може використовуватися не лише в харчових цілях, а і знаходити застосування у виробництві біоетанолу, у паперовому виробництві, при виготовленні композитів та полімерних плівок. Білкові ізоляти жолудів мають перспективи у виробництві харчових водно-жирових емульсійних продуктів, жолудева олія є джерелом цінних жирних кислот, все більшого поширення набувають жолудеві напої – замітники кави.

Представлені у статті матеріали мають оглядовий характер. Вони містять аналіз існуючих методів перероблення та використання плодів дуба. Стаття спрямована на формування гнучкого підходу до комплексного використання жолудів, як відновлюваної сировини харчового і технічного призначення, зменшення відходів і екологічного навантаження на довкілля.

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

Рис.: 3. Бібл.: 52.

Актуальність теми дослідження. До пріоритетних напрямів розвитку різних галузей промисловості можна віднести: використання відновлюваної сировини, екологізацію виробництва, впровадження безвідходних технологій з одержанням вторинних продуктів, що мають додану вартість. Склад та властивості різних морфологічних частин дуба слугують відправною точкою для їх можливого промислового застосування. Плоди дуба, зазвичай відомі як жолуді, у наш час дещо недооцінені та недостатньо використовуються. Розширення сфер застосування жолудів у виробництві харчових продуктів як нетрадиційної сировини вимагає досліджень їхнього хімічного складу, фізіологічної цінності, виявлення взаємозв'язку з іншими компонентами продукції для розроблення ефективної технології їх використання. Реалізація принципів «зеленої хімії» в технічних галузях промисловості, впровадження виробничих процесів, які базуються на міжнародних системах управління якістю та системах екологічного менеджменту, потребує систематизації інформації та робить актуальним вивчення нових можливостей використання плодів дуба як сировини багатоцільового призначення.

Постановка проблеми. Сучасні роботи науковців щодо використання відновлюваних сировинних ресурсів у харчових та технічних виробництвах є актуальними. Вони здійснюються з використанням інноваційних методів дослідження, їм властива глибина вивчення властивостей продуктів перероблення, у тому числі і плодів дуба. Прогнозованість їхньої поведінки є важливою для технологів. Плоди дуба, відомі як кормовий ресурс для диких і свійських тварин, здавна слугували також альтернативним і недорогим інгредієнтом у раціоні людей. Зараз їх використовують у багатьох галузях промисловості, що супроводжується відповідними дослідженнями. 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 реалізація не окремих процесів, а комплексне, екологічне й економічно обґрунтоване безвідходне перероблення плодів дуба у продукти харчового і технічного призначення. Вирішення цього завдання потребує систематизації результатів досліджень і формування гнучких підходів до питання перероблення жолудів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дуби (*Quercus*) є поширеними деревами у більшості європейських, північноафриканських, американських та азіатських лісів, від прохолодних до тропічних середовищ. У світі налічується за різними даними до 500 видів *Quercus* [1]. З них близько 45 % вважаються такими, що перебувають під загрозою, оскільки вони страждають від руйнування доквілля, 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 [2]. Дуби є домінуючими видами дерев в екосистемах по всій Північній півкулі. Практика вирощування дубів включає природні лісові масиви і штучне лісонасадження, створене людиною. Площі дубових насаджень в країнах різняться. У Польщі дубові насадження становлять близько 6 % від загальної площі лісів, у Китаї – близько 13 %, у Португалії цей відсоток знаходиться на рівні 34 %, а в Алжирі дуби становлять близько 40 % лісів [1; 3-5]. У Середземноморському регіоні жолуді традиційно були важливим джерелом їжі, особливо в періоди голоду та у неврожайні роки. Однак їх регулярне споживання було втрачено, і нині жолуді переважно споживаються пасовищними тваринами, зокрема, іберійською породою свиней, але все одно більша їх частина залишається на полях без будь-якого перероблення, як і в інших країнах. Жолуді з Південної Європи мають особливу характеристику: вони солодкі через нижчий вміст танінів у порівнянні з іншими видами дуба, що робить їх ще більш привабливими для використання як звичайного інгредієнта в раціоні людини. Одне з найважливіших дерев в унікальній середземноморській лісовій екосистемі кам'яний дуб (*Quercus rotundifolia*) є деревом, що охороняється, яке заборонено рубати, і відповідно до європейського законодавства його території не можуть використовуватися для будь-яких інших цілей, тому дуже важливо використовувати цей цінний ресурс. Остання інвентаризація лісів у 2015 році показала, що в Португалії налічується близько 350 тис. га кам'яних дубів. Це є великою площею, особливо в порівнянні з такою цінною культурою, як, наприклад, каштан, загальна площа якого набагато менша, близько 48 тис. га [6].

Ліси України сформовані понад 30 видами деревних порід, серед яких: сосна (*Pinus sylvestris*), дуб (*Quercus robur*), бук (*Fagus sylvatica*), ялина (*Picea abies*), береза (*Betula pendula*), вільха (*Alnus glutinosa*), ясен (*Fraxinus excelsior*), граб (*Carpinus betulus*), ялиця (*Abies alba*). Загальна площа лісового фонду України донедавна становила 10,4 млн га, із яких вкритих лісовою рослинністю – 9,6 млн га, площі дубових насаджень займали близько 24 % [7]. У природних насадженнях рівнинної частини України зростають дуби звичайний або черешчатий (*Quercus robur*), скельний (*Quercus petraea*) і пухнастий (*Quercus pubescens*). Насадження дуба звичайного займають приблизно 95 %, скельного – 4 % і пухнастого – 1 % загальної площі дубових насаджень. Найпоширенішим і найціннішим вважається дуб звичайний [8].

Жолуді – це плоди (горіхи) дуба (*Quercus*), а точніше, це сім'янки з одного насіння. Жолудь, нерозкритий плід з однією вільною насінною в твердому дерев'янистому оплодні, розміщений у блюдце- або чашоподібній мисочці, яка прикріплює його до стебла. Плоди дуба (жолуді), як і листя, є ознаками, що дозволяють ідентифікувати різновиди дубів. Серед характеристик (рис. 1), які відрізняють жолуді різних видів *Quercus*, можна назвати: структуру чашоподібної мисочки, форму, масу (разом із відсотком затверділого перикарпію) та розміри [3].

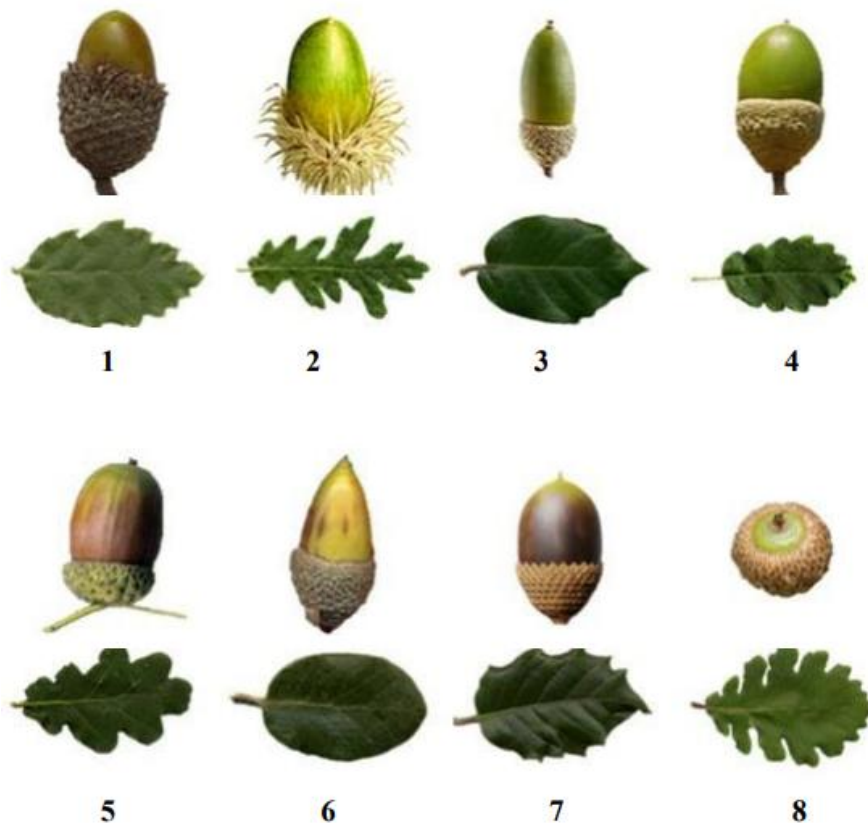


Рис. 1. Морфологічні відмінності в листі та жолудях різних видів *Quercus*:
 1 – *Q. brantii*; 2 – *Q. cerris*; 3 – *Q. ilex*; 4 – *Q. infectoria*; 5 – *Q. robur*;
 6 – *Q. rotundifolia*; 7 – *Q. suber*; 8 – *Q. virginiana*

Джерело: [3].

Властивості жолудів різних видів різняться не лише за розміром, а й за складом [9]. Мають місце відмінності за жирнокислотним складом, та все ж домінуючими серед присутніх кислот є: олеїнова, лінолева і пальмітинова кислоти (табл. 1).

Таблиця 1 – Жирнокислотний склад зразків жолудів різних видів *Quercus* (%)

Кислота	Види <i>Quercus</i>				
	<i>Q. faginea</i>	<i>Q. suber</i>	<i>Q. pyrenaica</i>	<i>Q. coccifera</i>	<i>Q. ilex</i>
1	2	3	4	5	6
C14 міристинова	0,19 ± 0,05	0,31 ± 0,06	0,18 ± 0,02	0,30 ± 0,09	0,18 ± 0,04
C15 пентадеканова	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,03	0,08 ± 0,01
C16 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 маргарінова	0,16 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,19 ± 0,03
C18 стеаринова	3,50 ± 0,66	2,74 ± 0,54	3,23 ± 0,66	3,31 ± 0,44	4,03 ± 0,86

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
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 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 ейкозациєнова	0,04 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,04 ± 0,04	0,06 ± 0,02	0,03 ± 0,05
C22 бегенова	0,34 ± 0,17	0,35 ± 0,15	0,41 ± 0,11	0,28 ± 0,06	0,18 ± 0,01
C23 трикозанова	0,12 ± 0,05	0,14 ± 0,07	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,02	0,05 ± 0,06
C24 лігноциринова	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

Джерело: [9].

Жолудева олія та її побічні продукти мають високий економічний потенціал для промислового застосування через значний вміст у них фенолів та високу антиоксидантну активність. За жирнокислотним складом жолудева олія близька до оливкової, характеризується високим вмістом ненасичених жирних кислот [10].

Жолудева олія має високі поживні якості, а її смак можна порівняти зі смаком оливкової олії. Значення числа омилення (Ч.О) для олії з різних видів жолудів знаходиться в межах від 160,3 до 220 мг КОН/г. Його можна порівняти з таким у оливкової олії (184-196 мг КОН/г). Відносно високі показники Ч.О вказують на те, що олії містять жирні кислоти з великою кількістю атомів вуглецю (довголанцюгові). Йодне число (Й.Ч) відображає ступінь ненасиченості, і що більше подвійних зв'язків, то вище Й.Ч. Показник Й.Ч для жолудевої олії можна порівняти зі значеннями цього показника для оливкової олії 75-94 г/100 г, для деяких зразків цей показник вище.

Вміст вільних жирних кислот (ВЖК) є важливим параметром оцінювання якості олії. Олія більш придатна для споживання людиною, якщо вона має низький вміст ВЖК. Цей показник для жолудевої олії невисокий, що вказує на безпечність використання її для харчових цілей. Для жолудевої олії показник заломлення (n_D^{20}) знаходиться в діапазоні, що наближений до відповідних значень інших рослинних олій, наприклад, оливкової з n_D^{20} 1,4677-1,4705. Жолудева олія містить значну кількість фітостеринів, важливу група природних сполук, біологічно активних у профілактиці низки захворювань. Вони присутні в жолудевій олії в кількостях, що перевищують цей показник для мигдальної, соєвої і оливкової олії та знаходяться в тому ж діапазоні, що притаманні для кунжутної та кукурудзяної. Жолудева олія характеризується високим вмістом β -ситостеролу, за яким слідує кампестерол. Стигмастерол, клеростерол, 5-авенастерол і 7-авенастерол присутні в незначних кількостях. Споживання фітостеролу важливе для зниження рівня холестерину в крові, а також він виявляє протиракові властивості. Крім того, повідомлялося, що жолудева олія містить значну кількість аліфатичних спиртів. Тетракозанол був переважачою сполукою цього класу сполук (43,70–59,48 %), за ним слідував гексакозанол (18,66–26,93 %), а такі сполуки як докозанол (13,17–26,24 %) і октакозанол (1,52–9,33 %) менш поширені аліфатичні спирти в жолудевій олії.

Жолудева олія також є відмінним джерелом токоферолів, що являють собою жиророзчинні фенольні сполуки, які природним чином присутні в олійному насінні в чотирьох різних формах (α -, β -, γ - і δ -токоферолі). Ці сполуки цінуються за їхню здатність захищати від окислювального uszkodження, опосередкованого активними формами кисню та азоту, запобігати окисненню під час зберігання олій і харчових продуктів, які містять ліпіди [10].

За результатами досліджень [5] в жолудевій олії було ідентифіковано фенольні сполуки (табл. 2), серед яких переважаючими були: гідролізовані похідні таніну й сполуки у формі гексагідроксидифенольних ефірів глюкози та галоїлглюкозних ефірів (тригалоїлглюкоза і пентагалоїлглюкоза).

Таблиця 2 – Поліфеноли жолудевої олії

Фенольні сполуки (мг GAE/кг олії)	Вид жолудів		
	<i>Q. ilex</i>	<i>Q. suber</i>	<i>Q. coccifera</i>
Дигалоїлгексоза	1,73	1,26	1,22
Касталагін	2,01	1,45	1,52
Педункулагін	0,14	1,22	1,12
Дигалоїл гексагідроксидифеноїл глюкоза	0,26	3,0	2,36
Казуарикгін	0,22	1,93	2,63
Дигалоїл гексагідроксидип глюкоза (785)	–	1,32	3,88
Тригалоїлглюкоза	1,49	3,32	4,87
Тетрагалоїл-пентозид	1,98	6,06	6,55
Тетрагалоїлпентозид (787), тригалоїл гексагідродипеноїл глюкоза (937)	–	17,52	21,26
Тетрагалоїл-пентозид (787), тригалоїл гексагідродифеноїлглюкоза (937)	20,83	28,13	34,82
Тригалоїлгексагідродифеноїл глюкоза	81,89	101,47	129,15
Пентагалоїл глюкоза (939)	10,75	20,90	20,22

Джерело: [10].

Проаналізовано як загальний вміст фенолів, так і загальний вміст флавоноїдів в жолудевій олії і борошні. Рівень вмісту фенолів (виражений в еквіваленті галоїлової кислоти – GAE) варіювався від 195,6 до 322,06 мг GAE/кг олії, тоді як вміст флавоноїдів (виражений в еквіваленті катехіну – CE) знаходився в межах від 122,99 до 131 мг CE/кг. Загальний вміст фенольних сполук у різних сортах жолудевої олії коливався від 84 до 109 мг/кг. Ці сполуки сприяють підвищенню окисної стабільності олії [10; 11].

В олії з жолудів *Q. suber* у великій кількості присутні каротиноїди ($66,33 \pm 0,90$ мг/кг олії); ця олія також багата на хлорофіли ($2,03 \pm 0,01$ мг/кг олії) [5].

Жолуді *Q. faginea* багаті на лікопін (183 ± 141 г/г сухої речовини) і β -каротин (1312 ± 890 (мкг/г сухої речовини)). Як відомо, β -каротин є потужним антиоксидантом, який слугує інгібітором фотоокислення шляхом реакції з пероксильними радикалами. Невелика кількість жолудів гарантує рекомендовану добову потребу у вітаміні А, що важливо з погляду здоров'я людини. Жолудева олія здобула широку популярність у науковій спільноті як функціональний продукт. З погляду її користі для здоров'я, жолудева олія містить високу частку олеїнової кислоти, також у ній присутні незамінні лінолева й ліноленова кислоти. Присутність цих кислот у складі жолудевої олії робить її перспективним харчовим продуктом-добавкою для профілактики ризику серцево-судинних захворювань. Важливим компонентом є β -ситостерин. Він виступає переважним фітостеролом, представленим у жолудевій олії (90 %). Олія слугує відмінним джерелом токоферолів, причому γ -токоферол є найбільш поширеним. Антиоксидантна активність та ідентифікація поліфенолів вказують на потенційну користь для здоров'я. Можливості застосування жолудевої олії, як нового харчового інгредієнта, ще повністю не вивчено. 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 [12; 13].

Слід зосередити більше досліджень на виробництві жолудевої олії кращої якості, наприклад, на застосуванні більш інноваційних та оптимізованих методів, які можуть підвищити її користь для здоров'я. Аналогічно, токсикологічні ефекти, механізм дії в організмі людини та дані про присутні у складі сполуки, необхідно ретельно вивчати перед розглядом питання щодо безпечності використання жолудевої олії в харчових цілях.

Вилучати олію з жолудів можна різними способами. Традиційно холодне відтискання є одним з найбільш використовуваних методів отримання жолудевої олії. За такого способу пресування виконується при низькому тиску близько 0,5 МПа [10]. Процес потребує менших затрат енергії, ніж інші методи вилучення олії, є екологічно чистим і короткотривалим. Вилучення жолудевої олії екстракцією виконується з використанням органічних розчинників, таких як гексан і петролейний ефір. Цей метод вважається ефективним більше сторіччя; найбільшою його перевагою є простота (не потрібна фільтрація після етапу вилучення олії) і помірне споживання енергії. Недоліком є використання розчинника, який є токсичною речовиною. Його важко виключити повністю, і це може призвести до серйозного забруднення кінцевого продукту (олії). Для вилучення олії з жолудів успішно застосовується фокусована мікрохвильова екстракція. Цей метод заснований на тих же принципах, що і звичайна екстракція, але він модифікований для полегшення розміщення відсіку картриджа зі зразком в зоні опромінення мікрохвильової печі. Фокусована мікрохвильова екстракція має перевагу в порівнянні зі звичайними методами, оскільки дозволяє повністю вилучити жир за 30 хв, що значно швидше у порівнянні з еталонним методом екстракції (4,5 – 8 годин). Як альтернатива цим традиційним методам екстракції для вилучення жолудевої олії пропонуються такі методи, як ультразвукова екстракція та надкритична екстракція CO₂. Жирнокислотний склад жолудевої олії, отриманої екстракцією *n*-гексаном в апараті Сокслета і надкритичною флюїдною екстракцією з CO₂ при 18 МПа і 313°C, не мав суттєвих відмінностей. Але остання в порівнянні з екстракцією в апараті Сокслета вважається екологічно чистим методом, що дозволяє уникнути проблеми забруднення олії залишковим розчинником. Більш того, діоксид вуглецю безпечний, негорючий і доступний у високій чистоті. Для екстракції жолудевої олії у дослідженнях використовували надкритичний CO₂ змінюючи такі параметри, як розмір частинок, швидкість потоку розчинника, геометрію екстрактора та ін. Встановлено, що вихід продукту та початкова швидкість екстракції залежать від густини діоксиду вуглецю та поверхневої швидкості.

Крім використання в харчових цілях, жолудева олія може слугувати сировиною для виробництва біодизелю (метилових ефірів жирних кислот – МЕЖК) [14].

Крохмаль – продукт, що знаходить застосування у різних галузях промисловості і потреба в ньому має тенденцію до зростання. Світове виробництво крохмалю у 2020 році становило 88,1-97,7 млн тонн. Із загального обсягу 75 % припадає на кукурудзу, за якою слідує маніока (14 %), пшениця (7 %) і картопля (4 %). Співвідношення різних видів крохмалю на американському, європейському, азійському ринках різняться. Китай і США є основними виробниками крохмалю, в основному з кукурудзи. Таїланд – з маніоки, а Європа – пшеничного і картопляного крохмалів. Гідролізовані крохмалі є найбільш споживаними, за ними слідує нативні та модифіковані крохмалі, і вони важливі як джерело їжі. Разом з харчовою промисловістю великі об'єми крохмалю потребує паперове виробництво, за нею слідує хімічна промисловість і виробництва біорозкладальних полімерів, попит на які швидко зростає [15]. Знання властивостей крохмалю є обов'язковим, щоб визначити його потенційне застосування як у харчовій, так і нехарчовій промисловості. Крохмалі із жолудів характеризуються високим вмістом амілози, обмеженим набуханням у поєднанні з низькою розчинністю та низькими температурами желатинізації. Важливим є метод одержання крохмалю, його ізоляція. Лужний метод є більш ефективним. Такого висновку дійшли у процесі виділення крохмалю з плодів двох

видів жолудів (*Quercus rotundifolia* та *Quercus suber*) різними методами (лужним і ферментним) [16]. Метод виділення викликав зміни властивостей в ізольованих крохмалях, а саме: термічні, реологічні, синерезисні, кристалізаційні, а також вмісту резистентного крохмалю. Ізольовані жолудеві крохмалі мали високий вміст амілози (53–59 %) і резистентного крохмалю (30,8–41,4 %). Були встановлені значення розчинності й набухання, показуючи їх поступове збільшення від 60°C до 90°C. Температури клейстеризації варіювалися від 67,5 до 72,0 °C, і клейстери не показували розпаду, що вказує на високу стабільність клейстеру жолудевих крохмалів при нагріванні. При температурі навколишнього середовища значення каламутності та синерезису були низькими, але при витриманні при температурах замерзання синерезис значно збільшувався. Крохмаль, виділений ферментативним методом, показав менш цікаві функціональні властивості, оскільки ця процедура виділення більше вплинула на структуру крохмалів.

Для різних видів жолудів і методів їх оброблення за літературними даними вихід крохмалю знаходився в діапазоні від 48,93 до 89,83 %, а його чистота становила від 98,1 до 97,6 % [17]. Майже всі методи мали схожу схему, незалежно від виду жолудів. Плоди зазвичай очищають від лущиння, подрібнюють, частіше у вологому стані. Потім хімічна або ферментативна обробка. Центрифуги застосовувалися для прискорення виділення таких сполук, як білок, жир, цукри та волокна. Один з ранніх методів виділення жолудевого крохмалю включав обробку 0,3 % розчином метабісульфіту натрію для замочування, нейлонову сітку (106 мм) для просіювання і багаторазове промивання толуолом (10 % толуолу в 0,1 М водного розчину). Отриманий крохмаль висушували на повітрі за кімнатної температури.

Інший спосіб включав подрібнення жолудів в сухому виді з подальшим замочуванням 0,25 % NaOH. Після цього суспензію гомогенізували та просіювали через сито 180 мм. Отриманий осад далі послідовно просіювали через сита 75 мм і 53 мм та центрифугували. Жолудевий крохмаль, вилучений за допомогою цього методу, мав високу чистоту та вихід, і що важливо менш ушкоджену структуру. Описано інший метод виділення крохмалю з жолудів, який включав замочування жолудевого борошна в 0,3 % гідроксиді натрію при масовому співвідношенні компонентів 1:5, просіювання дисперсії через сито з розміром отворів 0,18 мм і наступне очищення центрифугуванням.

Щодо молекулярної структури, то в наукових джерелах не надто багато повідомлень про хімічні структури компонентів амілози та амілопектину з крохмалю із жолудів. Його молярна маса становить від $2,65 \times 10^7$ до $8,22 \times 10^7$ г/моль. Молярну масу та щільність амілопектину з жолудів можна порівняти з іншими крохмалями типу А. Крохмаль із жолудів показав нижчий відсоток розгалужених коротких ланцюгів амілопектину та дуже довгих ланцюгів. А відсоток розгалужених довгих ланцюгів був більшим. Форма жолудевого крохмалю може бути сферичною, еліптичною та неправильною.

У гранулах зовнішні ланцюги амілопектинових ланцюгів взаємодіють один з одним і молекулами води, утворюючи подвійні спіралі та кристали. Кристали гранул розташовані систематично, утворюючи 3 поліморфні типи (типи А, В і С). Типи А і В розрізняються на основі упаковки подвійних спіралей в амілопектині та рівня їх гідратації. Тип С являє собою суміш типу А і В. Ступінь кристалічності крохмалю із жолудів варіювався від 22,3 до 47,8 %, він нижчий, ніж у крохмалів пшениці, гречки.

Желатинізація крохмалю – це фізичний процес, при якому гранула руйнується і набухає при нагріванні при надлишку води. Цей процес призводить до фазового переходу гранул крохмалю з упорядкованого стану до невпорядкованого. Порівняльні дослідження показали, що температури желатинізації крохмалів із жолудів були нижчими, ніж у крохмалів маніоки та кукурудзи, і вищими, ніж у крохмалів із каштана. Ці відмін-

ності у властивостях желатинізації між різними крохмалюми можна приписати таким факторам, як вміст амілози, кристалічність та вміст некрохмальних домішок. Вплив довжини ланцюга амілопектину в крохмалі із жолудів на желатинізацію залишається незрозумілим. Тому мають проводитися подальші дослідження для характеристики розподілу амілопектину в жолудевому крохмалі та визначення впливу розподілу довжини ланцюга амілопектину на його фізико-хімічні властивості.

Крохмаль із жолудів, виділений шляхом замочування в етанолі за допомогою ультразвуку, показав відносно вищі значення набухання та розчинності порівняно з іншими методами; вони склали близько 24,99 г/100 г і 15,22 % відповідно при температурі 90 °С. Крохмаль із жолудів має низький показник набухання у порівнянні з картопляним крохмалю. Це може бути пов'язане із різними факторами. Наприклад, високий вміст моноєфіру фосфату в картопляному крохмалі значно сприяє більшій гідратації та набухання гранул картопляного крохмалю. Порівняльне дослідження показало, що набухання і розчинність крохмалю із жолудів при 90 °С були вищими, ніж у крохмалів гречки, вівса, і нижче, ніж у крохмалів кукурудзи та ін.

Крохмаль можна поділити на три категорії з погляду засвоюваності, залежно від його схильності до гідролізу під час транзиту кишківником через травні ферменти. Швидко засвоюваний крохмаль гідролізується протягом 20 хв, повільно засвоюваний – від 20 до 120 хв і резистентний крохмаль не гідролізується протягом 120 хв. Відмінності в засвоюваності нативних крохмалів між видами і всередині видів приписуються взаємодії багатьох факторів, таких як ступінь кристалічності та джерело крохмалю. Було відзначено різноманітність у вмісті резистентного крохмалю у жолуді (30,8-41,4 %), і цей показник сильно корелювався методом виділення. Повідомлялося, що гідролізовані таніни можуть бути основними активними сполуками, відповідальними за зниження засвоюваності жолудів. Висока кількість резистентного крохмалю в жолудях вказує на високий потенціал використання жолудів для приготування продуктів з низьким глікемічним індексом.

Дослідження показали можливість використання жолудевого крохмалю у виробництві паперу. Порошок із висушених очищених від шкаралупи плодів жолудів, мав світло-золотистий колір (рис. 2, *b*). Однак після екстракції розчинником нативний ізольований крохмаль трансформувалася в біло-молочний порошок (рис. 2, *c*). Як видно (рис. 2, *d*), гранули жолудевого крохмалю були нерегулярними, сферичними, напівсферичними та в основному еліптичними, демонструючи поверхню з поглибленнями та численними отворами і тріщинками (рис. 2, *e, f*). Їх розподіл за розмірами був в діапазоні від 6 до 12 мкм (гранули типу В). Поліпшення властивостей жомової целюлози та паперу з використанням нативного жолудевого крохмалю, порівнювалось із звичайною добавкою катіонного кукурудзяного крохмалю. Показники утримання жомової целюлози та дренаж як ключові показники продуктивності та працездатності були кращими у жолудевого крохмалю порівняно з кукурудзяним. Найнижче дозування жолудевого крохмалю (0,5 %) показало кращі результати, ніж найвищі дозування кукурудзяного (1 та 1,5 %). Більш висока адсорбція жолудевого крохмалю на поверхні волокон порівняно з кукурудзяним може бути пов'язана з його більш високим значенням утримання води разом з вищою щільністю (до 20 %). Спостерігалися високі механічні властивості одержаного паперу, такі як індекси розтягування, продавлювання і розриву. Нативний жолудевий крохмаль здатний забезпечувати більшу продуктивність, ніж комерційний хімічно модифікований крохмаль, а жолуді – слугувати перспективним джерелом нативного крохмалю для паперової промисловості, навіть без хімічної модифікації [18].

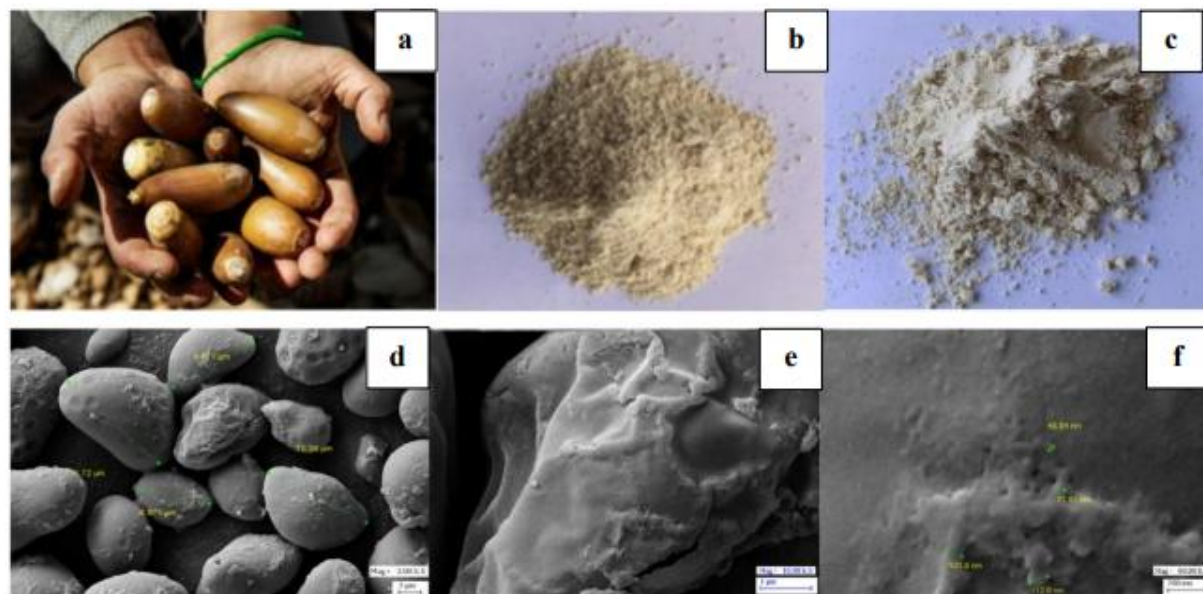


Рис. 2. Зображення продуктів перероблення жолудів:

a – необроблені жолуді *Q. persica*; *b* – жолудевий порошок; *c* – жолудевий крохмаль;
d – *f* – жолудевий крохмаль під мікроскопом

Джерело: [18].

Досліджено процес прямого виробництва етанолу з ксилану та жолудів з використанням ферментуючого крохмаль базидіального гриба *Phlebia acerina*. Базидіальний гриб білої гнилі *Phlebia acerina* SF23754, що використовувався в роботі, здатний засвоювати широкий спектр джерел вуглецю та ферментувати етанол з ксилану та крохмалю. Результати дослідження підтверджують можливість використання жолудів як сировини для ферментації етанолу з використанням гриба *Phlebia acerina*, що може сприяти ефективному переробленню невикористаної біомаси [19].

Жолудевий крохмаль може також слугувати сировиною для ферментативного виробництва лимонної кислоти. Враховуючи присутність в матеріалі таніну, здійснення процесу доцільно виконувати з використанням мутантного штаму з толерантністю до таніну *Aspergillus niger* AA120. Він забезпечує збільшення біомаси на 43,76 % і продуктивності виробництва лимонної кислоти на 20,34 % [20].

Жолудевий крохмаль використовують у полімерному виробництві. Досліджено властивості композитів з жолудевого крохмалю та полімолочної кислоти, модифікованих димерною жирною кислотою (ДЖК) або димерним поліамідом жирної кислоти (ДПЖК). Зразки були виготовлені методом екструзії гарячого розплаву. Вивчався вплив вмісту ДЖК та ДПЖК на механічні, гідрофобні, термічні властивості та плинність розплаву композитів при незмінному масовому співвідношенні жолудевого крохмалю до полімолочної кислоти 40:60. Результати досліджень показали, що сумісність композитів визначалася дозуванням ДЖК або ДПЖК. Гідрофобність та плинність розплаву композитів покращувалася при додаванні ДЖК та ДПЖК. Температури склування композитів значно знижувалася при додаванні ДЖК та ДПЖК. Однак ДЖК і ДПЖК показали різний вплив на механічні властивості композитів з жолудевого крохмалю і полімолочної кислоти. У системі, з модифікацією ДПЖК, міцність на розтягування та вигин спочатку збільшувалася, а потім зменшувалася зі збільшенням дозування ДПЖК; механічна міцність була максимальною, коли дозування ДПЖК становило 2 % від загальної маси. У системі, модифікованій ДЖК, міцність на розтяг та вигин зменшувалася зі збільшенням дозування ДЖК [21].

Плівки, отримувані з крохмалю та білків, використовуються як альтернатива пластику; проте це дещо посилює продовольчий дефіцит. Вивчається можливість використання жолудевого крохмалю для виготовлення склеюваної та термозварювальної композитної плівки [22]. Дослідні зразки були виготовлені з жолудевого порошку і *κ*-карагенану. Одержані результати показали, що показники мутності та пропускання знизилися з 96,74 до 94,50 % та з 3,50 до 2,25 % відповідно, коли вміст гліцерину збільшився з 30 до 50 %. Плівка мала чудові властивості захисту від УФ-випромінювання (пропускання при 380-200 нм дорівнювало 0). Плівка мала максимальну міцність зварювання $5,09 \pm 0,29$ Н/15 мм при 0,3 МПа протягом 1 секунди при температурі 115 °С. Також у неї були високі показники захисту від УФ-випромінювання і така плівка була визначена як ефективна заміна пластикової упаковки для жирних продуктів.

Присутні в жолудях таніни також знаходять широке застосування. Їх можна вилучати різними методами, такими як: занурення у воду, термічним, хімічним та ферментативним способами [23]. Результати досліджень двох методи екстракції: занурення у воду при кімнатній температурі та термічний гідроліз шляхом кип'ятіння показують, що обидва методи екстракції є життєздатними варіантами для отримання танінів, хоча вони знижують вміст деяких важливих мінералів.

Процеси екстракції супроводжуються зменшенням кількості окремих мінералів, що підтверджують результати дослідження необроблених жолудів і зразків, які були піддані одноразовому та дворазовому варінню (табл. 3). Але при цьому спостерігається збільшення вмісту натрію, що пояснюється руйнуванням клітинних стінок і мембран під час кип'ятіння. Ця руйнація потенційно вивільняє натрій, який раніше утримувався в структурі. Кип'ятіння може вилуговувати мінерали та таніни з жолудів у воду, що призводить до відносного підвищення концентрації натрію. Це збільшення може бути результатом безлічі факторів, враховуючи склад жолудів і взаємодії під час кип'ятіння.

Таблиця 3 – Вміст мінералів у сирих зразках і після термічного оброблення

Вміст мінералів	Дослідні зразки		
	сирій	термічно оброблені	
		після першого кип'ятіння	після другого кип'ятіння
Вміст кальцію (Ca), мг/г	$11,3 \pm 0,2$	$0,688 \pm 0,089$	$0,396 \pm 0,086$
Вміст міді (Cu), мг/г	$0,0349 \pm 0,0044$	$0,0227 \pm 0,0037$	$0,0212 \pm 0,0036$
Вміст заліза (Fe), мг/г	$0,351 \pm 0,015$	$0,0609 \pm 0,0080$	$0,0292 \pm 0,0072$
Вміст магнію (Mg), мг/г	$0,299 \pm 0,044$	$0,278 \pm 0,075$	$0,332 \pm 0,068$
Вміст калію (K), мг/г	$23,4 \pm 0,3$	$19,4 \pm 0,3$	$18,0 \pm 0,3$
Вміст натрію (Na), мг/г	$0,142 \pm 0,019$	$0,287 \pm 0,033$	$0,256 \pm 0,002$
Міст цинку (Zn), мг/г	$0,0193 \pm 0,0025$	$0,00462 \pm 0,00189$	$0,00352 \pm 0,00179$

Джерело: [23].

Таніни залишаються спірною групою біоактивних компонентів у рослинах через антипоживні властивості та несприятливі наслідки для здоров'я, які можуть спостерігатися при підвищеному споживанні танінів, з одного боку, і все більш документованого профілактичного та терапевтичного впливу на здоров'я людини, з іншого боку. Комплексоутворення основний антипоживний ефект, що приписується танінам, полягає у зниженні засвоюваності та біодоступності інгредієнтів їжі. Таніни утворюють комплекси як з основними поживними речовинами (вуглеводами та білками), так і з мінералами, такими як фосфор, кальцій, магній та залізо. Таніни самі можуть піддаватися ферментативному окисленню, що також збільшує їхню токсичність.

Крім негативних аспектів, пов'язаних зі споживанням танінів та їхнім впливом на організм людини, нові звіти підкреслюють також корисні для здоров'я властивості про-

дуктів розпаду танінів. Наприклад, елаготаніни, одна з груп танінів, присутніх у жолудях, піддаються гідролізу в тонкому кишечнику людини, і продукти їх гідролізу, насамперед елагова кислота, виявляють антиоксидантну, протизапальну та нейропротекторну дію. Крім того, елагова кислота використовується кишковою мікрофлорою людини як субстрат для виробництва уролітинів, які були ідентифіковані як агенти у боротьбі з раком товстої кишки. Також виявлені гіпоглікемічні сполуки жолудів *Quercus liaotungensis* і досліджена можливість використання їх для профілактики цукрового діабету [24].

Застосування коагулянтів на основі таніну в очищенні стічних вод по всьому світу показало успішне видалення забруднюючих речовин, включаючи мутність, барвники, зважені тверді частинки, водорості та важкі метали. Рівень ефективності танінів як коагулянтів пов'язаний з їхньою хімічною структурою та ступенем модифікації, які в свою чергу пов'язані з видом рослинного джерела, з якого таніни вилучаються. Найбільш ефективними є екстракти з жолудів дуба звичайного, вони показують найвищу коагуляційну активність, близько 70 %. Використання рослинних коагулянтів сприяє зниженню споживання хімікатів та їх корозійної дії на обладнання [25-27].

Жолудеві таніни затребувані у процесах оброблення шкіри [28]. Valonea, танін, що гідролізується, одержуваний з плодів дуба, що росте в західній частині Туреччини, має значну економічну цінність для шкіряної промисловості. Він тривалий час використовувався в комерційних цілях для вилучення елаготанінів як дубильного агента. Танін Valonea одержують із чашок та борідок жолудів шляхом традиційної екстракції гарячою водою. Він переважно знаходить застосування в натуральному дубленні шкіри як альтернативна процедура хромового дублення і є одним з відомих рослинних танінів, що використовуються для процесів додублювання у виробництві шкіри. Процес екстракції танінів з натуральної матриці найчастіше здійснювався емпіричними методами, де оптимізація процесу не проводилася. Тож комерціалізація використання цих танінів потребувала оптимізації умов екстракції. Були виконані дослідження з використанням жолудевих чашок. Коефіцієнт наповнення шкір, дублених з використанням екстрагованої валонії (57,81 %) і температура усадки (75,5 °C), були вищими, ніж у комерційної валонії (52,83 %, 73 °C), що вказує на значний вплив оптимізації процесу. Дубильні властивості екстрагованої валонії були задовільними для рослинного дублення у шкіряній промисловості.

Види роду *Quercus* тривалий час використовувалися в традиційній медицині в різних країнах і племенах. Повідомлялося, що кора, плоди та листя видів цього роду мають широкий спектр біологічних ефектів, таких як антиоксидантні, протидіабетичні, протиракові, протизапальні та антибактеріальні. Поточні фітохімічні дослідження видів роду *Quercus* показали, що фенольні кислоти (особливо галова, елагова кислоти та їх похідні), флавоноїди (особливо флаван-3-ол) і таніни присутні у всіх видах *Quercus*. Згідно з дослідженнями, ці сполуки, можна розглядати як перспективні кандидати для розроблення нових фармацевтичних препаратів [29].

Дослідження тритерпенів, виділених із жолудів, підтвердили їх протизапальну дію. При чому з десяти досліджуваних пентациклічних тритерпенів (рис. 3), три (1–3) були вперше виділеними із жолудів (*Quercus serrata*). Їхні структури були встановлені на основі інтерпретації хімічних та спектроскопічних аналізів [30]. Жолуді можуть бути також корисним продуктом при нейрозапальних захворюваннях, таких як хвороба Альцгеймера. [31].

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 і послідовності змішування компонентів [32].

Порошок з ядра жолудів є достойним заміником кави з привабливим мікро- і макроелементним складом. Зважаючи на той факт, що вживання жолудевого напою у світі набуває поширення, виконується все більше робіт по вивченню біологічної активності,

безпе́чності, токсичності і поживної цінності напою з жолудів. Досліджуються питання впливу способів попереднього оброблення жолудів на склад і характеристики отриманого напою [33; 34].

Плоди дуба можуть слугувати сировиною для виробництва твердого палива. Досліджено процес виготовлення паливних брикетів з обсмажених шкаралуп та чашок жолудів [35; 36]. Виготовлення брикетів з жолудів дуба звичайного (*Quercus robur*) не потребує додаткових сполучних матеріалів, а отриманий продукт відповідає чинним європейським стандартам.

Крім вищезгаданих застосувань жолудів у харчових виробництвах, вони також слугують кормом для диких і свійських тварин. Є позитивні результати досліджень щодо введення жолудів у раціон свиней інших тварин. Для вигодовування буйволів допускається 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 [37-44].

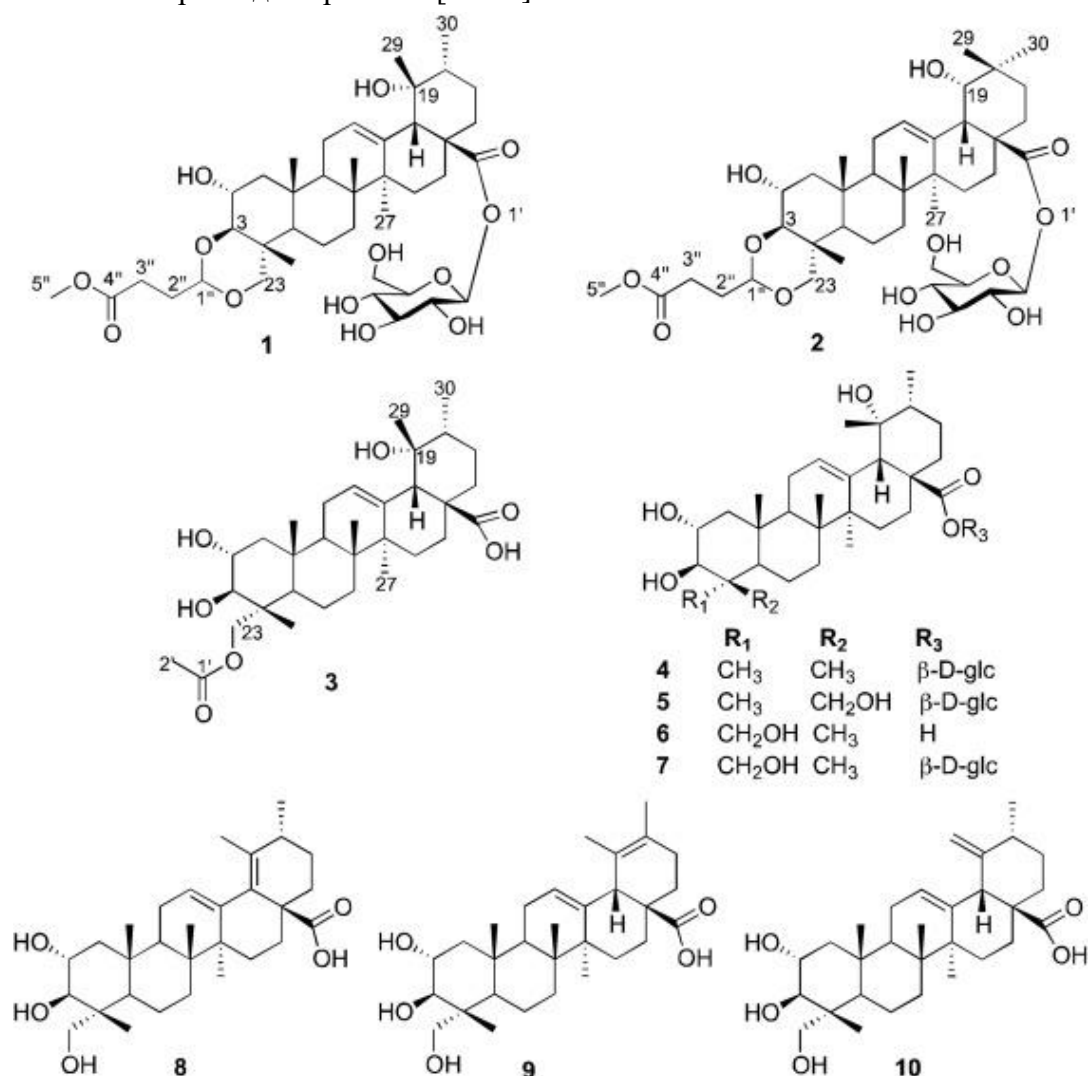


Рис. 3. Структурні формули тритерпенів жолудів *Quercus serrata*
Джерело: [30].

Вивчаються ефекти від введення жолудів і до складу кормів свійських птахів. Вивчено їхню позитивну дію в суміші з кукурудзою на показники зростання бройлерів, характеристики їхньої туші та жирнокислотний склад м'яса [45]. З твердженнь практиків-птахівників, борошно з жолудів, яке дають курям, збільшує у них несення яєць; для цього печуть з жолудевого борошна невеликі хлібці й додають їх до корму, попередньо розмочивши у воді [46]. Проведені дослідження з використанням порошку жолудів (*Q. aegilops*) при розведенні звичайного коропа. Годування риб збагаченими кормами покращувало аквакультуру та гемато-біохімічні параметри, такі як збільшення кількості білих та червоних кров'яних тілець, значень гемоглобіну та гематокриту, а також зниження загального холестерину та тригліцеридів [47].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх публікацій показав, що на сьогодні приділяється значна увага питанням використання плодів дуба, як сировини багатоцільового призначення, Але слід зазначити, що дослідження в більшості своїй зосереджені на окремих процесах оброблення жолудів з метою вилучення одного типу речовин і вивченні їхніх властивостей та сфери застосування. Актуальним залишається питання комплексного перероблення жолудів та формування гнучкого підходу до розроблення технологічних схем з урахуванням запиту на кінцеві продукти.

Метою статті є систематизація інформації про сфери використання плодів дуба, про методи вилучення з них сполук та дослідження їхніх властивостей, а також формування сучасних підходів до розроблення схем комплексного перероблення всіх морфологічних частин жолудя з мінімальними відходами.

Виклад основного матеріалу. Переважна 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 належать до побічних продуктів перероблення, які найчастіше викидаються. Разом з іншими відходами перероблення дубів вони забруднюють навколишнє середовище, тому актуальними були дослідження їхнього складу та властивостей як вторинного матеріального ресурсу. У роботі з висушеними і подрібненими чашками дуба монгольського (*Quercus mongolica*), поширеного в Азії, екстрагуванням вилучено й охарактеризовано біологічно активні речовини з високою антиоксидатною здатністю. Встановлено оптимальний склад водно-спиртового екстрагента, 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 найбільші кількості екстрагованих компонентів [48]. Тож при розробленні 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 при виготовленні паливних брикетів.

Подальше перероблення плодів, звільнених від чашок, може здійснюватися різними способами, залежно 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 відрізнятися. 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 [49].

Натомість при очищенні і наступному вилученні танінів, процес можливо прискорити термічним обробленням. Варіння при температурі (85-96 °C) показало кращі результати щодо смакових характеристик отриманого продукту, ніж кип'ятіння при 100 °C. Жолуді після вилучення дубильних речовин кип'ятінням мали помітно гіркий смак, тоді як при варінні – були солодкуваті. Такий результат можна пояснити взаємодією (зв'язуванням) гірких на смак дубильних речовин з крохмалем жолудів при температурі кипіння.

При дії високих температур і води, крохмалі поглинають воду, що призводить до постійної та незворотної желатинізації і зв'язування дубильних речовин та крохмалю. Тож вилучення танінів кип'ятінням, ймовірно, є не надто ефективним методом вилугування дубильних речовин [50]. Такі результати варто враховувати при визначенні не лише послідовності технологічних стадій комплексного перероблення жолудів, а і при встановленні технологічних параметрів процесу.

Як зазначалося вище, одержання жолудевої олії може здійснюватися пресовим і екстракційним способами. Отримуванні побічні продукти (макуха і шрот) доцільно переробляти у 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 останніх безпосередньо з плодів дуба, включає стадії: очищення ядра, подрібнення, вилугування (вилучення танінів), відділення крохмалю та жиру й одержання кінцевого продукту. У даному процесі відділені від білкового ізоляту компоненти мають бути перероблені і використані як поживні сполуки [32].

Процес виготовлення жолудевого борошна (а точніше жолудевого порошку) залежно від вмісту у сировині дубильних речовин, може відбуватися як зі стадією замочування, так і без неї. Наприклад, жолудеве борошно з *Quercus brantii*, яке використовували для виготовлення кексів, отримували подрібненням ядер після замочування їх протягом 48 годин з періодичною заміною води [51]. А борошно з плодів *Quercus ilex*, *Quercus suber* і *Quercus coccifera* для виготовлення зразків печива виготовляли лише подрібненням очищених ядер. Таке борошно було трохи солодким, зовсім не гірким і мало обмежений рівень терпкості, тому його виробництво не потребувало будь-якого попереднього оброблення для видалення танінів [52]. Тож важливе значення для обрання технології перероблення жолудів мають характеристики вихідної сировини, що вказує на потребу її попередніх досліджень.

Таніни мають широкий спектр застосувань, у тому числі і як харчова добавка E181 (барвник). Присутні в жолудях таніни можна вилучати різними методами, такими як: занурення у воду; термічний, який здійснюється за різних температур; хімічний та ферментативний [42; 50]. Результати досліджень двох методів екстракції: занурення у воду при кімнатній температурі та термічний гідроліз шляхом кип'ятіння показують, що обидва методи екстракції є життєздатними варіантами для отримання танінів, хоча вони знижують вміст деяких важливих мінералів. Тож всі описані вище методи оброблення плодів дуба, де є стадія вилучення танінів, мають враховувати цей процес, як складову комплексного перероблення жолудів.

Висновки. На підставі викладеного матеріалу можемо зробити висновок, що жолуді мають високий потенціал у різних галузях промисловості. Вони є первинною ланкою у відгодівлі свійських тварин і впливають на якість продукції тваринництва. Вилучені з жолудів білки, жири, вуглеводи (крохмаль) використовують для виготовлення хлібобулочних, борошняних кондитерських та макаронних виробів, вони слугують функціональними й технологічними добавками у виробництві молочних, водно-жирових емульсійних продуктів та ін. Порошок жолудів стає поширеним заміником кави і входить до складу кавових напоїв, виробництво яких набуває широкої популярності. Розширюються сфери застосування продуктів перероблення жолудів і у виробництві технічних виробів та фармацевтичних препаратів. Різноманіття дуба супроводжується відмінностями у хімічному складі плодів, що потребує коригування процесу їх перероблення, а іноді введення додаткових технологічних операцій. Все це вказує на необхідність формування гнучкого підходу до розроблення схем комплексного та безвідходного перероблення плодів дуба з отриманням продуктів багатого цільового призначення з доданою вартістю.

Список використаних джерел

1. 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>.
2. 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>.
3. 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>.
4. Castro, L. M. G., Ribeiro, T. B., Machado, M., Alexandre, E. M. C., Saraiva, J. A., & Pintado, M. (2022). Unraveling the effect of dehulling methods on the nutritional composition of acorn quercus spp. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, 104354. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104354>.
5. Makhlof, F. Z., Squeo, G., Barkat, M., Trani, A., & Caponio, F. (2018). Antioxidant activity, tocopherols and polyphenols of acorn oil obtained from *Quercus* species grown in Algeria. *Food Research International*, 114, 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.010>.
6. 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*. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.003>.
7. Загальна характеристика лісів України. Державне агентство лісових ресурсів України. <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini>.
8. Гордієнко, М. І., Гузь, М. М., Дебринюк, Ю. М., & Маурер, В. М. (2005). *Лісові культури*. Львів: Камула. https://shron1.chtyvo.org.ua/Hordiienko_Mykhailo_Ivanovych/Lisovi_kultury.pdf.
9. 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(10), 3050–3057. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2740-3>.
10. Taib, M., Bouyazza, L., & Lyoussi, B. (2020). Acorn oil: Chemistry and functionality. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/8898370>.
11. Makhlof, F. Z., Squeo, G., Barkat, M., Pasqualone, A., & Caponio, F. (2019). Comparative study of total phenolic content and antioxidant proprieties of *Quercus* fruit: flour and oil. *The North African Journal of Food and Nutrition Research*, Vol. 3(5), p.148–155. <https://doi.org/10.51745/najfnr.3.5.148-155>.
12. Özdikicierler, O., Akcan, T. (2023). Bioactive phytochemicals from acorn (*Quercus* spp.) oil processing by-products. In: Ramadan Hassanien, M.F. (eds) *Bioactive phytochemicals from vegetable oil and oilseed processing by-products*. (p.739–752) Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91381-6_35.
13. Bernardo-Gil, 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>.
14. 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>.
15. Vilpoux, O. F., & Santos Silveira Junior, J. F. (2023). Global production and use of starch. In *Starchy crops: Morphology, extraction, properties and applications* (pp. 43–66). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90058-4.00014-1>.
16. Correia, P. R., Nunes, M. C., & Beirão-da-Costa, M. L. (2013). The effect of starch isolation method on physical and functional properties of Portuguese nut starches. II. *Q. rotundifolia* Lam. and *Q. suber* Lam. acorns starches. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.06.014>.
17. Taib, M., & Bouyazza, L. (2021). Composition, physicochemical properties, and uses of acorn starch. *Journal of Chemistry*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/9988570>.
18. Khaksaar, A. B., Jalali Torshizi, H., & Hamzeh, Y. (2022). Valorization and development of acorn starch as sustainable and high-performance papermaking additive for improving bagasse pulp and paper properties. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01912-9>.
19. 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>.

20. 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>.
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-shielding for packaging grease. *Industrial Crops and Products*, 204(Part A), 117250. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117250>.
23. 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>.
24. Xu, J., Cao, J., Yue, J., Zhang, X., & Zhao, Y. (2018). New triterpenoids from acorns of *Quercus liaotungensis* and their inhibitory activity against α -glucosidase, α -amylase and protein-tyrosine phosphatase 1B. *Journal of Functional Foods*, 41, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.054>.
25. Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
26. Antov, M. G., Šćiban, M. B., Prodanović, J. M., Kukić, D. V., Vasić, V. M., Đorđević, T. R., & Milošević, M. M. (2018). Common oak (*Quercus robur*) acorn as a source of natural coagulants for water turbidity removal. *Industrial Crops and Products*, 117, 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.022>.
27. Ibrahim, A., Yaser, A. Z., & Lamaming, J. (2020). Synthesising tannin-based coagulants for water and wastewater application: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 105007. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105007>.
28. 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>.
29. Taib, M., Rezzak, Y., Bouyazza, L., & Lyoussi, B. (2020). Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacological activities of quercus species. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2020/1920683>.
30. Huang, J., Wang, Y., Li, C., Wang, X., & He, X. (2016). Triterpenes isolated from acorns of *Quercus serrata* var. *brevipetiolata* exert anti-inflammatory activity. *Industrial Crops and Products*, 91, 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.033>.
31. Lei, Y., Huang, Y., Wang, Y., & He, X. (2018). Potential anti-neuroinflammatory triterpenoids isolated from chinese acorns (*quercus serrata* var. *brevipetiolata*). *Journal of Functional Foods*, 50, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.09.022>.
32. Naderi, B., Keramat, J., Nasirpour, A., & Aminifar, M. (2020). Complex coacervation between oak protein isolate and gum Arabic: Optimization & functional characterization. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1854–1873. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1825484>.
33. 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>.
34. Coelho, M., Silva, S., Rodríguez-Alcalá, L. M., Oliveira, A., Costa, E. M., Borges, A., Martins, C., Rodrigues, A. S., & Pintado, M. M. E. (2017). *Quercus* based coffee-like beverage: Effect of roasting process and functional characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 471–479. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9660-9>.
35. Allouch, M., Alami, M., & Boukhelif, F. (2015). Production of fuel briquettes from acorn shells and acorn cups. In *Proceedings of the 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2015.7455026>.
36. Івашук, О. С., Атаманюк, В. М., Чижович, Р. А., Манастирська, В. А., Барабах, С. А., & Собечко, І. Б. (2024). Дослідження використання жолудів дубу звичайного для виготовлення альтернативного твердого палива. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(3), 599–604. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.304213>.

37. 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).
38. 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>.
39. Flores, P. G. (2023). Quality of pork meat fed with acorns (*Quercus* spp.). In *Nut crops – New insights*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108867>.
40. 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>.
41. Mohammadabadi, T., Azadi, M. S., & Babaei, M. (2020). Effect of diets containing oak kernel on the 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>.
42. 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, Article 96. <http://www.lrrd.org/lrrd34/10/3496same.html>.
43. Mekki, I., Smeti, S., Hajji, H., Mahouachi, M., & Atti, N. (2022). Effects of green oak acorn (<i>Quercus ilex</i>) intake on nutrient digestibility, lamb growth, and carcass and non-carcass characteristics. *Archives Animal Breeding*, 65(1), 113–120. <https://doi.org/10.5194/aab-65-113-2022>.
44. Wolf, P., & Cappai, M. G. (2020). Response of fattening rabbits with acorns (*quercus pubescens* willd.) combined in the diet: First acquaintances on growth performance, carcass traits and perirenal fatty acid profile. *Animals*, 10(8), 1394. <https://doi.org/10.3390/ani10081394>.
45. Boudroua, K., Mourot, J., & Selselet-Attou, G. (2009). The effect of green oak acorn (*Quercus ilex*)-based diet on growth performance and meat fatty acid composition. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(6), 843–848. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80571>.
46. Подвальна О.О., Шاران А.В. (2017) Екструдування нетрадиційної крохмалевмісної сировини, *Молодий вчений*, 1, 59-63. http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2017_1_17
47. 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*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1902450>.
48. 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.arabjc.2016.09.018>.
49. 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>.
50. 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>.
51. Sasani, N., Kazemi, A., Babajafari, S., Amiri-Ardekani, E., Rezaian, M., Barati-Boldaji, R., Mazloomi, S. M., Cain, C. T., Clark, A., & Ashrafi-Dehkordi, E. (2023). The nutritional value and functional properties of acorn flour: A systematic review. *Food Science & Nutrition*, 11(2), 883–891. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3123>.
52. Pasqualone, A., Makhlof, F. Z., Barkat, M., Difonzo, G., Summo, C., Squeo, G., & Caponio, F. (2019). Effect of acorn flour on the physico-chemical and sensory properties of biscuits. *Heliyon*, 5(8), e02242. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02242>.

References

1. 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>.

2. 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>.
3. Szablowska, 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>.
4. Castro, L. M. G., Ribeiro, T. B., Machado, M., Alexandre, E. M. C., Saraiva, J. A., & Pintado, M. (2022). Unraveling the effect of dehulling methods on the nutritional composition of acorn quercus spp. *Journal of Food Composition and Analysis*, *106*, 104354. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104354>.
5. Makhlof, F. Z., Squeo, G., Barkat, M., Trani, A., & Caponio, F. (2018). Antioxidant activity, tocopherols and polyphenols of acorn oil obtained from Quercus species grown in Algeria. *Food Research International*, *114*, 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.010>.
6. 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*. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2022.11.003>.
7. Derzhavne ahenstvo lisovykh resursiv Ukrainy [State Agency of Forest Resources of Ukraine]. (n.d.). Zahalna kharakterystyka lisiv Ukrainy – General characteristics of the forests of Ukraine. <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini>.
8. Hordiienko, M. I., Huz, M. M., Debryniuk, Yu. M., & Maurer, V. M. (2005). *Lisovi kultury [Forest crops]*.
9. 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*(10), 3050–3057. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2740-3>.
10. Taib, M., Bouyazza, L., & Lyoussi, B. (2020). Acorn oil: Chemistry and functionality. *Journal of Food Quality*, *2020*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/8898370>.
11. Makhlof, F. Z., Squeo, G., Barkat, M., Pasqualone, A., & Caponio, F. (2019). Comparative study of total phenolic content and antioxidant proprieties of Quercus fruit: flour and oil. *The North African Journal of Food and Nutrition Research*, Vol. 3(5), p.148–155. <https://doi.org/10.51745/najfnr.3.5.148-155>.
12. Özdikicierler, O., Akcan, T. (2023). Bioactive phytochemicals from acorn (*Quercus* spp.) oil processing by-products. In: Ramadan Hassanien, M.F. (eds) *Bioactive phytochemicals from vegetable oil and oilseed processing by-products*. (p.739–752) Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91381-6_35.
13. Bernardo-Gil, G., Lopes, I. M. G., Casquilho, M., Ribeiro, M. A., Esquivel, M. M., & Êmpis, 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>.
14. 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>.
15. Vilpoux, O. F., & Santos Silveira Junior, J. F. (2023). Global production and use of starch. In *Starchy crops: Morphology, extraction, properties and applications* (pp. 43–66). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90058-4.00014-1>.
16. Correia, P. R., Nunes, M. C., & Beirão-da-Costa, M. L. (2013). The effect of starch isolation method on physical and functional properties of Portuguese nut starches. II. *Q. rotundifolia* Lam. and *Q. suber* Lam. acorns starches. *Food Hydrocolloids*, *30*(1), 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.06.014>.
17. Taib, M., & Bouyazza, L. (2021). Composition, physicochemical properties, and uses of acorn starch. *Journal of Chemistry*, *2021*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/9988570>.
18. Khaksaar, A. B., Jalali Torshizi, H., & Hamzeh, Y. (2022). Valorization and development of acorn starch as sustainable and high-performance papermaking additive for improving bagasse pulp and paper properties. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01912-9>.
19. 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>.

20. 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>.
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-shielding for packaging grease. *Industrial Crops and Products*, 204(Part A), 117250. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117250>.
23. 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>.
24. Xu, J., Cao, J., Yue, J., Zhang, X., & Zhao, Y. (2018). New triterpenoids from acorns of *Quercus liaotungensis* and their inhibitory activity against α -glucosidase, α -amylase and protein-tyrosine phosphatase 1B. *Journal of Functional Foods*, 41, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.054>.
25. Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
26. Antov, M. G., Šćiban, M. B., Prodanović, J. M., Kukić, D. V., Vasić, V. M., Đorđević, T. R., & Milošević, M. M. (2018). Common oak (*Quercus robur*) acorn as a source of natural coagulants for water turbidity removal. *Industrial Crops and Products*, 117, 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.022>.
27. Ibrahim, A., Yaser, A. Z., & Lamaming, J. (2020). Synthesising tannin-based coagulants for water and wastewater application: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 105007. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105007>.
28. 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>.
29. Taib, M., Rezzak, Y., Bouyazza, L., & Lyoussi, B. (2020). Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacological activities of quercus species. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2020/1920683>.
30. Huang, J., Wang, Y., Li, C., Wang, X., & He, X. (2016). Triterpenes isolated from acorns of *Quercus serrata* var. *brevipetiolata* exert anti-inflammatory activity. *Industrial Crops and Products*, 91, 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.033>.
31. Lei, Y., Huang, Y., Wang, Y., & He, X. (2018). Potential anti-neuroinflammatory triterpenoids isolated from chinese acorns (*quercus serrata* var. *brevipetiolata*). *Journal of Functional Foods*, 50, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.09.022>.
32. Naderi, B., Keramat, J., Nasirpour, A., & Aminifar, M. (2020). Complex coacervation between oak protein isolate and gum Arabic: Optimization & functional characterization. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1854–1873. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1825484>.
33. 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>.
34. Coelho, M., Silva, S., Rodríguez-Alcalá, L. M., Oliveira, A., Costa, E. M., Borges, A., Martins, C., Rodrigues, A. S., & Pintado, M. M. E. (2017). *Quercus* based coffee-like beverage: Effect of roasting process and functional characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 471–479. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9660-9>.
35. Allouch, M., Alami, M., & Boukhelif, F. (2015). Production of fuel briquettes from acorn shells and acorn cups. In *Proceedings of the 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2015.7455026>.
36. Ivashchuk, O. S., Atamaniuk, V. M., Chyzhovych, R. A., Manastyrska, V. A., Barabakh, S. A., & Sobechko, I. B. (2024). Doslidzhennia vykorystannia zholudiv dubu zvychainoho dlia vyhotovlennia alternatyvnoho tverdoho palyva [Doslidzhennia vykorystannia zholudiv dubu zvychainoho dlia vykorystannia alternativnoho tverdoho palyva.] *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(3), 599–604. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.304213>.

37. 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).
38. 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>.
39. Flores, P. G. (2023). Quality of pork meat fed with acorns (*Quercus* spp.). In *Nut crops – New insights*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108867>.
40. 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>.
41. Mohammadabadi, T., Azadi, M. S., & Babaei, M. (2020). Effect of diets containing oak kernel on the 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>.
42. 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, Article 96. <http://www.lrrd.org/lrrd34/10/3496same.html>.
43. Mekki, I., Smeti, S., Hajji, H., Mahouachi, M., & Atti, N. (2022). Effects of green oak acorn (<i>Quercus ilex</i>) intake on nutrient digestibility, lamb growth, and carcass and non-carcass characteristics. *Archives Animal Breeding*, 65(1), 113–120. <https://doi.org/10.5194/aab-65-113-2022>.
44. Wolf, P., & Cappai, M. G. (2020). Response of fattening rabbits with acorns (*quercus pubescens* willd.) combined in the diet: First acquaintances on growth performance, carcass traits and perirenal fatty acid profile. *Animals*, 10(8), 1394. <https://doi.org/10.3390/ani10081394>.
45. Boudroua, K., Mourot, J., & Selselet-Attou, G. (2009). The effect of green oak acorn (*Quercus ilex*)-based diet on growth performance and meat fatty acid composition. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(6), 843–848. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80571>.
46. Подвальна О.О., Шاران А.В. (2017) Екструдування нетрадиційної крохмалевмісної сировини, *Молодий вчений*, 1, 59-63. http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2017_1_17
47. 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*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1902450>.
48. 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.arabjc.2016.09.018>.
49. 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>.
50. 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>.
51. Sasani, N., Kazemi, A., Babajafari, S., Amiri-Ardekani, E., Rezaian, M., Barati-Boldaji, R., Mazloomi, S. M., Cain, C. T., Clark, A., & Ashrafi-Dehkordi, E. (2023). The nutritional value and functional properties of acorn flour: A systematic review. *Food Science & Nutrition*, 11(2), 883–891. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3123>.
52. Pasqualone, A., Makhlof, F. Z., Barkat, M., Difonzo, G., Summo, C., Squeo, G., & Caponio, F. (2019). Effect of acorn flour on the physico-chemical and sensory properties of biscuits. *Heliyon*, 5(8), e02242. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02242>.

Дата першого надходження статті до видання: 05.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.01.2026

***Tetiana Filinska¹, Tetyana Kovalchuk,² Antonina Filinska³, Oleh Chervakov⁴,
Dmytro Filinskyi⁵, Sergii Pavliuk⁶***

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro, Ukraine)

E-mail: f111nskaya@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-7921-1989>

²PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Bioresources, Animal Husbandry and Aquaculture Polesie National University (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: tanyana72@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8682-3280>

³senior lecturer of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro, Ukraine)

E-mail: antoniyafilin@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-6975-6186>

⁴Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of department of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Scientific Institute "Ukrainian State University of Chemical Technology" (Dnipro, Ukraine)

E-mail: ochervakov@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1631-3592>

⁵postgraduate of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro, Ukraine)

E-mail: filinskyi.dmytro@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-6301-0695>

⁶postgraduate of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro, Ukraine)

E-mail: serpik07@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-7615-963X>

OAK FRUITS – A PROMISING RAW MATERIAL FOR FOOD AND TECHNICAL PURPOSES

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.

Fig.: 3. References: 52.