

УДК 613.26:635.8

**CULTIVATED MUSHROOMS AS A SOURCE FOR PRODUCTION OF  
FOODSTUFFS AND DIETETIC ADDITIVES**

**КУЛЬТИВОВАНІ ГРИБИ – ДЖЕРЕЛО НУТРИЄНТІВ ДЛЯ  
ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА ДІЄТИЧНИХ ДОБАВОК**

**G. Simakhina, N. Naumenko, O. Mezhubovsky**

*National University of Food Technologies*

**Г.О. Сімахіна, Н.В. Науменко, О.М. Межубовський**

*Національний університет харчових технологій*

*Сучасна біохімія та фізіологія мають незаперечні докази, що всі життєві процеси в організмі людини пов'язані з перетвореннями та біотрансформацією протоплазматичних і ядерних білків на рівні клітин і тканин. Наділені надзвичайною реактивністю білки здатні взаємодіяти з усіма без винятку речовинами, утворюючи комплексні сполуки, які складають основу клітин, тканин і рідин живого організму.*

*Недостатнє надходження білку або окремих амінокислот із їжею призводить до білкової недостатності, викликаючи серйозні порушення в організмі в результаті дисбалансу між синтезом і розпадом білку. У дорослої людини цей стан виявляється негативним азотистим балансом. Із особливим статусом і біотрансформацією білків пов'язані явища імунітету та реактивності організму. У світлі сучасних поглядів утворення антитіл є лише видозміненим процесом нормального біосинтезу білків-глобулінів. Саме тому стан імунітету значною мірою залежить від достатності білкової складової в харчуванні.*

*Сучасний ритм життя, несприятлива екологічна ситуація, постійні стреси, неякісне харчування призводять до зниження захисних сил організму людини, пригнічення активності антиоксидантної системи, переважання процесів катаболізму білків над їх анаболізмом. Ось чому сьогодні все більшої*

актуальності набирає питання подолання дефіциту білку в раціонах харчування.

У статті узагальнено і систематизовано сучасні літературні дані щодо біохімічного складу культивованих грибів, концентрації в них важливих нутрієнтів, у тому числі водо- та жиророзчинних вітамінів, замінних та незамінних амінокислот, які поповнюють організм людини біологічно активними речовинами, компенсують дефіцит білкових сполук, активують процеси метаболізму білків, забезпечують високий імунний та загальнозміцнюючий статус організму людини. Зроблено висновок, що у сучасних екологічних умовах пошук альтернативних шляхів вирішення проблеми запобігання аліментарним захворюванням лежить у площині широкого використання культивованих грибів у виробництві оздоровчих харчових продуктів та дієтичних добавок.

**Ключові слова:** гриби, білки, вітаміни, ступінь засвоєння, безпека.

*The up-to-date biochemistry and physiology possess the irrefutable proofs that all the vital processes in human body are bound to biotransformation of protoplasmic and nuclear proteins on cellular and tissue level. Being extraordinarily reactive, proteins are able to interact with all substances without exception, creating the complexes to be the base for cells, tissues and liquids in the body.*

*Inadequate supply of proteins or separate amino acids with food would cause protein insufficiency and thence the serious damages in the body as a consequence of misbalance between protein anabolism and catabolism. This state is displayed in negative nitrogenous balance in the grown-up people. The notions of immunity and body reactivity are closely connected with the special status and biotransformation of proteins. In terms of modern conceptions, anti-body creation is merely a modified process of normal globulin synthesis. Therefore, the state of immunity is significantly dependent on sufficient protein constituent in nutrition. The modern paces of life, worsening ecological situation, permanent stresses, and malnutrition lead to decrease of human immunity, oppression of antioxidant system activity, and*

*prevalence of protein catabolism over their anabolism. This is why the problem of overcoming the protein insufficiency in diet gains more and more importance.*

*The authors of the article generalized and systematized the literary data about the biochemical compound of cultivated mushrooms and concentrations of essential nutrients (in particular, water and fat soluble vitamins, dispensable and indispensable amino acids) to replenish the body with biologically active substances, activate protein metabolism, provide high immune and tonic status in human. There was concluded that in current ecological conditions the search for alternative sources of the ways to prevent the alimentary diseases lies in the field of wide usage of cultivated mushrooms in production of foodstuffs and dietetic supplements.*

**Keywords:** mushrooms, proteins, vitamins, absorption grade, safety.

**Постановка проблеми.** В організмі людини практично немає резерву білку. Єдине джерело його – білки їжі, тому вони є незамінними компонентами раціону. Процеси відновлення тканин в організмі потребують усіх без винятку 20 амінокислот. Найбільш повноцінні джерела білку: яйця, молочні продукти, м'ясо, риба. Білки їжі найповніше використовуються організмом при співвідношенні з жирами 1 : 1, а з вуглеводами – 1 : 4.

Дефіцит білку в світі оцінюється в 15 млн. т, причому переважна частина дефіциту припадає на країни, що розвиваються, а також на деякі країни СНД, у т. ч. Україну. Саме тому пошуки нових джерел білку, зокрема нетрадиційних, є на сьогодні актуальними. Одним із рішень цієї проблеми є використання культивованих грибів, які містять понад 35 % білку (на суху речовину), всі незамінні амінокислоти, ненасичені жирні кислоти, вітаміни, макро- та мікроелементи (Дятлов, Попова & Медведкова, 2011).

Гриби цінуються як низькокалорійний продукт із малим вмістом жирів, натрію і практично відсутністю нітратів і нітритів, а також як сировина для виробництва лікувально-профілактичних фітопрепаратів із широким спектром дії. Грибний білок має високий ступінь засвоювання в організмі людини: 100-200 г грибів достатньо для забезпечення добового білкового балансу в людини

масою 70 кг. Гриби можна вирощувати протягом року в обладнаних приміщеннях і, незалежно від світлової зони, погодних і ґрунтових умов, збирати урожай з 1 га 11 тис. ц на рік. Для виробництва грибів успішно використовуються субстрати, отримані із вторинних продуктів і відходів сільського господарства. Субстрат після закінчення циклу вирощування є цінним органічним добривом (Болотских & Вольфовский, 2007).

За прогнозом вчених, у майбутньому 2/3 потреби людини в білках задовольнятиметься за рахунок промислового виробництва їстівних грибів. Уже зараз майже 80 країн світу в штучних умовах вирощують печерицю, гливу звичайну, шиїтаке, опеньок літній, зимовий гриб, кільцевик та інші гриби (Martinez-Medina, Chávez-González ... Martinez-Hernández, 2021; Stojkovic, Reis ... Barros, 2014). Встановлено, що вживання грибів підвищує імунітет людини до різних інфекцій, а також до онкологічних захворювань (Ященко, 2012).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Лікувальні та специфічні смакові властивості їстівних грибів відомі з давніх часів, римляни вважали гриби «їжею богів». Гриби під китайською назвою уамі мають особливий приємний пікантний смак через наявність натрієвих солей вільних амінокислот, таких як глютамінова і як часткові амінокислоти та 50-нуклеотиди. Смак уамі – смак, посилений моно-L-глютаматом натрію (Chang, 2006).

В усьому світі гриби цінуються як кулінарні делікатеси і відомі як «овоче́ве м'ясо» в багатьох культурах. Їхній благотворний вплив на здоров'я людини було визнано ще в ранніх грецькій, єгипетській, римській та китайській цивілізаціях. Сучасна наука ставить їх у фокусі оновлених досліджень терапевтичної дії та як джерела біоактивних сполук для харчової промисловості.

Гриби є низькокалорійною харчовою сировиною із незначним вмістом жирів, натрію, а особливо – нітратів та нітритів. Білок грибів має високий рівень засвоювання організмом: для забезпечення добового балансу білку необхідно приблизно 150 г на 70 кг маси тіла. Саме тому у майбутньому, за прогнозами вчених, 2/3 потреби людини в білках задовольнятиметься

промисловим виробництвом їстівних грибів, з яких можуть виготовлятися заміники м'ясних виробів, кондитерські вироби тощо. Гриби використовуються у виробництві лікувально-профілактичних фітопрепаратів із широким спектром дії як основна сировина завдяки здатності підвищувати імунітет до інфекційних та онкологічних захворювань (Болотских & Вольфовский, 2007).

Світовим лідером грибної культивуації є Китай, що поставляє близько 37% печериць на міжнародний ринок. Далі ідуть США із 25% та Франція із 10%. Активно нарощує обсяги виробництва грибів сусідня Польща. Загалом практично 80 країн займаються вирощуванням їстівних грибів – шиїтаке, глив, печериць, опеньків тощо. Найбільше вживаються гриби печериці (*Agaricus bisporus*) та шиїтаке (*Lentinula edodes*) (Дубініна & Тимофєєва, 2009).

Розглянемо докладно фізіологічну цінність грибної сировини. Серед факторів позитивного впливу на людину – покращення функціонального стану систем організму та окремих органів, підвищення імунітету, зниження рівню холестерину. Біокомпоненти грибів чинять кардіологічну, протипухлинну, антидіабетичну, гепатопротекторну дію (Wasser & Weis, 1999). При вживанні їстівних грибів людина отримує цілий комплекс органічних сполук, серед яких ті, що мають фармакологічні властивості, і вони впливають на організм значно м'якше, ніж синтетичні засоби, краще переносяться і, як правило, не мають кумулятивної здатності (Ященко, 2012).

Клітинна оболонка грибів містить у складі до 60% хітину, при перерахунку на суху масу (Wasser, Nevo, & Sokolov, 2000). Він активізує діяльність макрофагів, має антибактеріальну, протівірусну й протипухлинну дію та здатний до сорбції радіонуклідів і важких металів (Ровбель, Гончарова & Воскобоева, 2004). Хітин та його компонент хітозан використовуються у ряді біотехнологій. Також у складі клітинної оболонки є пігменти з радіо- та гепатопротекторними, імуномодулюючими та антиоксидантними властивостями (Иконникова, Гончарова & Соколова, 2004). Грибна клітковина позитивно впливає на функції шлунку та кишківника, виводячи канцерогени

(8). Вказані фактори є вкрай важливими для населення України, що додатково до загального техногенного фону зазнає руйнівного впливу хронічної радіації.

Особлива категорія серед БАР грибів – полісахариди, завдяки характерній здатності стимулювати створення антитіл від гепатиту В (Wasser & Weis, 1999). Виявлено ефективність їх застосування у комплексі з протеїнами для лікування ревматоїдних артритів (Meera, Smina & Nitha, 2009). В свою чергу, комплекс глюканів з білками регулює вміст цукру в крові та її тиск, широко впливає на імунну систему (Краснопольская, Автономова & Белицкий, 2007). Олігосахариди грибів активізують природню мікрофлору ШКТ, маючи пребіотичні властивості (Synytsya, Mickova & Synytska, 2009).

Вітамінний склад грибної сировини наступний: провітаміни А, D та В1, В2, В3, РР, В5, В6, В13, С, D.

Наведемо деякі дані щодо *біологічного складу* офіційно дозволених в Україні до вирощування грибів – глив та печериць. Детальний склад печериць узятو з джерела (Stojkovic, Reis ... Barros, 2014). Плодові тіла *гливи* містять 12% сирої клітковини, 8% мінеральних речовин, 54-82% вуглеводів та від 15 до 30% білку, причому якість останнього близька до тваринного. Міцелій гриба містить усі незамінні кислоти, окрім триптофану; деякі ненасичені ЖК та полісахариди; провітамін D, вітаміни групи В і аскорбінову кислоту. З мінералів – Магній, Манган, Мідь, Залізо, Кальцій, Калій, Фосфор, Цинк, Силіцій (Ященко, 2012).

На відміну від гливи, *печериці* містять до 3% ліпідів, з яких практично 50% – нейтральні жири. Високе кислотне число близьке до показника рослинних олій через високий вміст вільних ЖК, що складають близько 17% від загальної кількості. Переважно представлені у складі печериць ЖК – масляна та оцтова разом із олеїною й стеариною (Ribeiro & Guedes de Pinhoa, 2009; Попова & Медведкова, 2012).

Важливою складовою грибів вважають ерготіонеїн, джерело важливого антиоксиданту, що зміцнює здоров'я людини та демонструє потенціал як консервант у харчових продуктах, сприяючи їх використанню як функціональних харчових продуктів (Дубініна & Тимофеева, 2009).

У цьому ж літературному джерелі наводиться ще ряд цікавих характеристик культивованих грибів:

- антиоксидантні властивості їстівних грибів забезпечуються, крім ерготіонеїну, наявністю у них цілого ряду сполук: фенолів, пептидів, протеогліканів, полісахаридів, вітамінів С та D, а також мінералів;
- Stepień та ін. експериментально довели, що спорошковані плодові тіла печериць, збагачених вітаміном D<sub>2</sub>, після 4-тижневого прийому призвели до істотного зниження рівня білку hsCRP як маркера запалення людини;
- протизапальну дію проявляє кофейнова кислота, що є однією з найактивніших фенольних кислот. Повідомлялося про високі концентрації цієї фенольної кислоти (близько 15 мкг/г вод. в.) у різних видах грибів, зокрема печерицях.

Важливим ефектом споживання печериць є протипухлинна дія. Перевірявся вплив хімічних компонентів печериць на білок, що ушкоджує ДНК людини. Виявлено, що вони діють краще, ніж стандартні фармацевтичні інгібітори PARP (Shelke & Badhe, 2021).

Вивчалась роль незначного дієтичного втручання, а саме регулярного споживання опромінених ультрафіолетом печериць, на ризик захворювання на цукровий діабет 2 типу: на 16-му тижні при подвоєнні ерготіонеїну порівняно з вихідним рівнем відзначалося збільшення антиоксидантного маркера ORAC (здатність поглинання кисневих радикалів) і протизапального гормону, адипонектину та значне зниження рівня сироваткового окисного стресу, що індукує оксидативний стрес (Calvo, Mehrotra & Beelman, 2016).

Досліджувався також виражений антикворумний (перешкоджання патогенному бактеріальному симбіозу) ефект етанольних та метанольних екстрактів з печериць (Glamoclija, Stojkovic & Nikolic, 2015).

Таким чином, аналіз літературних даних, результати власних експериментальних досліджень (Сімахіна, 2019; Сімахіна & Науменко, 2020; Сімахіна & Науменко, 2015) показали, що культивовані гриби містять важливі нутрієнти різного функціонального спрямування, що обґрунтовує включення

культивованих грибів до оздоровчих харчових продуктів, дієтичних добавок, напівфабрикатів тощо. Разом з тим, вітчизняна наукова література з даного напрямку практично позбавлена інформації про надзвичайно цінний біокомпонент культивованих грибів – вітаміни групи D (кальцифероли), до яких належать стероїдні сполуки. Індивідуальні кальцифероли відрізняються один від одного структурою бічного ланцюга, а найважливішими представниками цієї групи є холекальциферол (вітамін D<sub>3</sub>) та ергокальциферол (вітамін D<sub>2</sub>) (Спиричев & Конь, 2009). Разом з тим, відомо, що гриби є єдиним рослинним матеріалом, що містить вітамін D у природній формі. Іншими природними джерелами цього вітаміну є м'ясо, птиця, морепродукти. Деякі продукти (молоко, апельсиновий сік та крупи) також можуть містити певну кількість вітаміну D.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є узагальнення і систематизація публікацій зарубіжних та українських авторів із з'ясування світових підходів до перспектив подолання дефіциту вітаміну D за допомогою споживання культивованих грибів, зокрема печериць.

**Виклад основних результатів дослідження.** Останнім часом питання дефіциту вітаміну D, переважно в Європі (Bernas & Jaworska, 2017), стало загальновідомим, особливо за умов пандемії. З цього приводу існує чимало фундаментальних медичних досліджень. Вітамін D може відігравати важливу роль у багатьох аспектах здоров'я людини, від переломів кісток до раку передміхурової залози, серцево-судинних захворювань, нервово-м'язових проблем та діабету. Вітамін D виробляється в організмі людини шкірою після поглинання сонячного світла, але зі зміною способу життя людини змінюється час перебування під сонячними променями, що вимагає доповнення до їжі вітаміном D.

Харчова промисловість покликана прилучитись до вирішення питання дефіциту вітаміну D у населення України, спираючись на останні досягнення світової науки. В цьому зв'язку важливими є студії збагачення природним вітаміном D комерційно культивованих грибів.

Споживання грибів у всьому світі помітно зросло за останні чотири десятиліття, і гриби можуть стати єдиним нетваринним незбагаченим джерелом вітаміну D, що може забезпечити значну кількість вітаміну D2 за одну порцію. Найпоширенішою формою вітаміну D в грибах є D2 з меншими кількостями вітамінів D3 і D4, тоді як вітамін D3 є найпоширенішою формою в продуктах тваринного походження. Хоча рівень вітаміну D2 в грибах, що піддаються впливу УФ-променів, може знижуватися під час зберігання та приготування, рівень вітаміну D2, ймовірно, залишиться вище 10 мкг/100 г свіжої ваги, що перевищує рівень у більшості продуктів, що містять вітамін D, і наближається до добової потреби вітаміну D, рекомендованої на міжнародному рівні (Cardwell, Bornman ... Black, 2018).

**Таблиця. Рекомендовані дози вітаміну D (мг/добу) за даними (Cardwell, Bornman ... Black, 2018).**

Країна	Вік				
	1-18	19-30	31-50	51-70	71+
США	15	15	15	15	20
Канада	15	15	15	15	20
Великобританія	10	10	10	10	10
Європейський Союз	15	15	15	15	15
Австралія та Нова Зеландія	5	5	5	10	15

Хоча натуральні гриби, зокрема печериці та шиїтаке, часто містять дуже мало вітаміну D2, оскільки їх вирощують у темряві, проте вони багаті на ергостерин – стерол рослинного походження, що є попередником вітаміну D2. Ергостерин може перетворюватися на вітамін D2 під дією ультрафіолетового опромінювання – сонячного світла або штучного УФ за допомогою ряду фотохімічних / теплових реакцій. Виробники грибів застосовують

ультрафіолетове світло під час оброблення, щоб отримати гриби з рівнем вітаміну D, відповідним дикорослим грибам.

Ультрафіолетове світло має тривалу історію безпечного застосування для виробництва вітаміну D в харчових продуктах. Тому гриби, насичені отриманим за допомогою ультрафіолетових технологій вітаміном D, вважаються безпечними та придатними для введення на ринок (Simon, Borzelleca ... Weaver, 2013).

Останнім часом у Грибній Раді та Службі сільськогосподарських досліджень США, Австралійській Асоціації грибоводів, китайських наукових установах проведено численні дослідження різних технологій збагачення печериць вітаміном D аж до 100% добової норми (400 ME) шляхом УФ-опромінення.

Вивчалась біодоступність у людей вітаміну D<sub>2</sub> з грибів, збагачених вітаміном D<sub>2</sub> під впливом ультрафіолетового опромінення, аналогічного сонячному (UV-B) порівняно з добавкою фармацевтичного вітаміну D<sub>2</sub>. Свіжі гриби опромінювали дозою UV-B 1,5 Дж/см, підвищуючи вміст вітаміну D<sub>2</sub> з <1 до 491 мкг/100 г, і перетворювали на експериментальний суп. У цьому 5-тижневому однократному сліпому рандомізованому плацебо-контрольованому дослідженні 26 молодих осіб із сироватковим 25-гідроксивітаміном D (25OHD)  $\leq 50$  нмоль/л були випадковим чином розподілені на три групи: група (а) вживала гриби, група (б) – добавку і група (в) – плацебо. Вони отримували взимку (а) 28 000 МО (700 мкг) вітаміну D<sub>2</sub> через експериментальний суп або (б) 28 000 МО вітаміну D (2) через добавку або (в) плацебо відповідно.

Результати: через 2 тижні рівень 25OHD у сироватці був значно вищим у групі, де вживались гриби, ніж у групі плацебо ( $P=0,001$ ). Концентрації 25OHD у сироватці в групах, які отримували гриби та добавки, значно і аналогічно підвищувалися протягом періоду дослідження. Висновки: вперше продемонстровано на людях, що біодоступність вітаміну D<sub>2</sub> із грибів, збагачених зазначеною речовиною шляхом опромінення UV-B, була ефективною для покращення статусу вітаміну D і не відрізнялася від вітаміну

D2 засобами фармацевтичних добавок. Це випробування зареєстроване на <http://germanctr.de> як DRKS00000195 (Urbain, Singler ... Bertz, 2011).

За запитом Європейської Комісії до EFSA з питань харчування, нових харчових продуктів і харчових алергенів (NDA) нещодавно було надано науковий висновок щодо грибного порошку, збагаченого природним вітаміном D2 в якості нового харчового продукту (NF) відповідно до Регламенту (ЄС) 2015/2283 (Regulation (EU) 2015/2283). NF – це інгредієнт, отриманий з порошку печериць (*Agaricus bisporus*), який піддавався ультрафіолетовому опроміненню, щоб викликати перетворення провітаміну D2 (ергостерину) на вітамін D2 (ергокальциферол). NF містить концентрації вітаміну D, що забезпечується вітаміном D2, у діапазоні 580-595 мкг/г. Наведена інформація щодо процесу виробництва, складу та специфікацій NF не викликала занепокоєнь Європейської комісії щодо безпеки. Новий продукт тепер має офіційний дозвіл додаватись до різноманітних продуктів харчування та напоїв, у тому числі до харчових продуктів спеціального медичного призначення та харчових добавок.

Цільовою групою населення є загальна популяція, за винятком харчових добавок та продуктів харчування спеціального медичного призначення (FSMP), для яких цільовою групою є особи віком від 1 року. Комісія дійшла висновку, що NF є безпечним для населення в цілому за запропонованих умов використання в харчових продуктах та напоях і що NF, що вживається як харчова добавка, безпечний для осіб, старших від 1 року (Turck, Castenmiller ... Hirsch-Ernst, 2021).

Як відзначалось, у світі ведуться активні пошуки оптимальних режимів УФ оброблення промислових печериць з метою збагачення їх вітаміном D. Розглянемо деякі з них.

Ультрафіолетове опромінення може здійснюватись різною довжиною хвиль: як UV-A, UV-B, UV-C (в латинській транслітерації для уніфікації тексту цього проекту з цитованими оригіналами), так і імпульсним ультрафіолетом – PUV. Порівнювались зміни складу грибів, підданих впливу сонячного світла, з

тими, що відбуваються після комерційної обробки ультрафіолетовим (УФ) світлом. Печериці (75 кг) обробляли в присутності або за відсутності UV-B світла; третя група піддавалася впливу прямих сонячних променів. Склад грибів оцінювали за допомогою хімічних аналізів. Концентрації вітаміну D становили 5, 410 та 374 мкг/100 г (сухої маси) у контрольній групі, групах UV-B та сонячного світла відповідно. Не спостерігалось значних змін у вмісті вітаміну С, фолієвої кислоти, вітамінів В6, вітаміну В5, рибофлавіну, ніацину, амінокислот, жирних кислот, ергостерину або агаритину після обробки UV-B. Вплив сонячного світла призводить до втрати рибофлавіну на 26%, ознак окислення фолатів і збільшення ергостерину (9,5%). Було зроблено висновок, що вплив ультрафіолетового випромінювання обмежується змінами вітаміну D і не демонструє шкідливих змін відносно природного впливу сонячного світла, а отже, надає важливу інформацію щодо придатності та безпеки технології ультрафіолетового випромінювання для грибів, збагачених вітаміном D (Simon, Phillips ... Munro, 2011).

Вміст вітаміну D<sub>2</sub> у шапках і ніжках печериць, як білих, так і коричневих, значно зростає зі збільшенням дози UV-C (0,5, 1,0 та 2,0 кДж/м), тоді як обробка UV-C істотно не вплинула на вміст ергостерину в шапках і ніжках обох видів грибів (Simon, Phillips ... Munro, 2011). Вміст ергостерину значно збільшився протягом 14 днів холодного зберігання печериць. Під час холодного зберігання вміст вітаміну D<sub>2</sub> в шапках обох видів грибів знижувався з 1-го по 7-й день, а потім зберігався стабільним до 14-го дня, але вміст вітаміну D<sub>2</sub> в ніжках коричневих грибів продовжував зростати протягом усього періоду 14 днів (Guan, Zhang ... Wang, 2016). В іншому дослідженні свіжі печериці піддавали впливу ультрафіолетового випромінювання UV-C із середньою інтенсивністю 0,403, 0,316 та 0,256 мВт/см з відстаней відповідно 30, 40 та 50 см протягом періодів від 2,5 до 60 хв.

Стабільність і збереження вітаміну D<sub>2</sub> оцінювали, включаючи ступінь зміни кольору під час зберігання при 4 °С або кімнатній температурі. Вплив ультрафіолетового опромінення з інтенсивністю 0,403 мВт/см з відстані 30 см

привів до залежного від часу збільшення концентрації вітаміну D<sub>2</sub>, яке було значно вищим, ніж концентрації, вироблені при інтенсивності 0,316 та 0,256 мВт/см з відстані 40 і 50 см відповідно. Крім того, концентрація вітаміну D<sub>2</sub>, що утворюється після опромінення UV-C дозами 0,125 і 0,25 Дж/см протягом 2,5, 5 і 10 хвилин, становила 6,6, 15,6 і 23,1 мкг/г твердих речовин, що еквівалентно 40,6, 95,4 та 141 мкг/порцію відповідно. Дані показали високу швидкість перетворення ергостерину на вітамін D<sub>2</sub> за короткий час оброблення, як того вимагає грибна промисловість. Стабільність вітаміну D<sub>2</sub> залишалася незмінною під час зберігання при 4 °C і кімнатній температурі протягом 8 днів ( $P = 0,36$ ), що свідчить про відсутність деградації вітаміну D<sub>2</sub>. Вітамін D<sub>2</sub> добре всмоктувався та метаболізувався, про що свідчить реакція сироватки крові на 25-гідроксивітамін D у щурів, яких годували опроміненими грибами (Simon, Phillips ... Munro, 2011). Доведено також підвищення мінералізації стегнової кістки щурів ( $P < 0,01$ ) у присутності вітаміну D<sub>2</sub> з опромінених грибів порівняно з контролем (Guan, Zhang ... Wang, 2016).

Проводились дослідження доцільності ультрафіолетового опромінювання печериць після збору врожаю, зокрема вже нарізаних грибів. Штучно моделювались сонячні дози UV-B, аналогічні до кліматичних умов Центральної Європи. Доза штучного ультрафіолетового випромінювання 0,53 Дж/см підвищила вміст вітаміну D<sub>2</sub> до значно ( $P < 0,001$ ) вищих рівнів  $67,1 \pm 9,9$  мкг/г сухої ваги, ніж перебування на сонці ( $3,9 \pm 0,8$  мкг/г) сухої ваги. Спостерігалась позитивна кореляція між виробленням вітаміну D<sub>4</sub> та вітаміном D<sub>2</sub> ( $r(2) = 0,96$ ,  $P < 0,001$ ) після штучного УФ-опромінення, при цьому рівень вітаміну D<sub>4</sub> коливався від 0 до 20,9 мкг/г сухої маси. Біологічна дія вітаміну D із грибів, що піддаються впливу ультрафіолету, відображає активність цих двох основних аналогів вітаміну D (D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>) (Kooyalamudi, Jeong ... Pang, 2009).

Досліджувався також вплив дози-відповіді ультрафіолетового випромінювання сонячним світлом на вміст вітаміну D<sub>2</sub> у нарізаних білих печерицях під час сушіння на сонці. Протягом першої години перебування на сонці вміст вітаміну D<sub>2</sub> у грибах збільшувався лінійно, при цьому концентрація

зростала від 0,1 мкг/г до  $3,9 \pm 0,8$  мкг/г сухої маси. У наступних двох вимірюваннях через 1 і 3 години відповідно було досягнуто плато. Дві години додаткового впливу викликали значне зниження вмісту вітаміну D2. Всього після 15 хвилин перебування на сонці та дози UV-B 0,13 Дж/см вміст вітаміну D2 значно збільшився до  $2,2 \pm 0,5$  мкг/г сухої маси ( $P < 0,0001$ ), що еквівалентно 17,6 мкг (704 МО) вітаміну D2 на 100 г свіжих грибів і може дорівнювати вмістові вітаміну у жирній рибі, наприклад атлантичному лососі (Jasinghe, Perera & Barlow, 2005).

Метою іншого дослідження було дослідити вплив UV-B на концентрацію вітаміну D2 у грибах шиїтаке та білих печерицях. Опромінення шматочків білого гриба було більш ефективним способом збільшення вмісту вітаміну D2, ніж опромінення шапок або купи цілих грибів, через більшу площу впливу. Зі збільшенням доз опромінення концентрація вітаміну D2 також зросла для обох видів грибів (Urbain, Valverde & Jakobsen, 2016).

Характерно, що ефективність перетворення ергостерину на вітамін D2 під впливом ультрафіолетового опромінювання печериць може досягатись безпосередньо навіть через сухий порошок або сухий порошок в етаноловій суспензії (1:20 г/мл, співвідношення твердих речовин і рідини). Були оптимізовані кілька параметрів УФ-опромінення: форма матеріалу (сухий порошок або сухий порошок в етаноловій суспензії), час експозиції (30, 60 або 120 хв), тип довжини хвилі (UV-C, UV-B або UV-A), комбінація довжини хвилі (UV-C плюс UV-B, UV-C плюс UV-A, UV-B плюс UV-A, або UV-C плюс UV-B плюс UV-A), і послідовність довжини хвилі (UV-C → UV-B, UV-C → UV-A, UV-B → UV-A або UV-C → UV-B → UV-A). За оптимальних умов УФ-опромінення (сухий порошок у суспензії етанолу, опромінений UV-C на 40 см протягом 120 хв) концентрація вітаміну D2 зросла з «невиявленого» до 72 мкг/г (сухої маси) у сухому порошку печериць і 1104 мкг /г (сухої маси) (збільшення приблизно в 15 разів) у етаноловій суспензії.

Порівняння ефекту різних комбінацій довжин хвиль показало, що опромінення UV-C є ефективнішим, ніж UV-A або UV-B. Крім того, при

опроміненні UV-C на відстані 40 см в етаноловій суспензії збільшення вмісту вітаміну D2 в печерицях залежало від часу або дози. Швидкість перетворення вітаміну D2 була низькою або невиявленою при опроміненні сухого порошку, але швидкість втрати ергостерину була вищою, ніж при опроміненні суспензією етанолу. Ультрафіолетове опромінення в етаноловій суспензії може значно збільшити концентрацію вітаміну D2, ніж безпосередньо в сухому порошку, і таким чином зробити їстівні гриби більш практичними як природне джерело вітаміну D для споживачів після повного видалення етанолу (Urbain & Jakobsen, 2015).

Засобом швидкого збільшення вмісту вітаміну D2 у свіжих печерицях визнано імпульсне ультрафіолетове світло (PUV). Виявлено, що вміст вітаміну D2 збільшується до понад 100% RDA (Recommended Daily Allowance) на порцію після 3 імпульсів (1 с). Після 12 імпульсів D2 наближався до максимальної концентрації 27 мкг/г сухої маси. Вітамін D2, отриманий 3-ма імпульсами, зменшився з 11,9 до 9,05 мкг/г сухої маси після 3 днів зберігання; проте рівні D2 лишалися майже постійними після цього моменту протягом 11-денного дослідження терміну придатності. Знов доведено, що нарізані гриби, оброблені PUV, виробляли значно більше D2, ніж цілі гриби. Коричневі шапки генерували значно менше D2, ніж білі (Ko, Lee ... Park, 2008).

В іншому дослідженні із застосування імпульсного ультрафіолетового опромінення (до 60 імпульсів PUV) вимірювались дози потенційно біологічно активних продуктів ергостерину, які не містять вітаміну D2, – фотопродуктів люмістерину (2) та тахістерину (2). В необроблених зразках грибів фотопродуктів не було виявлено. Потенційне біологічне значення цих фотопродуктів ще належить дослідити (Hu, Yang ... Feng, 2021).

Вивчався також впливу високої інтенсивності (0,5, 0,75 і 1,0 мВт/см), дози (0,5, 1,0 і 1,5 Дж/см) та часу після збирання (1 і 4 дні) на утворення вітаміну D2 у печерицях сорту грибах Portabella в результаті впливу UV-B, а також на розпад вітаміну D2 в оброблених грибах під час зберігання. Практичне комерційне виробництво вимагає якнайкоротшого часу оброблення, і

інтенсивність була основним чинником, коли час, необхідний для досягнення подібної концентрації вітаміну D2 при аналогічній дозі значно зменшувався зі збільшенням інтенсивності. При інтенсивності 1,0 мВт/см у дозі 0,5 Дж/см концентрація виробленого вітаміну D 2 становила 3,83 мкг/г сухої маси грибів за 8 хв., тоді як при інтенсивності 0,5 мВт/см при дозі 0,5 Дж/см концентрація виробленого вітаміну D2 становила 3,75 мкг/г сухих речовин грибів за 18 хв. Крім того, час після збору врожаю не мав істотного впливу на утворення вітаміну D 2 у грибах, оброблених через 1 та 4 дні після збирання. Вітамін D2 розкладався в оброблених грибах під час зберігання за очевидною кінетикою першого порядку, де константа швидкості розпаду становила 0,025 год<sup>(-1)</sup> (Kalaras, Beelman & Elias, 2012).

Одне з досліджень мало за мету визначення стабільності вітаміну D2 у сушених печерицях, глинах та шиїтаке під час зберігання, а також можливості індукування вітаміну D2 у сушених грибах під дією UV-B. Після 1,5 року зберігання сушених грибів рівень вітаміну D2 в грибах був 6,90 мкг/г, що становить 48,32% від початкового рівня вітаміну D2. У випадку сушених глив та грибів шиїтаке спостерігалось зниження до рівня 66,90% та 68,40% відповідно. Встановлено, що сушені гриби можуть виробляти ергокальциферол під дією UV-B. Найбільший вміст вітаміну D2 відмічено у печериць. Ліофілізовані печериці містили від 42,08 до 119,21 мкг/г, а гриби, сушені гарячим повітрям, містили від 21,51 до 81,17 мкг/г вітаміну D2 (Kalaras, Beelman ... Elias, 2017).

Вивчалась також стабільність вітаміну D2 під час зберігання в холодильнику грибів, оброблених UV-B після збору врожаю. Опромінені гриби зберігали при 4°C до 10 діб. Концентрації вітаміну D2 та ергостерину визначали за допомогою надвисокоєфективної рідинної хроматографії / тандемної мас-спектрометрії.

Культивовані гриби, не оброблені UV-B, не містили вітаміну D2. Найнижчий вміст вітаміну D2 ( $3,55 \pm 0,11$  мкг D2/г сухої маси) показали печериці. Гливи містили  $58,96 \pm 1,15$  мкг D2/г сухої маси, а шиїтаке –  $29,46 \pm$

2,21 мкг/г сухої маси. Під час зберігання при 4 °С кількість вітаміну D2 поступово зменшувалася в глинах та шиїтаке, тоді як у печерицях цей показник поступово збільшувався до шостої доби, а вже потім зменшувався (Roberts, Teichert & McNHugh, 2008).

Визначався також вплив 2 видів заморожування (повітряне, кріогенне), консервування (м'який та сильний розсіл) та сушіння (повітряне сушіння, сублімація) на збереження вітаміну D2 та ергостерину в печерицях. Після 12 місяців зберігання консервовані гриби зберегли найбільшу кількість вітаміну D2 та ергостерину, а найменшу – у сушених грибах. Кріогенне заморожування призводило до підвищення рівня вітаміну D2, тоді як рівень ергостерину був вищим за допомогою повітряного заморожування. Спосіб сушіння мав значний вплив лише на рівень ергостерину, що був вищим у разі сублімаційного сушіння. Найкращі результати для зберігання сушених грибів давала кімнатна температура. У консервованих грибах тип розсолу впливав лише на рівень вітаміну D2; утримання було вищим при використанні сильного розсолу. Збереження вітаміну D2 було вищим при низьких температурах, тоді як кімнатна температура призводила до більшого утримання ергостерину в консервованих продуктах (Bernas & Jaworska, 2017).

Під час виробництва грибів утворюється велика кількість *відходів* (що становить до 20% загального обсягу): переважно це гриби, що не відповідають специфікаціям, установленим роздрібними продавцями, через деформовані шапки та/або ніжки. Такі відходи грибів можуть бути використані як джерело відновлення як ергостерину, так і вітаміну D2, і можуть бути оцінені як фармацевтичною, так і харчовою промисловістю як цінний інгредієнт у харчових продуктах.

Висушування зразків є важливим етапом, який передуює екстракції стеролів і має значний вплив на утримання ергостерину та вітаміну D2. Екстракція стеролів з грибів може проводитись як звичайними (наприклад, екстракція Сокслета), так і нетрадиційними методами – наприклад, за допомогою ультразвуку (UAE), за допомогою мікрохвильової печі (MAE),

глибокими розчинниками (DES), надкритична рідинна екстракція (SFE), екстракція рідиною під тиском (PLE) або їх комбінації. Застосування нетрадиційних методів, наприклад OAE та MAE, сприяє коротшому термінові екстракції, ніж звичайні методи (Papoutsis, Grasso ... Lyng, 2019).

## **Висновки**

На підставі здійсненого аналізу можна зробити висновок щодо великої перспективності наряду зі створення технології виробництва протеїнових концентратів, білкових композицій із грибних культур, а також використання культивованих грибів у якості єдиного природного джерела вітамінів групи D.

Важливим завданням організації виробництва цих продуктів є добір вихідної сировини; для цього доцільно вивчити фонд як культивованих, так і дикорослих грибів.

Специфічність технологічного виробництва і концентратів, і білковмісних композицій зумовлює істотні вимоги до сировини: високий вміст білку, інших біокомпонентів, відсутність токсичних сполук, достатня коагуляція білкової фракції, відсутність деструкції високомолекулярних сполук при сушінні тощо. Необхідними будуть також медико-біологічні дослідження отриманих продуктів для підтвердження можливості їх включення до раціону харчування людей.

Гриби за своїм біохімічним складом є досить цінним, порівняно з іншими харчовими продуктами, видом сировини з високим природним вмістом функціональних інгредієнтів. Найбільш ефективним способом перероблення грибів на високоякісні продукти функціонального призначення є їх сушіння. Майбутнє у харчових технологіях, зокрема технологіях сушіння грибів, належить комбінованим технологічним процесам на основі використання низьких температур з багатofакторними щадними впливами на біокомпоненти вихідної сировини. Саме це забезпечує їх максимальне збереження, отримання готових продуктів підвищеної біологічної цінності, що дозволяє використовувати їх у сфері оздоровчого, функціонального харчування.

## Література

1. Дятлов, В. В., Попова, Н. А., Медведкова, И. И. (2011). Качество и безвредность шампиньонов при хранении. *Товарознавчий вісник*, **3**, 95–103.
2. Болотских С., & Вольфовский В. (2007). Культивируемые шампиньоны – экологически безопасный продукт. Харьков: ХГАУ.
3. Martinez-Medina, G., Chávez-González, M., Kumar Verma, D., Prado-Barragán, L. A., Martínez-Hernández, J. L. et al. (2021). Bio-functional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothionine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods*, **77**, 104326. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620305508?via%3Dihub> (дата звернення 07.11.2021)
4. Stojković, D., Reis, F. S., Glamočlija, J., Ćirić, A., Barros, L. et al. (2014). Cultivated strains of *Agaricus bisporus* and *A. brasiliensis*: chemical characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties for the final healthy product – natural preservatives in yoghurt. *Food & Function*, **5**(7), 1602-1612.
5. Ященко, О. В. (2012). Харчова та біологічна роль їстівних та лікарських грибів в харчуванні населення. *Гігієна населених місць*, **59**, 234-240.
6. Chang, Shu-Ting (2006). The World Mushroom Industry: Trends and Technological Development. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, **8** (4).
7. Дубініна А., Тимофєєва О. (2009). Розвиток грибівництва в Україні. *Харчова і переробна пром-сть*, **7-8**(359-360), 8-9.
8. Wasser, S.P., Weis, A.L. (1999). Medicinal properties of substances occurring in Higher Basidiomycetes Mushrooms: current perspectives (Review). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, **1**, 31-62.
9. Wasser, S.P., Nevo, E., Sokolov, D. et al. (2000). Dietary Supplements from Medicinal Mushrooms: Diversity of Types and Variety of Regulations. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, **2**, 1-19.

10. Ровбель Н.М., Гончарова И.А., Воскобоева В.А. и др. (2004). Сорбция ионов меди биомассой, клеточными стенками и хитин-глюкановым комплексом гриба *Trametes hirsute*, выращенного на среде с лактозой. *Материалы Междунар. конф. "Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии"*, Минск, 325-326.
11. Иконникова Н. В., Гончарова И. А., Соколова Т. В. и др. (2004). Связывание ионов тяжелых металлов меланином грибов *Phellinus robustus* и *Inonotus obliquus*. *Материалы Междунар. конф. "Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии"*, Минск, 288-289.
12. Meera, Ch.R., Smina, Th.P., Nitha B. et al. (2009). Antiarthritic activity of a polysaccharide-protein complex isolated from *Phellinus rimosus* (Berk.) Pilat (Aphyllphoromycetidae) in Freund's complete adjuvant Induced arthritic rats. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, **11**(1), 21-28.
13. Краснопольская Л.М., Автономова А.В., Белицкий И.В. (2007). Биологически активные полисахариды базидиальных грибов. *Школа грибоводства*, **42**, 50-52.
14. Synytsya, A., Mickova, K., Synytsya A. et al. (2009). Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. *Carbohydrate Polymers*, **76**(4), 548-555.
15. Ribeiro B., Guedes de Pinhoa, P. et al. (2009). Fatty acid composition of wild edible mushrooms species: A comparative study. *Microchemical Journal*, **93**(1), 29-35.
16. Попова Н.А., Медведкова И.И. (2012). Изменение содержания триглицеридов в свежих культивируемых шампиньонах разных штаммов в процессе хранения. *Товарознавчий вісник*, **5**, 320-325.
17. Shelke, S., Badhe, P. (2021). In-silico study of *Agaricus Bisporus* on DNA damaging protein. URL: [https://www.researchgate.net/publication/354440643\\_In-silico\\_study\\_of\\_Agaricus\\_Bisporus\\_on\\_DNA\\_damaging\\_protein](https://www.researchgate.net/publication/354440643_In-silico_study_of_Agaricus_Bisporus_on_DNA_damaging_protein) (дата звернення 07.10.2021)
18. Calvo, M.S., Mehrotra, A., Beelman, R.B. et al. (2016) A Retrospective

Study in Adults with Metabolic Syndrome: Diabetic Risk Factor Response to Daily Consumption of *Agaricus bisporus* (White Button Mushrooms). *Plant Foods for Human Nutrition*, **71**, 245–251.

19. Glamočlija, J., Stojković, D., Nikolić, M. et al. (2015). A comparative study on edible *Agaricus* mushrooms as functional foods. *Food & Function*, **6**(6), 1900-1910.

20. Сімахіна Г.О. (2019). Нутрієнти для підвищення резистентності організму людини до антропогенних чинників. *Наукові праці НУХТ*, **25**(6), 182-194.

21. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. (2020). Оптимальний підбір амінокислот для подолання білкового дефіциту. *Наукові праці НУХТ*, **26**(5), 170-181.

22. Сімахіна Г.О., & Науменко Н.В. (2015). Технологія оздоровчих харчових продуктів. Київ: НУХТ.

23. Спиричев В.Б. & Конь И.Я. (2009). Биологическая роль жирорастворимых витаминов. *Итоги науки и техники. Физиология человека и животных*, **37**.

24. Bernas, E., G. Jaworska, G. (2017). Culinary-Medicinal Mushroom Products as a Potential Source of Vitamin D. *International Journal of Medical Mushrooms*, **19**(10), 925-935.

25. Cardwell, G., Bornman, J.F., James, A.P., Black, L.J. (2018). A Review of Mushrooms as a Potential Source of Dietary Vitamin D. *Nutrients*, **10**(10), 1498.

26. Simon R.R., Borzelleca, J.F., DeLuca, H.F., Weaver, C.M. (2013). Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light. *Food Chem Toxicol.*, **56**, 278-289.

27. Urbain, P., Singler, F., Ihorst, G., Biesalski, H-K., Bertz, H. (2011). Bioavailability of vitamin D<sub>2</sub> from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, **65**(8), 965-971.

28. Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. (2021).

Safety of Vitamin D 2 mushroom powder (*Agaricus bisporus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, **19**(4), 06516.

29. Simon, R.R., Phillips, K.M., Horst, R.L., Munro I.C. (2011). Vitamin D mushrooms: comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated postharvest with UVB light or sunlight. *J. Agric. Food. Chem.* 2011 Aug. 24. V. 59(16). P. 8724-8732.

30. Guan Wenqiang, Zhang Jie, Yan Ruixiang, Shao Suqin, Zhou Ting, Lei Jing, Wang Zhidong (2016). Effects of UV-C treatment and cold storage on ergosterol and vitamin D2 contents in different parts of white and brown mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Chemistry*; **210**, 129-134.

31. Koyyalamudi S.R., Jeong Sang-Chul, Song Chi-Hyun, Cho Kai Yip, Pang G. (2009). Vitamin D2 formation and bioavailability from *Agaricus bisporus* button mushrooms treated with ultraviolet irradiation. *J. Agric Food Chem.*, **57**(8), 3351-3355.

32. Jasinghe V.J., Perera C.O., Barlow P.J. (2005). Bioavailability of vitamin D2 from irradiated mushrooms: an in vivo study. *Br Journal of Nutrition*, **93**(6), 951-955.

33. Urbain, P., Valverde, J., Jakobsen J. (2016). Impact on Vitamin D2, Vitamin D4 and Agaritine in *Agaricus bisporus* Mushrooms after Artificial and Natural Solar UV Light Exposure. *Plant Foods in Human Nutrition*, **71**(3), 314-321.

34. Urbain, P., Jakobsen, J. (2015). Dose-Response Effect of Sunlight on Vitamin D2 Production in *Agaricus bisporus* Mushrooms. *Journal Agric Food Chemistry*, **63**(37), 8156-8161.

35. Ko J.A. , Lee B.H. , Lee J.S., Park H.J. (2008). Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D2 in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal Agric. Food Chemistry*, **56**(10), 3671-3674.

36. Hu Daihua, Yang Xu, Hu Chingyuan, Feng Zili (2021). Comparison of Ergosterol and Vitamin D<sub>2</sub> in Mushrooms *Agaricus bisporus* and *Cordyceps militaris* Using Ultraviolet Irradiation Directly on Dry Powder or in Ethanol Suspension. *ACS*

*Omega.*

37. Kalaras, M.D., Beelman, R.B., Elias, R.J. (2012). Effects of postharvest pulsed UV light treatment of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) on vitamin D2 content and quality attributes. *Journal Agric. Food Chemistry*, **60**(1), 220-225.

38. Kalaras, M.D., Beelman, R.B., Holick, M.F., Elias, R.J. (2017). Generation of potentially bioactive ergosterol-derived products following pulsed ultraviolet light exposure of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Chemistry*, **135**(2), 396-401.

39. Roberts J.S., Teichert A., McHugh T.H. (2008). Vitamin D2 formation from post-harvest UV-B treatment of mushrooms (*Agaricus bisporus*) and retention during storage. *Journal of Agric. Food Chemistry*, **56**(12), 4541-4544.

40. Papoutsis K., Grasso S., Menon A., Brunton N.P., Lyng J.G. (2019). Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste - Potential valorization by food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science & Technology*, **99**, 351-366.