

## INDICE

1. Introduzione .....	1
2. Caratteristiche micologiche .....	2
3. Aspetti biochimici e nutrizionali .....	6
3.1 Proteine .....	7
3.2 Carboidrati e fibre alimentari .....	8
3.3 Lipidi .....	9
3.4 Vitamine e sali minerali .....	10
3.5 Composti fenolici e acidi organici .....	11
3.6 Composti micotici .....	12
4. Effetti sulla salute umana .....	14
5. Industria alimentare .....	17
6. Bibliografia .....	20



## 1. INTRODUZIONE

*Hericium erinaceus* è un fungo commestibile tradizionalmente impiegato nella cultura asiatica la cui nomenclatura deriva dal latino “riccio”, per la somiglianza trovata con la specie animale (*Erinaceus* sp.) da Bulliard. Indicato con il nome di “Houtou” in Cina e “Yamabushitake” in Giappone, a significare rispettivamente testa di scimmia e fungo dei monaci, nelle altre parti del mondo è comunemente conosciuto come “Lion’s Mane”, “Monkey’s Head” o “Hedgehog mushroom”, nonostante sia talvolta menzionato in altri modi (Thongbai *et al.*, 2015).

Appartenente al genere *Hericium* che comprende 34 specie, è generalmente riconosciuto tassonomicamente attraverso la macromorfologia. È una specie saprofita lignicola che si nutre di legno morto, assicurandone la decomposizione e rendendo biodisponibile la materia utilizzata; può occasionalmente comportarsi come parassita (Gonkhom *et al.*, 2021; Ouali *et al.*, 2018). La sua crescita si osserva principalmente nell’emisfero boreale, in Asia in particolare è segnalato come una specie di interesse nutraceutico, grazie ai suoi metaboliti bioattivi isolati e caratterizzati, quali  $\beta$ -glucani, polichetidi e terpenoidi, dotati di una vasta gamma di effetti, con potenziale efficacia nel trattamento della malattia di Alzheimer e del morbo di Parkinson, agendo in diversi modi (Sujata *et al.*, 2021).

Il genere *Hericium*, rappresentando una preziosa fonte di composti biologicamente attivi, è riconosciuto da oltre mille anni nella medicina tradizionale cinese per le sue proprietà ed è da tempi antichi utilizzato nel trattamento di diverse patologie (Ma *et al.*, 2010; Thongbai *et al.*, 2015).

In Thailandia questo fungo è conosciuto ma considerato costoso, quindi consumato in mercati di nicchia (Gonkhom *et al.*, 2022).

Da questo fungo l’industria alimentare ha ottenuto estratti, prodotti di fermentazione e polveri, utilizzati come ingredienti in bevande e cibi al fine di incrementarne i valori nutrizionali e i benefici sulla salute umana; inoltre sono state isolate da miceli e corpi fruttiferi metaboliti utilizzati nella formulazione di integratori, compresse e capsule, che trovano impiego nell’industria farmaceutica (Friedman, 2015).

## 2. CARATTERISTICHE MICOLOGICHE

*Hericium erinaceus* appartiene alla classe degli Agaricomycetes, è un Basidiomicete ectomicorrizico xilotrofico che cresce su substrati contenenti lignina, frequentemente associato *Fagaceae* e *Pinaceae*, presente in Cina, Giappone, Corea e altri paesi dell'emisfero settentrionale (Badalyan & Borhani, 2019; Zhang *et al.*, 2022). Questa specie si trova in foreste temperate decidue, dove cresce generalmente su vecchi alberi viventi o legni duri tagliati di recente, principalmente latifoglie e sclerofille: rappresenta così un valido indicatore di boschi secolari di faggi e querce (Grace & Mudge, 2015; Otto, 2011; Ouali *et al.*, 2018).

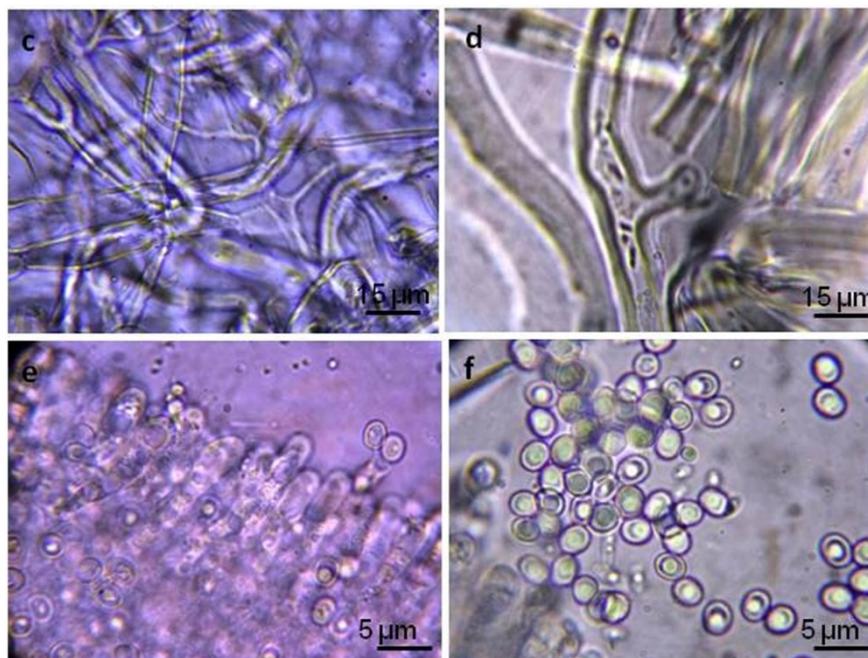
*H. erinaceus* è stato soggetto a revisioni sistematiche: indicato inizialmente appartenere al genere *Hydnum* a causa della natura idnoide dell'imenoforo, morfologicamente caratterizzati dall'imenio composto di idni (aculei) pendenti inferiormente, è stato poi classificato come membro del genere *Hericium* da Persoon nel 1797 (Ouali *et al.*, 2018). In seguito fu inserito nell'ordine Hericiales, sottoclasse Holobasidiomycetidae, che è stato tuttavia fuso, nella sistematica attualmente utilizzata, con l'ordine Russulales, presentando ad oggi la seguente tassonomia: Hericiaceae, Russulales, Incertae sedis, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota, Fungi (Index Fungorum) (Donk, 1964; He *et al.*, 2017).

Secondo quanto segnalato da Gonkhom *et al.* (2022), attualmente nell'Index Fungorum sono stati riportati 66 record, 48 record di taxa in MycoBank, mentre 23 specie appartenenti al genere *Hericium* sono state indicate nello studio condotto da He *et al.*, 2019. Mediante l'applicazione di metodi molecolari è stato reso possibile verificare l'identificazione tassonomica e l'affiliazione filogenetica delle specie del genere *Hericium* (Ouali *et al.*, 2018).



**Figura 1.** “*Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon.”  
(da [https://en.wikipedia.org/wiki/Hericium\\_erinaceus](https://en.wikipedia.org/wiki/Hericium_erinaceus))

In quanto Agaricomicete xilotrofico, *H. erinaceus* sviluppa il proprio sistema ifale penetrando nel substrato legnoso, principalmente morto o morente. Quindi, si sviluppa all'esterno attraverso un basidioma non ramificato di forma globulare compatta o talvolta lobata, che può raggiungere i 20 cm di diametro; dotato di imenoforo con faccia inferiore di pattern idnoide, è caratterizzato da numerose spine carnose pendenti, generalmente con geotropismo positivo, che si estendono per 1-5 cm in lunghezza e con diametro di 2-3 mm (Boddy & Wald, 2003; Donk, 1964; Koski-Kotiranta & Niemelä, 1987; Thongbai *et al.*, 2015). Lo stipite appare corto e laterale o inesistente; la colorazione bianco-crema varia a giallo-bruna con il tempo (Koski-Kotiranta & Niemelä, 1987; Ouali *et al.*, 2018). La specie si caratterizza dagli altri membri del genere *Hericium* per la macromorfologia compatta, distinta dalla morfologia coralliforme ramificata tipica delle altre specie (Ouali *et al.*, 2018). Il basidioma inizia a differenziare dal primordio, lo stadio di transizione che precede lo sporoforo (Corana *et al.*, 2019). Differentemente, i caratteri micromorfologici del genere appaiono piuttosto simili: il sistema ifale è monomitico, costituito da sole ife generatrici raggruppate e dotate di parete amiloide sottile o spessa, con setti dolipari; hanno diametro variabile di 3-20  $\mu\text{m}$  e possono intrecciarsi nella formazione di gloecistidi nel subimenio, larghi fino a 7  $\mu\text{m}$  e provvisti di contenuti densi oleosi (Ouali *et al.*, 2018; Thongbai *et al.*, 2015). I basidi si presentano claviformi, poco evidenti per le dimensioni di 25-40  $\mu\text{m}$  per 5-7  $\mu\text{m}$ ; da questi emergono 2 sterigmi nei quali sono generate le basidiospore, incolori o bianche di massa verrucosa/ruvida e amiloide, di forma da elissoide a subglobulare, che misurano approssimativamente 5-7  $\mu\text{m}$  per 4-5  $\mu\text{m}$ , (Badalyan & Borhani, 2019; Ouali *et al.*, 2018; Thongbai *et al.*, 2015). Gli studi riportano che il sistema riproduttivo è tetrapolare (Boddy & Wald, 2003).



**Figura 2.** Sistema ifale (c), ife a parete spessa (d), basidi (e) e basidiospore (f) di *H. erinaceus* (Ouali *et al.*, 2018).

In accordo con quanto descritto da Otto (2011), *H. erinaceus*, caratteristico di zone climatiche temperate, è stato descritto per la prima volta in Nord America (Gonkhom *et al.*, 2022; Thongbai *et al.*, 2015). In alcune regioni dell'Europa la sua diffusione è più ridotta tanto da venire inserito nella lista rossa di 13 Paesi del continente europeo, per la progressiva scomparsa della specie dai suoi habitat naturali, dovuto anche alle alterazioni degli ecosistemi e delle condizioni climatiche ed ambientali (Ouali *et al.*, 2018; Thongbai *et al.*, 2015). I basidiocarpi sono prodotti principalmente dall'inizio dell'estate fino al tardo autunno (agosto-novembre), in Regno Unito anche fino a dicembre-gennaio, mentre in Grecia può iniziare a fruttificare da marzo a maggio (Otto, 2011). Secondo il Global Biodiversity Information Facility (GBIF), la specie è stata registrata in Australia (Thongbai *et al.*, 2015), altri riscontri si sono verificati in una catena montuosa camerunese in vicinanza con l'equatore (Gonkhom *et al.*, 2022), in Tunisia (Ouali *et al.*, 2018), sono state inoltre riportate sulla piattaforma scientifica iNaturalist singole osservazioni di questi esemplari in Algeria e Madagascar (Jumbam *et al.*, 2019).

*H. erinaceus* trovandosi in simbiosi micorrizica con piante per potersi sviluppare, determina un cambiamento della comunità microbica con l'ospite (Zhang *et al.*, 2022).

L'accrescimento, così come la produzione di metaboliti da parte del micete, è fortemente legato alle caratteristiche del substrato e dell'ambiente, e i suoi profili nutrizionali variano nelle diverse fasi di sviluppo (Corana *et al.*, 2019, Gonkhom *et al.*, 2021, Ouali *et al.*, 2023).

La fruttificazione può avvenire in modalità intermittente per 20 anni sullo stesso albero, riuscendo a sopravvivere sullo stesso albero morto fino a 40 anni (Thongbai *et al.*, 2015; Kumar, 2022).

Grazie alla sua vita xilotrofica da Agaricomicete, può crescere anche su altri substrati contenenti lignina, permettendone la coltivazione su substrati alimentari ed in condizioni da laboratorio (Badalyan & Borhani, 2019; Kumar, 2022). Secondo quanto indicato dagli studi riportati da Kumar (2022), le condizioni ottimali di crescita prevedono una temperatura di 25-26°C, con umidità relativa di 85-90% (piuttosto elevata). La crescita ottimale miceliale è differente da quella di fruttificazione e richiede temperature di 22-25°C, mentre i corpi fruttiferi hanno mostrato avere il maggiore sviluppo con valori di 18-24°C; La crescita minore si ha invece con valori di 15°C e 35°C (Kumar, 2022; Thongbai *et al.*, 2015)

Nonostante la rarità dei basidiomi di *H. erinaceus* in habitat naturali, questo fungo è attualmente coltivato con successo, il che consente una facilitata gestione della specie in termini di conservazione, produzione e sfruttamento (Ouali *et al.*, 2018). Esemplari *wild-type* presentano generalmente maggiore variabilità biologica a seconda di ambiente e stagionalità, differentemente dalle colture che mantengono condizioni stabili (Corana *et al.*, 2019).

Alcune specie di *Hericium* sono state coltivate commercialmente come *H. erinaceus*, *H. abietis* e *H. americanum* (Gonkhom *et al.*, 2021). La prima

pubblicazione sulla coltivazione di questo fungo su tronchi artificiali e sacchetti di polipropilene è stata documentata nel 1988 in Cina, tuttavia a causa del lungo ciclo produttivo e della bassa resa, la coltivazione artificiale non è adatta alla industrializzazione (He *et al.*, 2017). Le colture sommerse possono invece ottenere un grande volume di micelio e prodotti di fermentazione in un breve periodo di tempo, garantendo inoltre sufficienti nutrienti al micete per l'accumulo di sostanze bioattive (He *et al.*, 2017).

Gonkhom *et al.* (2022) ha evidenziato i risultati ottenuti da diverse analisi condotte al fine di definire le condizioni di pH adatte alla crescita di *H. erinaceus*, ottenendo valori compresi nel range di 5-9, mentre lo sviluppo ottimale è stato riportato a pH 6. Una simile crescita degli esemplari si è osservata anche a pH 7 e 8, mentre per alcuni ceppi valori di pH 9 risultavano migliore rispetto a valori di pH 5, suggerendo un certo grado di adattabilità della specie (Imtiaj *et al.*, 2008).

Kumar (2022) ha indicato che il substrato di coltivazione migliore per la crescita è rappresentato da segatura supplementata con 20% di crusca di frumento, in accordo con quanto riportato da numerosi studi, condotti dopo gli anni 2000 e citati nella pubblicazione, confermando la maggiore resa su segatura. Un altro studio riportato nello stesso lavoro ha invece ottenuto i risultati migliori in substrati di paglia di riso.

La crescita *in vitro* della specie è risultata piuttosto lenta, indicando che le piante su cui cresce forniscano alcuni carboidrati funzionali allo sviluppo (Zhang *et al.*, 2022). Sono quindi state testate le fonti di carbonio migliori per sostenerne l'accrescimento: Kumar (2022) ha trovato che destrosio, fruttosio e glucosio hanno favorito la crescita maggiore, contrariamente a quanto pubblicato da Gonkhom *et al.* (2022) secondo cui il saccarosio rappresenta la migliore fonte per la crescita miceliale, suggerendo che i disaccaridi sono migliori fonti rispetto ai monosaccaridi per *H. erinaceus*. Tra le fonti azotate invece hanno avuto maggior efficacia alanina e ammonio acetato (Kumar, 2022). Gonkhom *et al.* (2022) ha inoltre riportato che melassa ed estratto di lievito sono rispettivamente i migliori supplementi di C e N.

Attraverso l'applicazione delle tecniche e le condizioni di coltura trattate da Gonkhom *et al.* (2022), sarebbe possibile migliorare la produzione miceliale del fungo e dei metaboliti secondari scarsi o assenti in basidiomi, favorendo un impiego della specie nella lavorazione di prodotti alimentari funzionali con composti utili contro le malattie che coinvolgono il sistema nervoso.

Grazie alla capacità di *H. erinaceus* di produrre metaboliti secondari con effetti positivi sulla salute, anche crescendo su substrati artificiali, substrati agricoli economici, scarti organici e agricoli, questo micete ha assunto valore in ambito sanitario-industriale, dove è impiegato in varie applicazioni (Gonkhom *et al.*, 2021). Questo è facilitato dalla coltivazione della specie che è riuscita sia con metodi di coltivazione indoor che outdoor; metodi di coltura sommersa consentono invece di aumentare la resa produttiva, riducendo i costi a valle, il che

permetterebbe di sviluppare da *Hericium* prodotti di interesse industriale (Gonkhom *et al.*, 2021). La crescita su piante medicinali di questa specie è stata testata, riscontrando che i miceti in questione biotrasformano il materiale vegetale attivo, ottenendo una incrementata attività biologica nell'estratto risultante (Gonkhom *et al.*, 2021).

### 3. ASPETTI BIOCHIMICI E NUTRIZIONALI

*H. erinaceus* è un alimento funzionale di interesse medico e biotecnologico, con un ottimo contenuto di macro- e microelementi nutrizionali e un basso quantitativo di elementi potenzialmente tossici, assumendo sempre più rilevanza grazie alle proprietà nutraceutiche di composti bioattivi essenziali per la salute umana, come i composti fenolici (Fernandes *et al.*, 2021). Come altri funghi selvatici, *H. erinaceus* è una importante fonte di carboidrati, tra i quali  $\beta$ -glucani assumono rilevanza grazie alle loro numerose proprietà benefiche, e proteine (micoproteine) di importanza nutrizionale grazie alla loro composizione abbondante in aa essenziali, che rendono questa specie un buon sostituto alimentare a proteine animali in diete vegetariane e vegane (Khan *et al.*, 2013; Ouali *et al.*, 2023).

Friedman (2015) ha riportato il profilo di *H. erinaceus*, dotato di un elevato contenuto proteico pari a circa 22 per 100 g del fungo essiccato, caratterizzato da aa essenziali equivalente a 44,25 g per 100 g di proteine. Ouali *et al.* (2023), dopo aver analizzato differenti specie fungine raccolte in Tunisia, ha rilevato che *H. erinaceus* presenta tra gli esemplari raccolti la maggior quantità di carboidrati, acido oleico e docosaesanoico, composti fenolici, flavonoidi e minerali; minore era invece il contenuto proteico pari al 4,8% di materia secca, e zuccheri (3,96%). È dunque evidente come il profilo nutrizionale del fungo possa variare particolarmente, differendo nella composizione chimica a seconda dell'area di raccolta, substrato, condizioni climatiche e ambientali (Kumar, 2022; Ouali *et al.*, 2023).

Altre analisi sul profilo nutrizionale di *H. erinaceus* hanno dimostrato un notevole quantitativo di composti bioattivi o potenziali, riscontrando però differenti contenuti in micelio e corpo fruttifero dai quali sono state isolate diverse classi di composti organici come erinacine, composti aromatici, steroidi, alcaloidi e lattoni (Corana *et al.*, 2019; Friedman, 2015).

Questa specie rappresenta una ricca fonte di carboidrati, fibre crude, cenere (sali minerali), tiamina, vitamine e zuccheri solubili, polisaccaridi fisiologicamente rilevanti come ericenoni, erinacine, ericerine, e polifenoli (Kumar, 2022).

Dati rappresentativi sul profilo di metaboliti della specie sono stati raccolti da Cohen *et al.* (2014): corpi fruttiferi di *H. erinaceus* essiccati hanno percentuali pari al 20.8% di proteine, 61.1% di carboidrati totali, 5.1% di grassi, 6.8% di cenere (minerali, ...) e un residuo di 6.2% di acqua, fornendo un apporto calorico di 374 kcal per 100 grammi di prodotto essiccato; il micelio presenta invece percentuali differenti, con 42.5% di proteine, 42.9% di carboidrati totali, 6.3% di grassi, 4.4% di cenere, 3.9% di acqua, per un equivalente di 398 kcal ogni 100 grammi. Il contenuto di amminoacidi liberi corrisponde a 14.3 mg/g dw (peso secco) e 30.6 mg/g dw rispettivamente in basidioma e micelio. Nel corpo fruttifero c'è più varietà di acidi grassi e, come il micelio, presenta macro e microelementi abbondanti e una ridotta quantità di elementi potenzialmente tossici (Friedman, 2015). I funghi rappresentano inoltre una delle migliori fonti naturali di vitamina D per persone vegetariane; esemplari selvatici sono generalmente ottime fonti di vitamina D2 a differenza di quelli coltivati (Valverde *et al.*, 2015).

Composti fenolici, tra i quali i flavonoidi sono i più noti, rappresentano un importante gruppo di metaboliti secondari grazie alle loro capacità antiossidanti di rilevanza per la nutrizione umana, che forniscono a queste molecole un'ampia gamma di proprietà fisiologiche garantendo protezione contro disturbi degenerativi (Ouali *et al.*, 2023).

### 3.1 Proteine

Le micoproteine, ricche in amminoacidi essenziali, contribuiscono al mantenimento di colesterolo ematico entro livelli adeguati, allo sviluppo muscolare, al controllo della concentrazione ematica di glucosio e insulina, incrementando anche la sensazione di sazietà (Finningam *et al.*, 2019). In particolare, il profilo amminoacidico di corpi fruttiferi essiccati evidenzia maggiori contenuti di fenilalanina, leucina, lisina, glutammato, isoleucina, glutammato e tirosina (Chayiasut *et al.*, 2018). L'alto contenuto in glutammato e composti volatili è responsabile del distintivo gusto dei funghi (Friedman, 2015).

La composizione dei funghi sembra variare a seconda di dove sono coltivati o crescono in natura. Differentemente dai test *in vitro* i risultati *in vivo* sono influenzati dalla digeribilità delle proteine, come dall'assorbimento e utilizzo degli aa per la sintesi di proteine essenziali (Friedman, 2015).

Alcuni funghi contengono enzimi ossidasi che determinano una rapida reazione di imbrunimento quando tagliati o rotti (Friedman, 2015). Alcuni enzimi sono stati isolati dai corpi fruttiferi, tuttavia non è risultato altrettanto facile definire come potrebbero agire nel corpo umano a causa di possibili risposte allergiche o variazioni di funzionalità a seguito di digestione (Thongbai *et al.*, 2015).

Tra i composti di derivazione amminoacidica troviamo GABA, ergotioneina e lovastatina (Cohen *et al.*, 2014). Chayiasut *et al.*, 2018 ha confrontato il contenuto di amminoacidi del corpo fruttifero essiccato e del succo fermentato di *H. erinaceus*, osservando che il processo fermentativo ha condotto all'incremento

della concentrazione di GABA di quasi 10 volte, a discapito della concentrazione amminoacidica. *H. erinaceus* rappresenta quindi un substrato naturale ideale per la produzione di succo fermentato ricco in GABA, grazie al suo alto contenuto proteico e di aa liberi (Chayiasut *et al.*, 2018).

**Tabella 1.** Contenuto di derivati amminoacidici in corpo fruttifero e micelio di *H. erinaceus* (Cohen *et al.*, 2014).

Derivati aa	Corpo fruttifero ( $\mu\text{g/g dw}$ )	Micelio ( $\mu\text{g/g dw}$ )
GABA	42.93 $\pm$ 2.17	56.00 $\pm$ 0.84
Ergotioneina	629.96 $\pm$ 36.80	149.24 $\pm$ 5.51
Lovastatina	14.38 $\pm$ 0.99	ND

È stato determinato che utilizzando come supplemento la crusca di riso nel substrato, è favorita la produzione proteica, permettendo la coltivazione del fungo a fini alimentari (Gonkhom *et al.*, 2022).

### 3.2 Carboidrati e fibre alimentari

I polisaccaridi di *H. erinaceus* esibiscono una grande varietà di attività farmacologiche quale antiossidante, antinfiammatoria, antitumorale; questi metaboliti forniscono protezione gastrointestinale ed epatica e presentano effetti ipolipemizzanti e ipoglicemici, migliorando il sistema immunitario. Pertanto, hanno un grande potenziale per l'uso medicinale, assumendo ampie prospettive di sviluppo (Liu *et al.*, 2022).

I carboidrati totali disponibili rappresentano i macronutrienti più abbondanti della specie in oggetto, con le fibre a dare il contributo maggiore; il contenuto di fibre alimentari insolubili è superiore a quello delle fibre alimentari solubili, in accordo con i risultati riportati in letteratura per i funghi in generale (Heleno *et al.*, 2015). Tra gli zuccheri liberi l'arabinosio è lo zucchero più abbondante, seguito da mannitolo e trealosio, nonostante l'arabinosio sia segnalato in letteratura come uno tra gli zuccheri presenti in concentrazioni minori nei funghi (Heleno *et al.*, 2015). Alti livelli di arabinosio sembrano essere una caratteristica comune del genere *Hericium* (Heleno *et al.*, 2015).

**Tabella 2.** Contenuto di carboidrati, fibre e zuccheri liberi di *H. erinaceus* (Heleno *et al.*, 2015).

Carboidrati, fibre e zuccheri	Corpo fruttifero (mg/100g dw)
Carboidrati totali	79.36 $\pm$ 0.32
Carboidrati totali disponibili	31.29 $\pm$ 0.92
Fibre alimentari totali	41.32 $\pm$ 1.46

Fibre insolubili	38.66 ± 1.88
Fibre solubili	2.66 ± 0.29
Zuccheri liberi totali	23.63 ± 0.94
Arabinosio	17.46 ± 0.70
Mannitolo	5.63 ± 0.22
Trealosio	0.54 ± 0.07

I polisaccaridi sono i maggiori componenti effettivi di derivazione fungina, dotati di molte proprietà medicinali. Tra questi i  $\beta$ -glucani sono i principali polisaccaridi dei funghi tanto da rappresentare uno dei maggiori componenti della parete cellulare fungina (Valverde *et al.*, 2015). Tra i polisaccaridi isolati nel corpo fruttifero, dotati di attività antitumorale, identifichiamo xilani, glucoxilani, eteroglicani, galattosiloglucani. Molti di questi composti presentano attività biologiche e farmacologiche importanti (Thongbai *et al.*, 2015).

Studi sulle attività farmacologiche hanno rivelato che i polisaccaridi di *H. erinaceus* possiedono il potenziale per aiutare a prevenire tumori e patologie neurodegenerative, nonché ulcera gastrica, diabete, iperlipidemia (He *et al.*, 2017). Khan *et al.* (2013) hanno affermato i benefici dei polisaccaridi di *H. erinaceus*, in particolare dei  $\beta$ -glucani, dimostrandone la possibile applicazione nello sviluppo di formulazioni farmaceutiche.

Diverse glicoproteine sono state isolate da *H. erinaceus* tra cui alcune lectine, dotate di molte attività farmacologiche quali immunomodulatoria, antitumorale (antiproliferativa), antivirale, antibatterica e antifungina (He *et al.*, 2017).

Dalle analisi chimiche riportate il contenuto totale di polisaccaridi trovato nei corpi fruttiferi è risultato essere superiore a quello nel micelio (He *et al.*, 2017). Friedman (2015) ha evidenziato che nella composizione di alcuni dei polisaccaridi della specie, le unità costitutive sono principalmente fucosio, galattosio, glucosio, ramnosio e xilosio, in diversi rapporti/percentuali. Il glucosio è la maggiore unità costitutiva dei polisaccaridi di *H. erinaceus*, seguito da ramnosio e galattosio; altri monosaccaridi ritrovati in quantità inferiori sono mannosio, fucosio e arabinosio (Qin *et al.*, 2020). Tra gli zuccheri citati mannosio, arabinosio e galattosio sono stati identificati come le principali unità responsabili delle attività biologiche dei polisaccaridi di questa specie (Qin *et al.*, 2020); gli effetti biologici e le proprietà chimico-fisiche di queste molecole sono strettamente correlati (He *et al.*, 2017).

### 3.3 Lipidi

*H. erinaceus*, come altri funghi selvatici, risulta un alimento funzionale per diete ipocaloriche, grazie al suo ridotto contenuto lipidico (Heleno *et al.*, 2015).

Sono stati valutati contenuto e composizione degli acidi grassi, suddivisi in acidi grassi saturi, acidi grassi monoinsaturi e poliinsaturi, isolando 11 acidi grassi nel corpo fruttifero e 7 in micelio secondo quanto riportato da Friedman (2015). I principali acidi grassi identificati sono palmitico, margarico, oleico e linoleico, tra questi i più rappresentativi della specie sono gli acidi oleico, linoleico e palmitico (Ouali *et al.*, 2023). Heleno *et al.* (2015) così come Cohen *et al.* (2014) hanno determinato il profilo nutrizionale di *H. erinaceus* e altri Basidiomiceti riscontrando una delle maggiori percentuali di acido oleico nella specie qui trattata. L'acido linoleico, essenziale per l'uomo, rappresenta il lipide che in buona parte dei funghi contribuisce al loro sapore caratteristico ed è tra gli acidi grassi maggiormente presenti in *H. erinaceus*, arrivando talvolta a superare il 30% del contenuto lipidico (Cohen *et al.*, 2014; Friedman, 2015). Tra gli acidi grassi saturi della specie, si evidenzia una concentrazione di acido palmitico considerevole. Altri acidi grassi sono stati trovati in concentrazioni minori, tra questi l'acido docosoesanoico (omega 3/DHA), responsabile di importanti attività biologiche (Ouali *et al.*, 2023).

**Tabella 3.** Contenuto dei principali lipidi di *H. erinaceus* (Cohen *et al.*, 2014).

Acidi grassi	Corpo fruttifero (mg/g dw)	Micelio (mg/g dw)
Ac. palmitico	24.0 ± 1.68	14.0 ± 3.67
Ac. stearico	8.10 ± 0.22	4.1 ± 0.37
Ac. oleico	33.7 ± 0.48	37.2 ± 3.41
Ac. linoleico	26.9 ± 4.92	32.8 ± 2.89

Analisi su corpi fruttiferi di *H. erinaceus* hanno permesso di identificare i maggiori componenti dell'olio volatile totale, i cui principali costituenti sono acidi grassi (acido esadecanoico e acido linoleico) seguiti da fenil-acetaldeide e benzaldeide (Friedman, 2015).

### 3.4 Vitamine e sali minerali

I funghi sono riportati in letteratura come fonti di minerali, grazie agli efficaci meccanismi di assorbimento di questi elementi facilitato dall'utilizzo di acidi organici a basso peso molecolare, e allo specifico metabolismo bioaccumulativo di metalli dei funghi (Heleno *et al.*, 2015; Ouali *et al.*, 2023). *H. erinaceus* risulta avere un ottimo contenuto di K, descritto come il macroelemento più rappresentativo della specie e dei funghi in generale, seguito da P, Na, Mg e Ca; in termini di microelementi invece è apparso maggiore il contenuto di Fe, seguito da Zn, Cu, Mn presenti in tracce o assenti (Cohen *et al.*, 2014; Heleno *et al.*, 2015; Ouali *et al.*, 2023). Contrariamente ai dati ottenuti dalle analisi nutrizionali condotte su *H. erinaceus*, Ca e Na sono indicati tra gli elementi presenti in concentrazioni minori in molti studi condotti sui funghi (Ouali *et al.*, 2023). La particolare

composizione minerale della specie si ritiene probabilmente legata alla sua ecologia saprofitica (Ouali *et al.*, 2023). Variazioni microclimatiche annuali e condizioni ambientali influenzano la crescita dei funghi e l'assorbimento di metalli, altrettanto determinante è la disponibilità degli elementi nel substrato; la contaminazione del suolo con tracce di elementi e il loro contenuto nei corpi fruttiferi non sono così strettamente legati da permettere di definire i funghi come bioindicatori dell'inquinamento (Ouali *et al.*, 2023). *H. erinaceus* rappresenta quindi una delle specie con la miglior composizione minerale per il consumo umano, presentando un elevato contenuto dei maggiori elementi (K, P, Ca, Mg) e contenuto minore di metalli pesanti (Cr, Mn, Zn) (Ouali *et al.*, 2023). Gli stessi studi, condotti su *Hericium coralloides*, hanno mostrato valori più elevati di macro e microelementi, principalmente Fe, rispetto alla specie trattata, probabilmente a causa delle condizioni ambientali di crescita degli esemplari, che influenzano i livelli di assorbimento dei metalli (Heleno *et al.*, 2015).

Grazie al loro contenuto nutrizionale significativo, caratterizzato da alti livelli di riboflavina (B2), niacina, folati e tracce di vitamine B1, B12, C, D, E, i funghi rappresentano una buona fonte di vitamine (Valverde *et al.*, 2015).

I contenuti di vitamina B12 sono stati determinati su corpi fruttiferi essiccati di *H. erinaceus*, riscontrando la presenza di tracce o livelli ridotti di questa vitamina nei campioni (Friedman, 2015). È stato calcolato che il consumo approssimativo di 240 grammi di questo fungo essiccato potrebbero garantire la richiesta giornaliera di vitamina B12 di un adulto, anche se risulterebbe piuttosto difficile consumare un tale quantitativo di funghi quotidianamente. Questo ci permette di definire questo fungo inadatto al consumo come fonte vegetariana di vitamina B12 per via del ridotto contenuto nei corpi fruttiferi, e l'occasionale presenza di B12[c-lattone] che si trova in forma inattiva nell'uomo (Teng *et al.*, 2014).

L'ergosterolo è uno sterolo precursore della vitamina D2, va in contro a biotrasformazione a seguito dell'esposizione a raggi UV(B) (Friedman, 2015). Numerose industrie di diversi paesi utilizzano l'esposizione di funghi freschi a raggi UV affinché avvenga la bioconversione di ergosterolo in vitamina D, ottenendo un minimo di 10 µg ogni 100 g di fungo fresco, permettendo così di soddisfare tra il 50-100% dei requisiti giornalieri della vitamina (Joradon *et al.*, 2022).

### **3.5 Composti fenolici e acidi organici**

I composti fenolici, importante gruppo di metaboliti secondari dotati di potenti capacità antiossidanti, sono essenziali per la nutrizione umana prendendo parte ad una varietà di attività fisiologiche, fornendo protezione da alcuni disturbi degenerativi e condizioni nocive per la salute (Ouali *et al.*, 2023). Gli stessi autori hanno valutato anche il contenuto totale di composti fenolici, flavonoidi e tannini contenuti in estratti di funghi, tra cui *H. erinaceus*, osservando considerevoli variazioni nelle diverse specie; in accordo con quanto riportato da Marimuthu,

Sudha and Balakrishnan (2017), *H. erinaceus* presenta il contenuto maggiore di fenoli tra le specie analizzate. Questo ha permesso di confermare, anche grazie a studi recenti, le eccellenti qualità organolettiche della specie, i suoi importanti valori nutrizionali e le potenziali applicazioni nel settore farmaceutico grazie alla presenza di questi composti. I fenoli sono molecole termosensibili: sono state confermate variazioni nel contenuto fenolico della specie a seguito di essiccamento ad elevate temperature, analogamente ai risultati di studi condotti sulla variazione dello stesso contenuto in altri funghi, frutta e semi. In *H. erinaceus* sono stati quantificati i principali acidi fenolici quali l'acido gallico, composto fenolico prevalente con un contenuto di 21,5 µg/g dw (Gąsecka *et al.*, 2019).

È stato evidenziato che, a seguito della digestione gastrointestinale, *H. erinaceus* ha mantenuto le proprietà antiossidanti, subendo una riduzione della stessa attività correlata alla diminuzione del contenuto fenolico presente nei campioni (Gąsecka *et al.*, 2019). Durante la digestione, gli acidi fenolici possono subire modificazioni strutturali, causate dalle drastiche variazioni di pH (Heleno *et al.*, 2015). Secondo quanto segnalato da Gąsecka *et al.* (2019), nonostante l'essiccamento sia un ottimo metodo di conservazione di questi alimenti, le elevate temperature conducono alla riduzione del contenuto di metaboliti bioattivi e delle proprietà antiossidanti, in particolare di acidi fenolici, acidi organici ed ergosterolo. Wong *et al.* (2009) hanno precedentemente riscontrato, attraverso un processo di essiccamento in forno a temperature preimpostate di corpi fruttiferi di *H. erinaceus*, un aumento nel rilascio di prodotti bioattivi, ritenendo l'aumento di temperatura causa della formazione di prodotti di Maillard, responsabili di un incremento delle proprietà antiossidanti.

Tocoferoli sono altre molecole antiossidanti con importanti effetti contro patologie degenerative, cancro, malattie cardiovascolari; tra queste molecole l'isoforma  $\alpha$  è stata trovata in quantità maggiori in *H. erinaceus*, mentre le isoforme  $\beta$  e  $\gamma$  sono state isolate in tracce diversamente dall'isoforma  $\delta$  ritrovata invece in *H. coralloides* (Heleno *et al.*, 2015).

Per quanto riguarda gli acidi organici, il contenuto maggiore è stato osservato in esemplari freschi, i componenti più rappresentativi sono acido acetico e chinico, in concentrazione tale da rappresentare più del 95% del totale (Gąsecka *et al.*, 2019). Anche gli acidi ossalico, malico e fumarico sono stati quantificati ottenendo una netta differenza nel loro contenuto, dal momento che è presente quasi esclusivamente dall'acido malico, contrariamente ad *H. coralloides* dotato di un profilo più bilanciato (Heleno *et al.*, 2015).

### **3.6 Composti micotici**

Micelio e corpo fruttifero di *H. erinaceus* sono fonti di composti bioattivi, quali erinacine, steroidi, alcaloidi, lattoni, composti aromatici (Friedman, 2015).

Attraverso un processo di estrazione con solventi organici è stato possibile isolare metaboliti secondari a basso peso molecolare da colture miceliali e corpi fruttiferi. *H. erinaceus* produce due classi di composti terpenoidi di particolare interesse farmacologico, gli ericenoni, un gruppo di composti aromatici isolati dal corpo fruttifero, e le erinacine, un gruppo di diterpenoidi di tipo ciatano isolati nel micelio (Ma *et al.*, 2010). Entrambi i gruppi di sostanze attraversano facilmente la barriera emato-encefalica e sono stati indicati avere effetti neurotrofici e in alcuni casi neuroprotettivi; sono inoltre segnalati come induttori della sintesi del fattore di crescita nervoso (NGF), sia *in vitro* che *in vivo* (Thongbai *et al.*, 2015). Non tutti questi composti, tuttavia, sono in grado di promuovere la sintesi di NGF dal momento che le molecole responsabili di questo meccanismo sembrano essere erinacine A-I dal micelio, ed ericenoni C-D dallo sporoforo (Corana *et al.*, 2019). Le erinacine rappresentano i composti con maggiore attività induttiva per la sintesi di NGF, come dimostrato da Ma *et al.* (2010). L'erinacina A, il principale rappresentante del gruppo descritto, ha dimostrato di avere un efficace effetto protettivo contro il morbo di Parkinson (Chiu *et al.*, 2018). Oltre a ericenoni ed erinacine, troviamo nel corpo fruttifero: erinacerine A e B, composti aromatici clorurati e alcuni piranoni con attività citotossica nei confronti di cellule neoplastiche (Thongbai *et al.*, 2015). Ericenoni ed erinacine risultano assenti nel primordio (Corana *et al.*, 2019).

Tra le molecole con bioattività prodotte da questa specie sono state segnalate anche erinacerine isoindolina-1, un gruppo di metaboliti secondari con azione inibitoria sulla crescita di cellule tumorali, erinaceolattoni ed erinacerina che è risultata essere una sostanza racemo (Friedman, 2015; Ma *et al.*, 2010).

Le caratteristiche strutturali e le attività biologiche significative delle erinacine rendono questi metaboliti interessanti per la loro produzione, tuttavia, i metodi di sintesi limitano la loro applicazione commerciale. Attualmente, la fermentazione è un buon processo per ottenere erinacine per un ulteriore sfruttamento (Ma *et al.*, 2010).

Vista la similarità strutturale di ericeni ed ericenoni si è ipotizzato un meccanismo di biotrasformazione che attraverso l'ossidazione degli ericeni, prevede la formazione di ericenoni nel corso della formazione e sviluppo dei corpi fruttiferi (Corana *et al.*, 2019).

#### 4. EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

L'utilizzo di *H. erinaceus* ha una lunga storia nella medicina tradizionale cinese e viene utilizzato grazie ai suoi effetti benefici sulla salute umana in diverse regioni asiatiche come alimento e medicinale (Sujata *et al.*, 2021). Integratori alimentari prodotti con estratti fungini sono presenti in commercio principalmente per migliorare le funzioni immunitarie, evidenziando l'importanza dei funghi in ambito farmaceutico (Sujata *et al.*, 2021).

I corpi fruttiferi sono una fonte preziosa di composti bioattivi e hanno dimostrato di possedere attività antiossidanti, antitumorali, immunomodulatorie e antiinfiammatorie, con possibili applicazioni nel trattamento dell'Alzheimer (Gonkhom *et al.*, 2022).

Gli studi condotti su questo fungo stanno assumendo interesse, in particolare sulle sue proprietà di promuovere la salute, tra tutte, l'attività più caratteristica è quella neuroprotettiva: diverse molecole sembrano responsabili di questa proprietà, agendo con meccanismi differenti. Maggiore attenzione è stata rivolta nei confronti di ericenoni ed erinacine le cui attività hanno dimostrato di promuovere la biosintesi dell'mRNA di NGF, fattore neurotrofico coinvolto nello sviluppo e nel mantenimento delle cellule neuronali, e di sostenere la formazione sinaptica, favorendo la memoria (Thongbai *et al.*, 2015). NGF di per sé non ha la capacità di attraversare la barriera emato-encefalica quindi di agire a livello del SNC, diversamente da questi metaboliti che attraversata la barriera favoriscono il rilascio del fattore in modalità concentrazione-dipendente: il meccanismo di induzione resta tuttavia ancora da identificare (Thongbai *et al.*, 2015). È noto che deficit funzionali di NGF sono considerati in qualche modo associati alla malattia di Alzheimer (AD) e alcuni studi hanno messo alla luce la potenzialità di *H. erinaceus* nel trattamento di AD e altre disfunzioni cognitive, quali Parkinson e demenza, tanto che questa specie fungina è stata inserita nella lista "Nature's Nutrient for the Neurons" (Chong *et al.*, 2019; Kumar, 2022; Thongbai *et al.*, 2015). È stato infatti evidenziato che l'attività di erinacine e altri composti hanno ridotto la formazione della placca  $\beta$ -amiloide migliorando anche deficit comportamentali relazionati all'AD, suggerendone il potenziale terapeutico per la cura della patologia (Deshmukh *et al.*, 2021). Da uno studio riportato da Khan *et al.* (2013), la somministrazione di polvere di *H. erinaceus* per la prevenzione e il trattamento di demenza e altre condizioni neurodegenerative, ha dimostrato azione protettiva contro il danneggiamento indotto da peptide  $\beta$ -amiloide sulla memoria a breve termine e sul riconoscimento visivo in topi, confermati poi da altri studi riportati dallo stesso autore.

Grazie al profilo nutrizionale e alle proprietà dei metaboliti di *H. erinaceus*, questo fungo trova possibili applicazioni come alimento funzionale in soggetti diabetici, obesi e persone con malattie cardiovascolari (Kumar, 2022; Ouali *et al.*, 2023). Estratti miceliali e di corpi fruttiferi ottenuti da questa specie hanno dimostrato che può esercitare un'azione ipoglicemizzante, determinando l'incremento della

concentrazione di insulina e la riduzione del glucosio ematico, e ipolipidemizzante migliorando il metabolismo lipidico attraverso la riduzione di LDL e trigliceridi a favore dei livelli di HDL, con un effetto complessivo di riduzione dei livelli ematici di colesterolo e trigliceridi (Chaturvedi *et al.*, 2018; Thongbai *et al.*, 2015). Poiché attraverso la regolazione del metabolismo lipidico è possibile intervenire su condizioni patologiche, estratti di *H. erinaceus* mostrano un potenziale inibitorio sull'aggregazione piastrinica con azione preventiva o terapeutica su ictus e infarto miocardico (Chaturvedi *et al.*, 2018; Deshmuckh *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2013). Studi clinici non sono ancora disponibili ma i risultati degli studi descritti indicano il potenziale di questo fungo nel trattamento di disturbi metabolici e malattie cardiovascolari (Thongbai *et al.*, 2015).

Le proprietà benefiche del fungo si trovano spesso correlate a quella che è la sua attività antiossidante: questa azione viene esercitata sullo stress ossidativo, meccanismo implicato in numerose patologie comprese neoplasie, neurodegenerazione, malattie cardiovascolari (Khan *et al.*, 2013; Thongbai *et al.*, 2015). I polisaccaridi di *H. erinaceus*, grazie alla loro attività antiossidante, hanno evidenziato effetti epatoprotettivi e sull'invecchiamento, riducendo inoltre la fatica muscolare; questi processi sono accompagnati rispettivamente da un ripristino strutturale degli epatociti, riduzione di lipofuscina, un catabolita che si accumula nelle cellule, responsabile di atrofia cellulare, e un aumento del glicogeno tissutale con la diminuzione di parametri biochimici legati all'affaticamento, come la concentrazione ematica di acido lattico (He *et al.*, 2017). Associata a questa proprietà si evidenzia anche la capacità di ridurre danni ossidativi indotti da riperfusione ischemica renale, e una attività antiiperglicemica legata probabilmente all'inibizione di ROS (specie reattive dell'ossigeno), responsabili di stress ossidativo e spesso correlati a danni epatici (Friedman, 2015; He *et al.*, 2017). Il potenziale antiossidante della specie è fortemente legato al contenuto fenolico totale del micete, che risulta maggiore in estratti miceliali (Thongbai *et al.*, 2015).

Tra le sue attività, anche l'immunomodulazione si trova spesso relazionata a meccanismi antiossidanti e contribuisce alle proprietà antimicrobiche *H. erinaceus*; estratti del fungo hanno stimolato l'attivazione di macrofagi, determinando effetti protettivi gastrointestinali contro batteri patogeni del tratto digerente, come *H. pylori*, *S. typhimurium*, diversamente da alcuni ceppi di *E. coli* che non sono risultati soggetti a inibizione (Friedman, 2015). Questo permetterebbe un possibile impiego della specie per migliorare la sicurezza alimentare e ridurre la diffusione o gravità di malattie infettive (Friedman, 2015). È stata studiata l'inibizione della crescita di batteri Gram positivi e Gram negativi da parte di estratti del fungo, osservando la perdita di attività antimicrobica in estratti di corpi fruttiferi essiccati in forno (Deshmuckh *et al.*, 2021).

L'infiammazione rappresenta uno dei maggiori meccanismi difensivi innati dell'ospite, utilizzati per segnalare alterazioni negative possono tuttavia tradursi

in condizioni dannose, favorendo talvolta l'insorgenza di patologie; tra le molecole identificate in questo fungo, erinacina C è un noto metabolita antiinfiammatorio neuroprotettivo (Deshmuckh *et al.*, 2021). Si evidenzia, infatti, che la somministrazione orale di *H. erinaceus* ha migliorato le condizioni infiammatorie intestinali (colite), anche se resta da definire la dose minima efficace. Estratti con attività antiinfiammatoria sulla microglia sono stati valutati per potenziali applicazioni neuroprotettive ed antiinfiammatorie nell'ambiente neurogliale (Deshmuckh *et al.*, 2021). Diversi studi riportati da Deshmuckh *et al.* (2021) hanno invece confermato differenti gradi di efficacia dei metaboliti ed estratti del fungo contro la crescita microbica, suggerendo grazie all'attività antiinfiammatoria, il potenziale impiego per il trattamento di infezione polmonari, anche da COVID-19.

Anche le funzioni antitumorali mediate da polisaccaridi e altri metaboliti della specie risultano correlate all'attivazione di cellule e meccanismi immunitari o immunomodulatori (Thongbai *et al.*, 2015). Diversi metaboliti di *H. erinaceus* hanno inibito lo sviluppo di tumori attraverso l'apoptosi di cellule neoplastiche, l'arresto del ciclo cellulare e la stimolazione di elementi immunitari come macrofagi, cellule dendritiche, cellule T (linfociti) e cellule nK (natural killer) (He *et al.*, 2017; Thongbai *et al.*, 2015). Da uno studio riportato da Friedman (2015) è emerso che attraverso l'iniezione di estratti della specie fungina a livello peritoneale, c'è stata una regressione significativa della massa tumorale associata alle risposte immunomodulatorie. L'efficacia e gli scarsi o nulli effetti tossici dei metaboliti di *H. erinaceus*, conferiscono a questa specie la potenzialità di rappresentare delle alternative naturali future, poco invasive, rispetto a farmaci o cure chemioterapiche (Thongbai *et al.*, 2015).

Sono stati evidenziati ulteriori effetti di metaboliti bioattivi di *H. erinaceus* comprendendo attività erbicida, effetti protettivi sul tratto digerente con riduzione dell'ulcera gastrica ed esofagea, inoltre sembra sopprimere e prevenire la malattia di Crohn (infiammazione pareti intestinali) (Deshmuckh *et al.*, 2021; Thongbai *et al.*, 2015).

Diterpeni ed erinacine hanno mostrato attività antiproliferativa nei confronti di cellule leucemiche (Friedman, 2015); erinacine hanno anche proprietà antiinfiammatorie, antiossidanti, neuroprotettive, neurotrofiche e antitumorali (Deshmuckh *et al.*, 2021). Gli ericenoni C, D, E, H hanno mostrato attività stimolante la biosintesi di NGF *in vitro*, mentre ericenoni F e G non stimolano la sintesi di NGF nelle stesse condizioni. Studi condotti su alcune di queste molecole hanno rilevato che la loro capacità di stimolare la biosintesi di NGF risultava addirittura maggiore del potenziale espresso da epinefrina, nota molecola stimolatrice usata come controllo (Deshmuckh *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2010; Thongbai *et al.*, 2015). Ericenoni A e B sono responsabili invece di attività antitumorale esibendo citotossicità nei confronti di cellule neoplastiche (Thongbai *et al.*, 2015).

Isoericenolo A è un altro metabolita con la capacità di determinare l'incremento dell'espressione di NGF e sinaptofisina (Deshmuckh *et al.*, 2021).

I lipopolisaccaridi isolati da miceli hanno dimostrato attività antiossidante in esperimenti condotti su topi (Thongbai *et al.*, 2015)

I  $\beta$ -glucani di *H. erinaceus* hanno la capacità di promuovere la rigenerazione di nervi periferici, di aumentare le attività di enzimi antiossidanti e di ridurre la perossidazione lipidica e l'invecchiamento cutaneo (Thongbai *et al.*, 2015).

Uno studio riportato da Thongbai *et al.* (2015) ha valutato gli effetti della somministrazione orale di polvere di corpi fruttiferi di *H. erinaceus* a un gruppo di pazienti di 50-80 anni soggetti a decadimento cognitivo lieve, ottenendo importanti miglioramenti con prevenzione nei soggetti trattati con il fungo. Il medesimo studio condotto su topi ha ottenuto risultati di prevenzione su demenza e riduzione del deterioramento cognitivo delle regioni coinvolte nel riconoscimento spaziale e nella memoria a breve termine, mediante la somministrazione di compresse a base del fungo.

Uno studio condotto su pazienti con malattia di AD lieve trattati con 3 capsule al giorno di *H. erinaceus* arricchite con erinacina A, ha evidenziato un miglioramento cognitivo sui soggetti (Deshmuckh *et al.*, 2021).

## 5. INDUSTRIA ALIMENTARE

*H. erinaceus* ha trovato diverse applicazioni come ingrediente in grado di promuovere la salute, in combinazione ad estratti di piante e altri funghi medicinali, disponibile in diverse forme come bevande, polveri, capsule e pillole (Thongbai *et al.*, 2015). La sua efficienza di crescita in differenti substrati, anche a basso costo e su larga scala, ne favorisce la produzione di massa (Thongbai *et al.*, 2015), tanto che la coltivazione del genere *Hericium* si è sviluppata in alcuni Paesi a livello commerciale garantendo importanti guadagni a chi se ne occupa (Gonkhom *et al.*, 2021).

Come riportato da Khan *et al.* (2013), i funghi sono da tempo riconosciuti come alimenti riconosciuti per le proprietà organolettiche, oltre che per le caratteristiche nutrizionali e per gli effetti sulla salute umana. Dal punto di vista organolettico *H. erinaceus* è apprezzato per l'aroma che ricorda frutti di mare come granchio o aragosta, mentre la consistenza è carnosa, dura e acquosa (Thongbai *et al.*, 2015). Grazie a queste caratteristiche è impiegato tradizionalmente in Cina per la produzione di tè o infusi utilizzati per migliorare le funzioni epatiche, disturbi gastrici e prevenire il diabete (Thongbai *et al.*, 2015). Il corpo fruttifero della specie viene principalmente consumato nei Paesi dell'est asiatico come contorno o ingrediente di insalate e zuppe, (Kumar, 2022).

Estratti ottenuti da corpi fruttiferi secchi e da colture miceliali trovano impegno nella preparazione di bevande salutari, quali l'“houtou”, una bevanda sportiva impiegata nel 1990 all'11° Festival dello Sport Asiatico da atleti cinesi, con effetti positivi su digestione e vigore (Imtiaj *et al.*, 2008), t  con benefici sulla funzionalit  epatica e sulla prevenzione del diabete (Thongbai *et al.*, 2015). Una polvere ottenuta dai miceli di *H. erinaceus* ed altre specie fungine   stata utilizzata come additivo al pane, ottenendo rispetto al classico pane bianco una leggera riduzione del volume, differente colorazione, un contenuto maggiore di aspartato e glutammato, riscontrando valori significativi di GABA ed ergotiene, senza alterarne negativamente la consistenza (Ulzijekal *et al.*, 2013).

Altre applicazioni alimentari hanno comportato l'utilizzo di processi fermentativi utilizzando come substrato *H. erinaceus* per la produzione di vino e aceto a base di funghi. Il vino   stato prodotto con un tasso alcolemico del 16% e, a seguito di adeguate valutazioni,   stato accettato per le propriet  organolettiche; da questo   stato poi prodotto un aceto contenente acido acetico, malico e succinico, dotato di attivit  antiossidanti correlate probabilmente al contenuto fenolico comparabile a quello di aceti presenti in commercio (Friedman, 2015). Attraverso la fermentazione   stata prodotta anche una bevanda analcolica a base del micete, nella quale la formazione di glutammato e GABA suggeriscono il possibile impiego del fungo per la produzione di bevande fermentate di alta qualit  con bassi costi (Friedman, 2015).

Lo sviluppo di nuovi approcci come le tecnologie di fermentazione pu  supportare la produzione di composti dal valore aggiunto dai funghi e i metaboliti di *H. erinaceus* rappresentano, in questo ambito, un'importante risorsa nello sviluppo di composti versatili con potenziale farmaceutico (Deshmukh *et al.*, 2021). I polisaccaridi di *H. erinaceus* in particolare, vista la loro bioattivit , potrebbero essere integrati in formulazioni farmaceutiche, tanto che la CFDA (China Food and Drug Administration) ha gi  brevettato un grande quantitativo di prodotti per la salute; altri prodotti sono stati approvati in USA, Giappone e Corea del Sud con effetti benefici sul tratto gastrointestinale (He *et al.*, 2017). I composti bioattivi di *H. erinaceus* hanno trovato applicazioni nello sviluppo di integratori alimentari di alto valore, medicine alternative e nella terapia nutrizionale con una vasta gamma di effetti sulla salute (Ferraro *et al.*, 2021; Thongbai *et al.*, 2015).

Studi condotti su persone volontarie hanno evidenziato che il valore biologico delle micoproteine   simile a quello fornito dalle proteine del latte, costituendo quindi una soddisfacente e sostenibile fonte proteica alternativa per sostituire alimenti a base animale poco ecosostenibili (Ouali *et al.*, 2023).

Polisaccaridi bioattivi di questo fungo sono stati inseriti come ingredienti di alcuni prodotti salutari quali polveri sostitutive i pasti, compresse masticabili, bevande solide, promuovendo la salute senza effetti collaterali (He *et al.*, 2017).

*Hericium* ha assunto importanza economica, anche grazie alla sua capacit  di crescita su scarti organici ed alimentari che ne permettono un maggiore

sfruttamento; *Hericium* è coltivato sia tramite i metodi di coltura indoor che outdoor, mostrando inoltre come attraverso la coltura sommersa sia possibile ridurre i costi a valle incrementando i prodotti bioattivi, in particolare con alte rese di massa miceliale e di erinacine (Gonkhom *et al.*, 2021, Thongbai *et al.*, 2015).

Appare quindi che entrambe le parti del fungo (corpo fruttifero e micelio) siano provviste di nutrienti utili e composti bioattivi, permettendone un utilizzo come risorsa in cibi e farmaceutici o nutraceutici (Friedman, 2015). Vista la differente composizione di micelio e corpo fruttifero, oltre che dei diversi taxa, si ritiene che la combinazione di differenti specie possa ottimizzare i potenziali nutrizionali e salutari forniti (Friedman, 2015).

Grazie alla loro disponibilità e lo scarso impatto ambientale potrebbero contribuire alla sicurezza alimentare e allo sviluppo sostenibile (Ouali *et al.*, 2023).

## 6. BIBLIOGRAFIA

Badalyan, S. and Borhani, A. (2019) 'Morphological and growth characteristics of mycelial collections of medicinal xylotrophic mushrooms (Agaricomycetes) distributed in forests of Northern Iran', *Proceedings of the YSU B: Chemical and Biological Sciences* 53(2 (249)), pp. 97-106. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/334812051\\_MORPHOLOGICAL\\_AND\\_GROWTH\\_CHARACTERISTICS\\_OF\\_MYCELIAL\\_COLLECTIONS\\_OF\\_MEDICINAL\\_XYLOTROPHIC\\_MUSHROOMS\\_AGARICOMYCETES\\_DISTRIBUTED\\_IN\\_FORESTS\\_OF\\_NORTHERN\\_IRAN](https://www.researchgate.net/publication/334812051_MORPHOLOGICAL_AND_GROWTH_CHARACTERISTICS_OF_MYCELIAL_COLLECTIONS_OF_MEDICINAL_XYLOTROPHIC_MUSHROOMS_AGARICOMYCETES_DISTRIBUTED_IN_FORESTS_OF_NORTHERN_IRAN)

Chaiyasut, C. *et al.* (2018) 'Lactobacillus fermentum HP3–Mediated Fermented *Herichium erinaceus* Juice as a Health Promoting Food Supplement to Manage Diabetes Mellitus', *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*, 23, p. 2515690X18765699. Available at: <https://doi.org/10.1177/2515690X18765699>.

Chaturvedi, V.K. *et al.* (2018) 'Medicinal mushroom: boon for therapeutic applications', 3 *Biotech*, 8(8), p. 334. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1358-0>.

Chiu, C.-H. *et al.* (2018) 'Erinacine A-Enriched *Herichium erinaceus* Mycelium Produces Antidepressant-Like Effects through Modulating BDNF/PI3K/Akt/GSK-3 $\beta$  Signaling in Mice', *International Journal of Molecular Sciences*, 19(2), p. 341. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms19020341>.

Cohen, N. *et al.* (2014) 'Chemical Composition and Nutritional and Medicinal Value of Fruit Bodies and Submerged Cultured Mycelia of Culinary-Medicinal Higher Basidiomycetes Mushrooms', *International journal of medicinal mushrooms*, 16, pp. 273–291. Available at: <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v16.i3.80>.

Corana, F. *et al.* (2019) 'Array of Metabolites in Italian *Herichium erinaceus* Mycelium, Primordium, and Sporophore', *Molecules*, 24(19), p. 3511. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules24193511>.

Boddy, L. and Wald, P. (2003) '*Creolophus* (= *Herichium*) *cirrhatum*, *Herichium erinaceus* and *H. coralloides* in England - ENRR492', *Natural England - Access to Evidence*. Available at: <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/142020>

Donk, M.A. (1964) 'A conspectus of the families of Aphylophorales', *Persoonia - Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 3(2), pp. 199–324a. <https://repository.naturalis.nl/pub/532067#:~:text=A%20conspectus%20of%20the%20families%20of%20Aphylophorales%20Persoonia,is%20not%20%28yet%29%20prepared%20to%20uphold%20are%20discussed>.

Fernandes, T. *et al.* (2021) 'Mushroom Nutrition as Preventative Healthcare in Sub-Saharan Africa', *Applied Sciences*, 11(9), p. 4221. Available at: <https://doi.org/10.3390/app11094221>.

Finnigan, T.J. *et al.* (2019) 'Mycoprotein: The Future of Nutritious Nonmeat Protein, a Symposium Review', *Current Developments in Nutrition*, 3(6), p. nzz021. Available at: <https://doi.org/10.1093/cdn/nzz021>.

Friedman, M. (2015) 'Chemistry, Nutrition, and Health-Promoting Properties of *Hericium erinaceus* (Lion's Mane) Mushroom Fruiting Bodies and Mycelia and Their Bioactive Compounds', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(32), pp. 7108–7123. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02914>.

Gąsecka, M. *et al.* (2020) 'The effect of drying temperature on bioactive compounds and antioxidant activity of *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray and *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers.', *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), pp. 513–525. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04081-1>.

Gonkhom, D. *et al.* (2021) 'Hericium: A review of the cultivation, health-enhancing applications, economic importance, industrial, and pharmaceutical applications', *Fungal Biotech*, 1, pp. 115–127. Available at: <https://doi.org/10.5943/FunBiotec/1/2/8>.

Gonkhom, D. *et al.* (2022) 'Optimal conditions for mycelial growth of medicinal mushrooms belonging to the genus *Hericium*', *Mycological Progress*, 21(9), p. 82. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11557-022-01829-6>.

Grace, J. and Mudge, K.W. (2015) 'Production of *Hericium* sp. (Lion's Mane) mushrooms on totem logs in a forest farming system', *Agroforestry Systems*, 89(3), pp. 549–556. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9790-1>.

He, X. *et al.* (2017) 'Structures, biological activities, and industrial applications of the polysaccharides from *Hericium erinaceus* (Lion's Mane) mushroom: A review', *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, pp. 228–237. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.040>.

Heleno, S.A. *et al.* (2015) 'Chemical composition, antioxidant activity and bioaccessibility studies in phenolic extracts of two *Hericium* wild edible species', *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), pp. 475–481. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.040>.

Deshmukh, S.K. *et al.* (2021) 'Hericium erinaceus - A Rich Source of Diverse Bioactive Metabolites' *Fungal Biotech*, 1(2), pp. 10–38. Available at: <https://doi.org/10.5943/FunBiotec/1/2/2>.

Imtiaj, A. *et al.* (2008) 'Vegetative Growth of Four Strains of *Hericium erinaceus* Collected from Different Habitats', *Mycobiology*, 36(2), pp. 88–92. Available at: <https://doi.org/10.4489/MYCO.2008.36.2.088>.

Joradon, P. *et al.* (2022) 'Ergosterol Content and Antioxidant Activity of Lion's Mane Mushroom (*Hericium erinaceus*) and Its Induction to Vitamin D2 by UVC-Irradiation:', in *Proceedings of the 8th International Conference on Agricultural and Biological Sciences. The International Conference on Agricultural and Biological Sciences*, Shenzhen, China: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, pp. 19–28. Available at: <https://doi.org/10.5220/0011594600003430>.

Jumbam, B. *et al.* (2019) 'A new and unusual species of *Hericium* (Basidiomycota: Russulales, Hericiaceae) from the Dja Biosphere Reserve, Cameroon', *Mycological Progress*, 18(10), pp. 1253–1262. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11557-019-01530-1>.

Khan, M.A. *et al.* (2013) 'Hericium erinaceus: an edible mushroom with medicinal values', *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 10(1), pp. 253–258. Available at: <https://doi.org/10.1515/jcim-2013-0001>.

Koski-Kotiranta, S. and Niemelä, T. (1987) 'Hydnaceous fungi of the Hericiaceae, Auriscalpiaceae and Climacodontaceae in northwestern Europe', *Karstenia*, 27(2), pp. 43–70. Available at: <https://doi.org/10.29203/ka.1987.253>.

Kumar, S. (2022) 'Evaluation of *Hericium erinaceus* (Lion's Mane) mushroom strains on different substrates', *The Pharma Innovation Journal 2022*, 11(6), pp. 379-384. Available at: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue6/PartF/11-5-317-791.pdf>

Liu, J. *et al.* (2022) 'Bioactivities and molecular mechanisms of polysaccharides from *Hericium erinaceus*', *Journal of Future Foods*, 2(2), pp. 103–111. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.03.007>.

Ma, B.-J. *et al.* (2010) 'Hericenones and erinacines: stimulators of nerve growth factor (NGF) biosynthesis in *Hericium erinaceus*', *Mycology*, 1(2), pp. 92–98. Available at: <https://doi.org/10.1080/21501201003735556>.

Marimuthu, C., Sudha, G. and Balakrishnan, P. (2017) 'IN VITRO ANTIOXIDANT ACTIVITY ANALYSIS IN HERICIUM ERINACEUS PERS FRUITING BODIES', *International Journal of Pharmacy and Technology*, 9, pp. 30118–128. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/323907238\\_IN\\_VITRO\\_ANTIOXIDANT\\_ACTIVITY\\_ANALYSIS\\_IN\\_HERICIUM\\_ERINACEUS\\_PERS\\_FRUITING\\_BODIES](https://www.researchgate.net/publication/323907238_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_ACTIVITY_ANALYSIS_IN_HERICIUM_ERINACEUS_PERS_FRUITING_BODIES)

Otto, P. (2011) 'Ecology and chorology of 51 selected fungal species', *European Council for the Conservation of Fungi*. Available at: [http://www.eccf.eu/Otto\\_P\\_draft\\_ecology\\_5\\_4\\_2011.pdf](http://www.eccf.eu/Otto_P_draft_ecology_5_4_2011.pdf)

Ouali, Z. *et al.* (2020) 'First report of the rare tooth fungus *Hericium erinaceus* in North African temperate forests', *Plant Biosystems - An International Journal*

*Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 154(1), pp. 24–28. Available at: <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1549604>.

Ouali, Z. *et al.* (2023) 'Chemical composition and nutritional value of nine wild edible mushrooms from Northwestern Tunisia', *Italian Journal of Mycology*, 52, pp. 32–49. Available at: <https://doi.org/10.6092/issn.2531-7342/15649>.

Qin, T. *et al.* (2020) 'Characterization of polysaccharides isolated from *Herichium erinaceus* and their protective effects on the DON-induced oxidative stress', *International Journal of Biological Macromolecules*, 152, pp. 1265–1273. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.223>.

Spelman, K., Sutherland, E. and Bagade, A. (2017) 'Neurological Activity of Lion's Mane ( *Herichium erinaceus* )', *Journal of Restorative Medicine*, 6, pp. 19–26. Available at: <https://doi.org/10.14200/jrm.2017.6.0108>.

Sujata, W., Devi, S.N. and Mandal, S.C. (2021) 'Phytochemicals and Investigations on Traditionally Used Medicinal Mushrooms', in S.C. Mandal, R. Chakraborty, and S. Sen (eds) *Evidence Based Validation of Traditional Medicines: A comprehensive Approach*. Singapore: Springer, pp. 965–984. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8127-4\\_45](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8127-4_45).

Teng, F. *et al.* (2014) *Vitamin B12[c-lactone], a Biologically Inactive Corrinoid Compound, Occurs in Cultured and Dried Lion's Mane Mushroom (*Herichium erinaceus*) Fruiting Bodies*, ACS Publications. American Chemical Society. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf404463v>.

Thongbai, B. *et al.* (2015) 'Herichium erinaceus, an amazing medicinal mushroom', *Mycological Progress*, 14(10), p. 91. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11557-015-1105-4>.

Ulziijargal, E. *et al.* (2013) 'Quality of bread supplemented with mushroom mycelia', *Food Chemistry*, 138(1), pp. 70–76. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.051>.

Valverde, M.E., Hernández-Pérez, T. and Paredes-López, O. (2015) 'Edible Mushrooms: Improving Human Health and Promoting Quality Life', *International Journal of Microbiology*, 2015, p. 376387. Available at: <https://doi.org/10.1155/2015/376387>.

Venturella, G. *et al.* (2021) 'Medicinal Mushrooms: Bioactive Compounds, Use, and Clinical Trials', *International Journal of Molecular Sciences*, 22(2), p. 634. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms22020634>.

Wang, J.C. *et al.* (2005) 'Hypoglycemic effect of extract of *Herichium erinaceus*', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(4), pp. 641–646. Available at: <https://doi.org/10.1002/jsfa.1928>.

Wong, K.H. *et al.* (2009) 'Effects of Cultivation Techniques and Processing on Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Hericium erinaceus* (Bull.:Fr.) Pers. Extracts', *Food Technology and Biotechnology*, 47(1), pp. 47-55. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/242470683\\_Effects\\_of\\_Cultivation\\_Techniques\\_and\\_Processing\\_on\\_Antimicrobial\\_and\\_Antioxidant\\_Activities\\_of\\_Hericium\\_erinaceus\\_BullFr\\_Pers\\_Extracts](https://www.researchgate.net/publication/242470683_Effects_of_Cultivation_Techniques_and_Processing_on_Antimicrobial_and_Antioxidant_Activities_of_Hericium_erinaceus_BullFr_Pers_Extracts)

Zhang, Y. *et al.* (2023) 'Effects of *Hericium erinaceus* Hedgehog mushroom on the endophytic microbial community of the host plant', *Journal of Basic Microbiology*, 63(1), pp. 92–103. Available at: <https://doi.org/10.1002/jobm.202200476>.

#### **SITOGRAFIA**

<https://www.speciesfungorum.org/Names/SynSpecies.asp?RecordID=356812>

<http://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=356812>

<http://www.mycobank.org/Simple%20names%20search>

<https://www.inaturalist.org/observations/22251773>

<https://www.inaturalist.org/observations/10099211>

<http://www.gbif.org/species/5248508>