

zaměřuje na odolnost ke stresu z nedostatku vody. Pro dlouhodobou revitalizaci půdy je nezbytná obnova její struktury a chemického složení, včetně aplikace organických hnojiv, mulčování a mikrobiálních aditiv, které podporují regeneraci půdní mikroflóry.

## Souhrn

Záplavy mají zásadní dopad na zemědělskou půdu i plodiny, přičemž snižují dostupnost kyslíku v půdě, narušují fyziologii rostlin a vedou ke změnám v chemických vlastnostech půdy. Tyto faktory přispívají k nižším výnosům, vyššímu výskytu chorob a degradaci půdní struktury. Změny v mikrobiálním společenstvu, které se přizpůsobují anaerobním podmínkám, dále zhoršují situaci a podporují růst patogenů, což vede k dlouhodobému snížení produktivity půdy.

S ohledem na budoucí vývoj klimatu, který pravděpodobně přinese více extrémních povětrnostních jevů, jako jsou častější a intenzivnější dešťové srážky, je nutné přizpůsobit zemědělské systémy a strategie na úrovni krajinného plánování. Klíčovými opatřeními jsou zlepšení vodního managementu v krajině, rozvoj biotechnologických řešení a zajištění dlouhodobé revitalizace půdních ekosystémů.

/Recenzováno/

## Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO1123.

## Literatura a odkazy

- Nasyčení půdního profilu – portál Intersucho. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/mapy/nasyzeni-pudniho-profilu/>. [cit. 2024-10-09].
- Literatura k tématu je k dispozici u autorů. Přesto přikládáme seznam stěžejních prací, které tvoří základ pro tento článek a poskytují hlubší pohled na problematiku vlivu záplav na půdu a plodiny.
- Conrad, R. (2007). Microbial ecology of methanogens and methanotrophs. *Advances in agronomy*, 96, 1-63.
- Fukao, T., & Bailey-Serres, J. (2004). Plant responses to hypoxia—is survival a balancing act?. *Trends in plant science*, 9(9), 449-456.
- Ricard, B., Couée, I., Raymond, P., Saglio, P. H., Saint-Ges, V., & Pradet, A. (1994). Plant metabolism under hypoxia and anoxia. *PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY-PARIS*, 32, 1-1.
- Sánchez-Rodríguez, A. R., Hill, P. W., Chadwick, D. R., & Jones, D. L. (2017). Crop residues exacerbate the negative effects of extreme flooding on soil quality. *Biology and fertility of soils*, 53, 751-765.
- Unger, I. M., Kennedy, A. C., & Muzika, R. M. (2009). Flooding effects on soil microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 42(1), 1-8.
- Unger, I. M., Motavalli, P. P., & Muzika, R. M. (2009). Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agriculture, ecosystems & environment*, 131(1-2), 105-110.

## Cordycipitaceae – méně známé houby agrosystémů jako kandidáti pro biologickou ochranu

(*Cordycipitaceae* – less known fungi of agro-systems as candidates for biological control)

Bleša Dominik, Antalová Zuzana, Matušinský Pavel, Zavřelová Marta  
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 76701 Kroměříž

**Souhrn:** Entomopatogenní houby rodu *Cordyceps* a jejich anamorfní stádia, jako *Beauveria bassiana* a *Lecanicillium lecanii*, jsou přirozenou součástí ekosystémů s vysokou úrovní biodiverzity, a to včetně zemědělských ekosystémů. V takových prostředích se mohou vyskytovat jako přirození regulátoři populací hmyzu. Tato vlastnost hraje klíčovou roli v udržování rovnováhy mezi škůdci a jejich predátory, čímž přispívají ke zdravému fungování ekosystému. Na polích s dostatečnou biodiverzitou se tyto houby mohou rozvíjet jako přirozená biologická agens regulující populaci škůdců, čímž snižují nutnost potřeby chemických pesticidů.

Často je můžeme nalézt jako endofytické organismy v pletivech rostlin, které chrání a podporují jejich růst. Také se stávají důležitou součástí půdního mikrobiomu. Přítomnost těchto hub zvyšuje celkovou odolnost agrosystému, protože zlepšují zdraví rostlin a snižují dopady environmentálních stresů. Výskyt hub rodu *Cordyceps* v produkčních systémech tak podporuje ekologickou stabilitu a dlouhodobou udržitelnost produkce.

**Klíčová slova:** *Cordyceps militaris*, *Lecanicillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, biologická ochrana, endofytismus, biotechnologie, ekologie

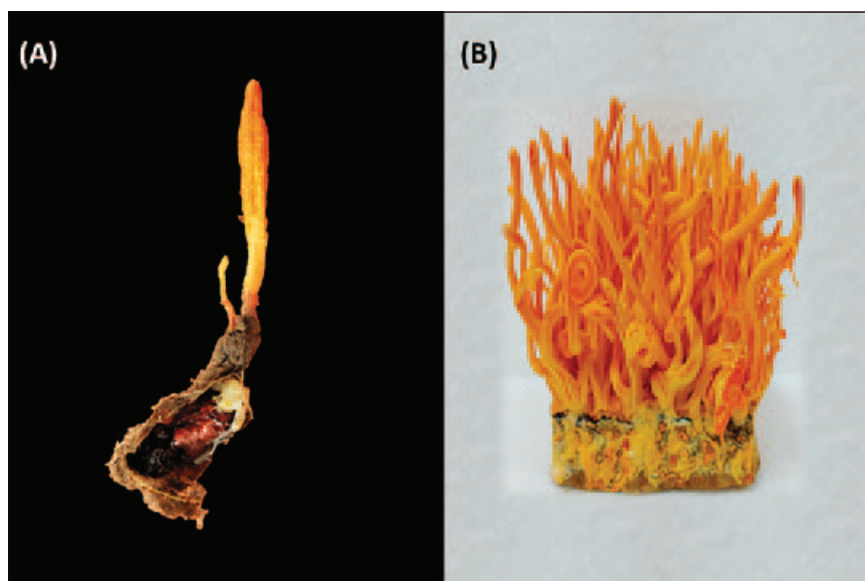
**Abstract:** Entomopathogenic fungi of the genus *Cordyceps* and their anamorphic stages, such as *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium lecanii*, are a natural part of ecosystems with a high level of biodiversity, including agricultural ecosystems. In such environments, they can occur as natural regulators of insect populations. This ability plays a key role in maintaining the balance between pests and their predators, thus contributing to the healthy functioning of the ecosystem. In fields with sufficient biodiversity, these fungi can be used as natural biological agents regulating pest populations, thus reducing the need for chemical pesticides.

They can often be found as endophytic organisms within the plant tissues, protecting and promoting plant growth. They also become an important part of the soil microbiome. The presence of these fungi increases the overall resilience of the agro-system by improving plant health and reducing the impact of environmental stresses. The presence of *Cordyceps* in production systems promotes ecological stability and the long-term sustainability of production.

**Key Words:** *Cordyceps militaris*, *Lecanicillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, biological control, endophytism, biotechnology, ecology

## Úvod

Houby rodu *Cordyceps* představují významnou skupinu entomopatogenních hub, které parazitují na hmyzu a dalších členovcích. Tato životní strategie z nich činí atraktivní organismy pro biologickou ochranu rostlin, protože mohou být využity k přirozené regulaci škůdců v zemědělských systémech. *Cordyceps militaris*, stejně jako odvozená anamorfní stádia, včetně druhů jako *Beauveria bassiana* a *Lecanicillium lecanii*, nacházejí uplatnění v biologické ochraně rostlin. *Beauveria bassiana* je například známá svou schopností infikovat širokou škálu škůdců, čímž snižuje závislost na chemických pesticidech a přispívá k udržitelnému zemědělství. Kromě toho některé anamorfní formy těchto hub, například *Lecanicillium lecanii*, mohou působit jako endofyty, kolonizovat rostliny a poskytovat jim ochranu před patogeny i hmyzími škůdci. Tyto houby mohou rovněž stimulovat růst rostlin a zlepšovat jejich odolnost vůči stresovým faktorům, čímž se jejich využití v agrosystémech stává ještě atraktivnějším.



Obr. 1: (A) Oranžové stroma housenice červené nalezené na louce v Bílých Karpatech parazitující na kukle hmyzu (foto: Bleša); (B) ukázka narostlých stromat komerční kultivace in vitro na organickém substrátu. Upraveno z Trung et al. (2024)

Historické zařazení rodu *Cordyceps* bylo v čeledi Clavicipitaceae. Samotný rod zahrnoval přes 400 druhů, které byly rozlišovány na základě morfologických znaků, podobné ekologické charakteristiky, hostitelské specifity a potenciálem pro biotechnologické aplikace. Rod byl také charakterizován produkcí dobře vyvinutých stromat a parazitickým vztahem k členovcům a houbám rodu *Elaphomyces* (rod jelenka). Molekulární fylogenetické analýzy na základě porovnávání více genů odhalily, že *Cordyceps* a Clavicipitaceae nejsou monofyletické, což vedlo k revizi jejich taxonomie. Byly navrženy nové čeledi, včetně Cordycipitaceae (s typovým druhem *Cordyceps militaris*) a Ophiocordycipitaceae, která zahrnuje druhy s tmavě pigmentovanými stromaty (např. *Ophiocordyceps sinensis*). Rovněž byly zavedeny nové rody, jako *Elaphocordyceps* a *Metacordyceps* (Sung et al. 2007).

Houby rodu *Cordyceps* zahrnují pohlavní a nepohlavní fáze s odlišnými ekologickými rolami funkcí a významem v ekosystémech. Kromě výše zmíněných anamorf *Beauveria bassiana* a *Lecanicillium lecanii* lze v polních ekosystémech nalézt i další anamorfní stádia tohoto druhu, například druhy *Metarhizium*, *Hirsutella*, *Himenostilbe*, *Isaria*, atd. Taxonomie skupiny neustále

prochází revizí v souvislosti s používáním fylogenetických analýz na základě molekulárních metod, které doplňují tradiční metody identifikace, u kterých však bývá obtížné získávání pohlavních stádií z relativně četně se vyskytujících anamorf.

V tomto textu jsou blíže představeny vybrané druhy čeledi Cordycipitaceae. Jako zástupce pohlavního stádia (teleomorfy) *Cordyceps militaris* a za nepohlavní stádia (anamorfy) *Lecanicillium lecanii* a *Beauveria bassiana*.

### **Cordyceps militaris – housenice červená**

Z biotechnologického hlediska zajímavou houbou je druh *Cordyceps militaris* – housenice červená, kterou můžeme nalézt na okrajích lesů, na loukách, v sadech, ale i na polích. Podobně jako housenice čínská (*Ophiocordyceps sinensis*) je housenice červená známá díky svému parazitickému životnímu cyklu na housenkách a jiných hmyzích larvách, a také pro využití v tradiční čínské medicíně. Na rozdíl od housenice čínské, která je endemním druhem vyšších nadmořských oblastí Himalájí, hostitelsky specifickým druhem se statutem ohroženého druhu a nemožností umělé kultivace, má housenice červená svůj areál výskytu na celé severní polokouli, vyznačuje se širším hostitelským spektrem a možností umělé kultivace (Obrázek 1).

Housenice červená patří do řádu Hypocreales v třídě Sordariomycetes. Typickým znakem je tvorba výrazných oranžovočervených plodnic – stromat, které rostou z těla infikovaného hmyzu. Plodnice jsou obvykle štíhlé a válcovité s výraznou hlavicí obsahující perithecia, ve kterých se nacházejí askospory. Housenice červená se vyskytuje v různých klimatických pásech, zejména v lesích a horských oblastech s vysokou vlhkostí. Její přirozené prostředí zahrnuje půdy bohaté na organickou hmotu, kde se může snadno dostat k hostitelskému hmyzu. Housenice červená hraje významnou roli v regulaci populací hmyzích hostitelů, čímž přispívá k udržování ekologické rovnováhy. Přirozeně může například redukovat výskyt housenek v sadech nebo dalších trvalých kulturách. Parazitické houby jako housenice červená pomáhají kontrolovat přemnožení některých druhů hmyzu. Houba může také interagovat

s jinými mikroorganismy v půdě, což ovlivňuje složení a funkce mikrobiální komunity (Zhang et al. 2021).

Housenice červená je dlouho využívána v tradiční čínské medicíně pro své léčivé účinky. Obsahuje bioaktivní sloučeniny jako kordycepin (3'-deoxyadenosin), polysacharidy a steroly, které mají různé zdravotní přínosy. Housenice červená se často používá jako doplněk stravy pro zvýšení fyzické výkonnosti, vytrvalosti a energie (Posha et al. 2020). Bylo pozorováno, že zlepšuje kyslíkovou kapacitu a metabolismus. Jednou z hlavních složek, jejíž terapeutická aplikace je zkoumána, je kordycepin, který má protinádorové, antioxidační, protizánětlivé a antimikrobiální vlastnosti (Hoang 2003). V době koronavirové krize byly metabolity housenice čínské zkoumány i pro svůj významný antivirový účinek (Verma et al. 2020; Bibi et al. 2021). Rovněž bylo pozorováno, že housenice červená je schopná vyšší produkce kordycepinu než její ohrožená příbuzná housenice čínská (Kontogiannatos et al. 2021; Raethong et al. 2018). Umělá kultivace housenice červené je tedy ekologičtější. Problémem je však ekonomický faktor, protože sběr housenice čínské je často jedinou formou výtěžku pro obyvatele jinak chudého regionu. Na trhu se cena housenice



činské pohybuje kolem 30 000 Kč za kilogram sušených stromat, naproti tomu stromata housenice červené z různých dálnovýchodních farem i za 2 000 Kč/kg. Je však potřeba prvotní biotechnologická a znalostní investice, kterou ovšem ve zmíněných nejchudších oblastech nemají.

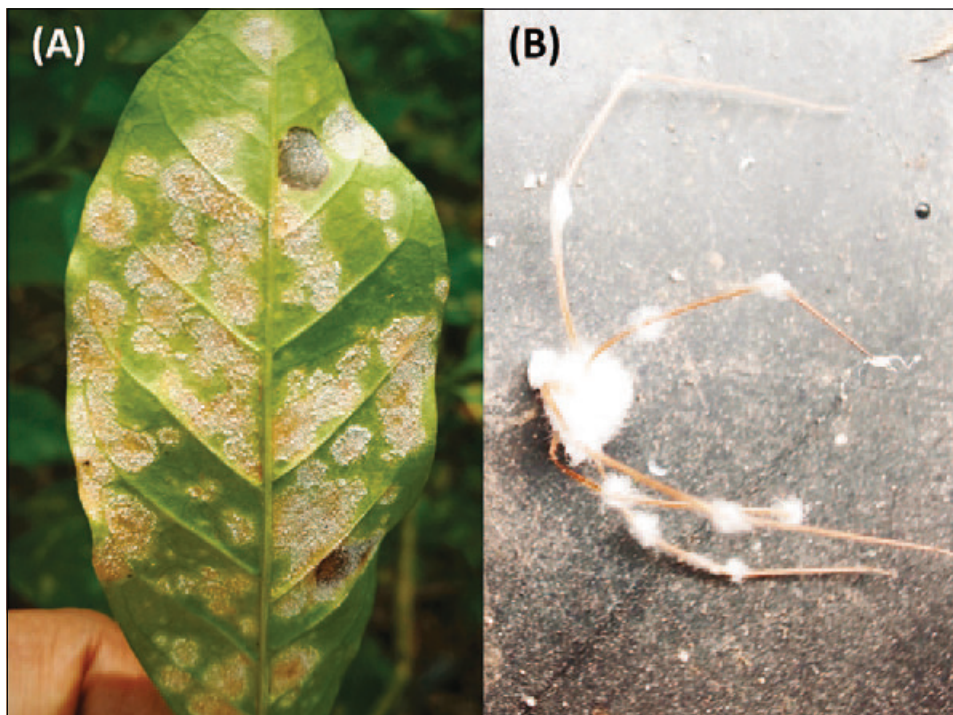
Na rozdíl od některých jiných druhů housenic lze housenici červenou relativně snadno kultivovat *in vitro*. Tato možnost usnadňuje její hromadnou produkci a stabilní produkci bioaktivních sloučenin pro komerční využití. Kultivace zahrnuje pěstování na substrátech bohatých na živiny, jako je rýže, obilí, ale i na slepičích vejcích nebo kuklách bource morušového. Problematická je ovšem z hlediska přerůstání vnitřními parazity nebo komezary (*Trichothecium* či *Calcisporium*), kteří produkují mykotoxiny a znehodnocují tak výsledné produkty. Předmětem vědeckého zájmu je i schopnost autoregulace, kdy již po jedné sezóně dochází ke ztrátě schopnosti tvořit stromata a postupné degradaci kultur i z biochemického hlediska. Kulturu novou lze získat spojením spor vhodných párovacích typů (ang. mating types; Vu 2023 Hoang 2003; Zu et al. 2023).

Jako entomopatogenní houba má housenice červená potenciál pro využití v biologické ochraně proti hmyzím škůdcům. Používání těchto přírodních houbových antagonistů může být z dlouhodobého hlediska efektivnější než spoléhání se na chemické pesticidy (Kryukov et al. 2014; Kim et al. 2002). V experimentech byl také pozorován herbicidní účinek extraktů z housenic. Sloučenina kordycepin účinně inhibuje růst rostlin, může být proto slibným přírodním zdrojem pro vývoj rostlinných herbicidů. V dávce 0,04 mg/ml vykazoval kordycepin vyšší inhibiční účinnost ve srovnání se syntetickým regulátorem růstu rostlin kyselinou benzoovou (ta je však využívána jako fumigační činidlo). Mechanismus účinku kordycepinu a jeho derivátů na různé plevele však není plně objasněn, přesto byly pozorovány kordycepinem změněné buněčné procesy v cílových rostlinách, jako je inhibice buněčného dělení, snížená propustnost membrán, uzavírání stomat a omezení absorpce živin. Snižuje také obsah chlorofylu a karotenoidů a zároveň zvyšuje obsah prolinu, fenolických látek a flavonoidů (Quy et al. 2019).

Housenice červená je houba s bohatým bioaktivním složením, širokým spektrem farmakologických vlastností a významnou ekologickou rolí. Její snadná kultivace a významné léčivé vlastnosti ji činí předmětem intenzivního vědeckého a komerčního zájmu.

### ***Lecanicillium lecanii***

*Lecanicillium lecanii*, dříve známá jako *Verticillium lecanii*, patří do řádu Hypocreales v třídě Sordariomycetes. Tradičně byla *Lecanicillium lecanii* (anamorfní forma) spojována s teleomorfoou *Cordyceps confragosa*, ale novější výzkumy, zejména na základě molekulární fylogenetiky, vedly k přeřazení do rodu *Akanthomyces*, a tak je dnes správně označení pro tuto houbu *Akanthomyces lecanii*. Tato houba tvoří bílé až nažloutlé kolonie na svých substrátech. Vyznačuje se tvorbou hyalinních konidioforů s lalokovitými spory, které se rozptylují vzduchem.



Obr. 2: (A) Abaxiální (spodní) strana listu kávovníku (*Coffea arabica*) s hyperparazitujícím *Lecanicillium lecanii* na patogenu *Hemileia vastatrix* způsobujícím rez (Das et al. 2024); (B) Častý výskyt *Lecanicillium lecanii* na svlečkách hmyzu i pavoukovců (foto: Bleša)

*Lecanicillium lecanii* se vyskytuje v různých prostředích, nejčastěji v tropických a subtropických oblastech, ale také i v mírném klimatickém pásu. Houba je entomopatogenní, což znamená, že parazituje na hmyzích škůdcích. Často kolonizuje rostliny a prorůstá půdu ve rhizosféře, načež slouží jako zdroj infekce pro škůdce, jako jsou mšice, molice a třásněnky. Houba infikuje hmyzí hostitele přímým kontaktem (Mirhaghpour et al. 2015; Zibae a Malagoli, 2014). Spory klíčí na povrchu hmyzu, prorůstají do těla a produkují toxiny, které hostitele usmrkují. Tím přispívá k likvidaci škůdců v zemědělství, funguje tedy jako biologické agens (Oliveira et al. 2019). Přípravky s obsahem infekčních částic této houby jsou komerčně dostupné a jsou využívány jako ekologicky šetrná alternativa k chemickým pesticidům. Použití *Lecanicillium lecanii* snižuje potřebu chemických pesticidů, čímž chrání životní prostředí a snižuje riziko vzniku rezistence škůdců na chemické látky. Mechanismus účinku je dán produkcí široké palety enzymů, které negativně ovlivňují imunitní reakce hmyzu, narušují tělní kompartmenty a kutikulu, takže způsobí úhyn přímo nebo umožní propuknutí sekundární infekce (Zhang et al. 2022; Firouzbakht et al. 2015). Jakožto přípravek na bázi živých organismů, je použití a efektivita závislá na podmínkách v období po aplikaci. Využití benefitů biologických agens je spjata se znalostí jejich životních cyklů, ale i cílových organismů – škůdců. Obecnou charakteristikou aplikace houbových organismů do venkovních prostor je snaha vyhnout se přímému slunečnímu záření a suchu, naopak optimální podmínky jsou při zastínění a vysoké vzdušné vlhkosti (Villarreyra et al. 2020).

Houba může také interagovat s jinými mikroorganismy v půdě, což ovlivňuje složení a funkce mikrobiální komunity a podporuje zdraví rostlin. V rostlinách indukuje tvorbu sekundárních metabolitů, které přímo působí proti patogenům a škůdcům, ale také v případě volatálních látek láká přirozené predátory škůdců (Samalet al. 2023). Symbióza s tímto druhem houby přináší rostlině ochranu před biotickým stresem díky přímému entomopatogennímu charakteru, ale i ochranu před abiotickým stresem produkcí

metabolitů, a také přispívá k celkovému zdraví půdy i díky rozkladu organické hmoty (Xie et al. 2019).

*Lecanicillium lecanii* má významný potenciál i v biologické ochraně rostlin proti houbovým patogenům. Bylo pozorováno, že inhibuje klíčení konidií různých patogenů, jako jsou *Cercospora arachidicola* a *Phaeoisariopsis personata*, což jsou časté houbové choroby na podzemnici olejné. *Lecanicillium lecanii* je rovněž schopna mykoparazitismu, napadá patogenní houby nebo s nimi soupeří o zdroje, například při napadení kávovníku rzi (Obrázek 2). Dále je známá svou schopností snižovat výskyt rzi *Puccinia arachidis* (patogen podzemnice olejné) tím, že infikuje urediospory tohoto patogenu, čímž zmírňuje jeho dopad na zdraví rostlin (Tounwendsida et al., 2022). Účinnost *Lecanicillium lecanii* jako biologického ochranného činidla je přičítána produkci různých toxinů, včetně cyklosporinu A a dipikolinové kyseliny, které inhibují růst patogenů a podporují odolnost rostlin (Rinika et al., 2023).

*Lecanicillium lecanii* má potenciál také jako biologický prostředek proti padlí, běžné houbové chorobě rostlin. Bylo pozorováno, že snižuje klíčení konidií padlí *Podospheera xanthii*, které napadá tykvovitě rostliny. Aplikace v kontrolovaných podmínkách, jako jsou skleníky, může snížit výskyt choroby až o 85 %. Samotná účinnost však závisí na teplotě a vlhkosti prostředí, také je neefektivnější při včasné aplikaci. Kombinace s jinými metodami ochrany však může zvýšit jeho úroveň ochrany (Folorunso et al. 2022).

Houba se snadno kultivuje na různých substrátech, což umožňuje její hromadnou produkci pro komerční účely. Kultivační techniky zahrnují pěstování na obilninách a jiných organických materiálech. Komerční produkty obsahující *Lecanicillium lecanii* jsou k dispozici ve formě prášků, granulí a kapalných suspenzí, které se aplikují na plodiny a půdu.

*Lecanicillium lecanii* má potenciál nejen v regulaci hmyzích škůdců, ale také v ochraně proti patogenům. Díky schopnosti inhibovat růst patogenů, produkovat antimykotické látky a mykoparazitismu může hrát klíčovou roli v udržitelném zemědělství, snižovat používání syntetických fungicidů.

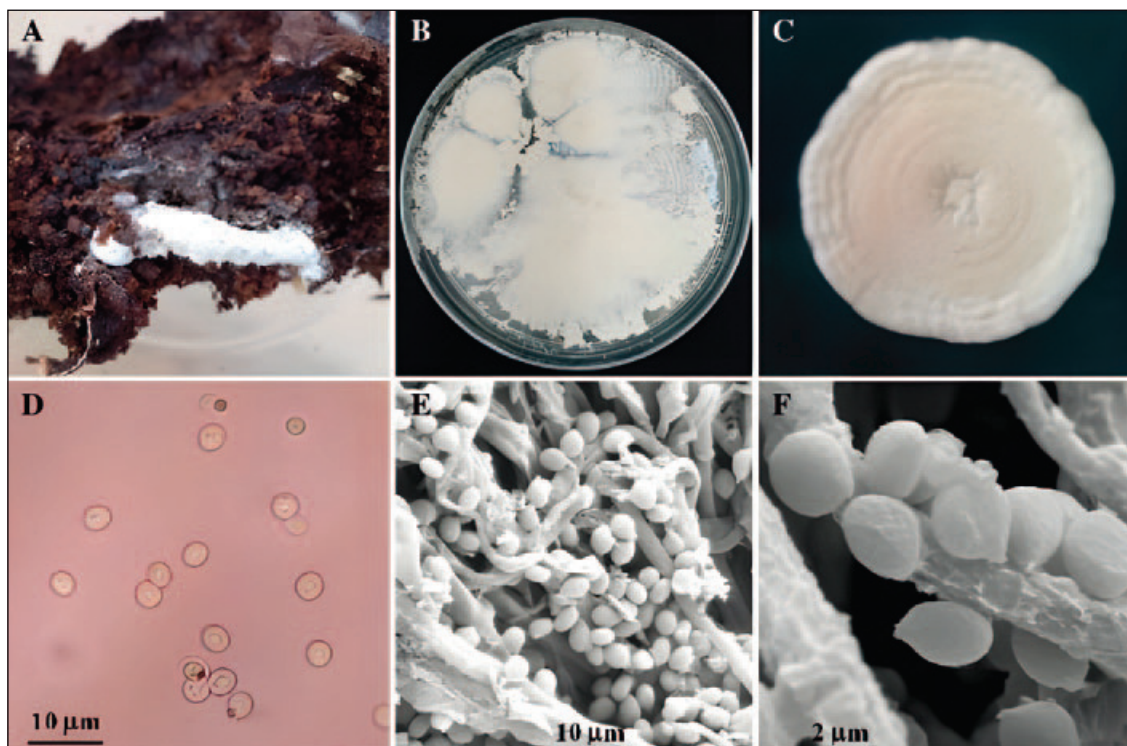
### ***Beauveria bassiana***

Patří rovněž do čeledi Cordycipitaceae. Teleomorfní fáze, dříve spojovaná s rodem *Cordyceps* (konkrétně *Cordyceps bassiana*), se v přírodě vyskytuje jen za specifických podmínek a je mnohem vzácnější než anamorfní fáze, která je dominantní i co se týče ekologické role a využití v praxi. *Beauveria bassiana* je intenzivně zkoumaná entomopatogenní houba, která je známá využitím v zemědělství jako biologické ochranné agens a schopností působit jako endofyt.

Životní cyklus *Beauveria bassiana* začíná klíčením konidií (nepohlavních spor) na kutikule hmyzího hostitele (Obrázek 3). Při kontaktu s hostitelem ulpí spory na jeho povrchu, vyklíčí a proniknou kutikulou, a tak dochází k infekci. Houba se pak v hostiteli rozrůstá a nakonec způsobí jeho úhyn produkcí mykotoxinů a enzymů, které rozkládají tkáň hostitele (Dionisio et al., 2016; Zhang et al., 2022). Po úhynu hostitele produkuje *Beauveria bassiana* nové konidie, které se opět uvolňují do prostředí (Shin, 2023).

V zemědělství se *Beauveria bassiana* používá jako prostředek biologické ochrany proti široké škále hmyzích škůdců, včetně druhů *Lepidoptera*, *Coleoptera* a *Thysanoptera*. Její účinnost byla pozorována v různých studiích, kde se ukázalo, že významně snižuje populace škůdců. Bylo například zjištěno, že *Beauveria bassiana* snížila populace třásněnky zahradní (*Thrips tabaci*) o více než 86 % během deseti dnů po aplikaci (Ain et al., 2021). Široké hostitelské spektrum této houby, která ovlivňuje více než 700 druhů hmyzu, z ní činí univerzální nástroj ve strategiích integrované ochrany plodin proti škůdcům (Shin, 2023). Kromě toho byly vyvinuty preparáty s touto houbou zvyšující její účinnost v polních podmínkách, například s použitím tekutých preparátů na bázi bentonitu. Přípravky prokázaly vysokou účinnost proti škůdcům, jako je *Helicoverpa armigera* (Agarwal et al., 2012; Veerwal et al., 2022). V České republice je tato houba v současnosti registrovaná v přípravcích BotaniGard OD, BotaniGard WP a v přípravku Naturalis.

*Beauveria bassiana* navíc vykazuje endofytický charakter a kolonizuje různé druhy rostlin, aniž by způsobovala jejich onemocnění. Tento endofytismus poskytuje nejen ochranu proti hmyzím škůdcům, ale také stimuluje růst rostlin a zvyšuje toleranci vůči stresu (Daud et al., 2020; Quesada-Moraga et al., 2014). Studie například ukázaly, že *Beauveria bassiana* může endofyticky kolonizovat rostliny kukuřice a banánovníku, čímž jim poskytuje zvýšenou odolnost vůči napadení škůdci (Daud et al., 2020). Také byla pozorována indukce růstu hostitele po umělé inokulaci



Obr. 3: (A) Napadená housenka *Hypsipyla grandella*; (B, C) kultura *Beauveria bassiana* na médiu; (D) konidie *Beauveria bassiana* v optickém mikroskopu; (E, F) snímky konidií *Beauveria bassiana* z rastrovacího elektronového mikroskopu. Převzato z de Castro et al. (2017)



(Liu et al. 2022). Dále byl prokázán vertikální přenos *Beauveria bassiana* prostřednictvím semen, což naznačuje její potenciál pro dlouhodobé strategie ochrany proti škůdcům v plodinách (Quesada-Moraga et al., 2014). Její použití jako prostředku biologické ochrany podporuje její schopnost infikovat širokou škálu škůdců a její prospěšné endofytické vztahy s rostlinami. Některé výzkumy ochrany veřejného zdraví rovněž naznačují účinnost proti larválním stádiím přenašečů malárie, může tedy být dalším směrem ve snahách o eradikaci tohoto významného onemocnění (Tawidian et al. 2023).

## Závěr

Představené druhy hub čeledi Cordycipitaceae primárně řadíme mezi entomopatogenní organismy, které mají potenciál pro využití v biologické ochraně rostlin. Tyto houby parazitují na hmyzu a mohou sloužit jako přirození regulátoři populací škůdců, čímž přispívají k udržení ekologické rovnováhy v zemědělských systémech.

Kromě jejich schopnosti regulovat populace škůdců také podporují zdraví rostlin prostřednictvím interakcí s mikrobiálními komunitami v půdě a indukci tvorby sekundárních metabolitů, které chrání rostliny před biotickým a abiotickým stresem. Snadná kultivace housnice červené (*Cordyceps militaris*) in vitro představuje další výhodu, která umožňuje stabilní produkci bioaktivních sloučenin pro využití například ve farmakologii.

Nicméně, ekonomické faktory a potřeba znalostí životních cyklů těchto organismů mohou představovat výzvy pro jejich širší aplikace. Celkově lze říci, že houby čeledi Cordycipitaceae představují slibnou alternativu k chemickým pesticidům a mohou hrát klíčovou roli v ekologicky udržitelném zemědělství.

/Recenzováno/

## Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO1123 a projektu QL24010008.

## Použitá literatura

- Agarwal, R., Anjali, C., Nidhi, T., Sheetal, P., & Deepak, B. (2012). Biopesticidal formulation of *Beauveria bassiana* effective against larvae of *Helicoverpa armigera*. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 3(3).
- Ain, Q., Mohsin, A., Naeem, M., & Shabbir, G. (2021). Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, on *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) populations in different onion cultivars. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1).
- Bibi, S., Hasan, M. M., Wang, Y.-B., Papadakos, S. P., & Yu, H. (2021). Cordycepin as a promising inhibitor of SARS-CoV-2 RNA-dependent RNA polymerase (RdRp). *Current Medicinal Chemistry*, 28(1), 1-11.
- de Castro, M. T., Montalvão, S. C. L., De Souza, D. A., & Monnerat, R. G. (2017). Ocorrência e patogenicidade de *Beauveria bassiana* à *Hypsipyla grandella* coletada em Brasília. *Nativa*, 5(4), 263-266.
- Das, D. K., Machenahalli, S., Giri, M. S., P. R. A., Rao, N. S., & Shivananna, M. B. (2024). Efficacy of biological agent *Lecanicillium lecanii* for the management of coffee leaf rust in India. *Indian Phytopathology*, 1-8.
- Daud, I., Mustari, K., Baso, A., & Widiayani, N. (2020). Infection

- of *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by endophytic *Beauveria bassiana* on corn. *Online Journal of Biological Sciences*, 20(1), 1-7.
- Dionisio, G., Kryger, P., & Steenberg, T. (2016). Label-free differential proteomics and quantification of exoenzymes from isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Insects*, 7(4), 54.
- Firouzbakht, H., Zibae, A., Hoda, H., & Sohani, M. (2015). Purification and characterization of the cuticle-degrading proteases produced by an isolate of *Beauveria bassiana* using the cuticle of the predatory bug, *Andrallus spinidens* Fabricius (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Plant Protection Research*, 55(2), 179-186.
- Folorunso, E. A., Bohata, A., Kavkova, M., Gebauer, R., & Mraz, J. (2022). Potential use of entomopathogenic and mycoparasitic fungi against powdery mildew in aquaponics. *Frontiers in Marine Science*, 9, 992715.
- Hoang, C. (2023). Molecular mechanisms underlying phenotypic degeneration in *Cordyceps militaris*: Insights from transcriptome reanalysis and osmotic stress studies. *bioRxiv*.
- Kim, J. R., Yeon, S. H., Kim, H. S., & Ahn, Y. J. (2002). Larvicidal activity against *Plutella xylostella* of cordycepin from the fruiting body of *Cordyceps militaris*. *Pest Management Science*, 58(7), 713-717.
- Kontogiannatos, D., Koutrotsios, G., Xekalaki, S., & Zervakis, G. (2021). Biomass and cordycepin production by the medicinal mushroom *Cordyceps militaris*—A review of various aspects and recent trends towards the exploitation of a valuable fungus. *Journal of Fungi*, 7(11), 986.
- Kryukov, V. Y., Yaroslavtseva, O. N., Dubovskiy, I. M., et al. (2014). Insecticidal and immunosuppressive effect of ascomycete *Cordyceps militaris* on the larvae of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Biological Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 41(2), 276-283.
- Liu, Y., Yang, Y., & Wang, B. (2022). Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* play roles of maize (*Zea mays*) growth promoter. *Scientific Reports*, 12, 15706.
- Mirhaghparast, S., Zibae, A., Hoda, H., & Sendi, J. (2015). Changes in cellular immune responses of *Chilo suppressalis* walker (Lepidoptera: Crambidae) due to pyriproxyfen treatment. *Journal of Plant Protection Research*, 55(3), 287-293.
- Oliveira, W., Barbosa, F., & Rosalinski-Moraes, F. (2019). Tripanossomose bovina no Brasil. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 17(1), 1.
- Pohsa, S., Hanchang, W., Singpoonga, N., Chairprasart, P., & Taveparapruk, P. (2020). Effects of cultured *Cordyceps militaris* on sexual performance and erectile function in streptozotocin-induced diabetic male rats. *Biomedical Research International*, 2020, 1-10.
- Quesada-Moraga, E., López-Díaz, C., & Landa, B. (2014). The hidden habit of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*: First demonstration of vertical plant transmission. *PLOS One*, 9(2), e89278.
- Quy, T. N., Xuan, T. D., Andriana, Y., Tran, H. D., Khanh, T. D., & Teschke, R. (2019). Cordycepin isolated from *Cordyceps militaris*: Its newly discovered herbicidal property and potential plant-based novel alternative to glyphosate. *Molecules*, 24(16), 2901.
- Raethong, N., Laoteng, K., & Vongsangnak, W. (2018). Uncovering global metabolic response to cordycepin production in *Cordyceps militaris* through transcriptome and genome-scale network-driven analysis. *Scientific Reports*, 8(1).

- Rinika, R., Damayanti, T., Wiyono, S., & Santoso, S. (2023). Effect of endophytic fungi on the ability of *Aphis craccivora* Koch. in transmitting bean common mosaic virus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1133(1), 012042.
- Samal, I., Bhoi, T. K., Majhi, P. K., Murmu, S., Pradhan, A. K., Kumar, D., et al. (2023). Combatting insects mediated biotic stress through plant associated endophytic entomopathogenic fungi in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1098673.
- Shin, J. (2023). Encapsulation of the biocontrol agent *Beauveria bassiana* in cellulose nanomaterial-stabilized Pickering emulsion for foliar application. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(10), 894-905.
- Sung, G. H., Hywel-Jones, N. L., Sung, J. M., Luangsa-Ard, J. J., Shrestha, B., & Spatafora, J. W. (2007). Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Studies in Mycology*, 57, 5-59.
- Tawidian, P., Kang, Q., & Michel, K. (2023). The potential of a new *Beauveria bassiana* isolate for mosquito larval control. *Journal of Medical Entomology*, 60(1), 131-147.
- Tounwendsida, A., Zongo, A., Bawomon, F., & Sankara, P. (2022). Assessing the effects of *Lecanicillium lecanii* in the biological control of early and late leaf spot of peanut in vitro (Burkina Faso, West Africa). *African Journal of Agricultural Research*, 18(1), 1-7.
- Trung, N. Q., Dat, N. T., Anh, H. N., Tung, Q. N., Nguyen, V. T. H., Van, H. N. B., Van, N. M. N., & Minh, T. N. (2024). Substrate influence on enzymatic activity in *Cordyceps militaris* for health applications. *Chemistry*, 6(4), 517-530.
- Veerwal, B., Prasad, A., & Intodia, A. (2022). Development of fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) formulations for control of mosquito larvae in the field. *Ecology Environment and Conservation*, 373-378.
- Verma, A. K., & Aggarwal, R. (2020). Repurposing potential of FDA approved and investigational drugs for COVID-19 targeting SARS-CoV-2 spike and main protease and validation by machine learning algorithm. *Chemical Biology & Drug Design*, 97(5), 836-853.
- Villarreyna, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: Efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516.
- Vu, T. (2023). Effects of *mat1-2* spore ratios on fruiting body formation and degeneration in the heterothallic fungus *Cordyceps militaris*. *Journal of Fungi*, 9(10), 971.
- Xie, T., Jiang, L., Li, J., Hong, B., Wang, X., & Jia, Y. (2019). Effects of *Lecanicillium lecanii* strain JMC-01 on the physiology, biochemistry, and mortality of *Bemisia tabaci* Q-biotype nymphs. *PeerJ*, 7, e7690.
- Zhang, G., Zhang, J., Yao, Z., Shi, Y., Xu, C., Shao, L., ... Wang, Y. (2022). Time-series gene expression patterns and their characteristics of *Beauveria bassiana* in the process of infecting pest insects. *Journal of Basic Microbiology*, 62(10), 1274-1286.
- Zhang, X. M., Tang, D. X., Li, Q. Q., et al. (2021). Complex microbial communities inhabiting natural *Cordyceps militaris* and the habitat soil and their predicted functions. *Antonie van Leeuwenhoek*, 114, 465-477.
- Zibae, A., & Malagoli, D. (2014). Immune response of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) larvae to different entomopathogenic fungi. *Bulletin of Entomological Research*, 104(2), 155-163.
- Zu, Z., Wang, S., Zhao, Y., Fan, W., & Li, T. (2023). Integrated enzymes activity and transcriptome reveal the effect of exogenous melatonin on the strain degeneration of *Cordyceps militaris*. *Frontiers in Microbiology*, 14.

## Charakterizace genotypů ječmene jarního s netypickým zabarvením obilky

(The Characterization of Spring Barley Genotypes with Atypical Color of Caryopsis)

Marta Zavřelová

Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 767 01 Kroměříž

**Souhrn:** V souboru 15 genetických zdrojů ječmene jarního s netypickou barvou zrna byly studovány projevy morfologických znaků se zaměřením na antokyanové zabarvení různých částí rostlin v souvislosti s barvou zrna ve zralosti. Bylo zjištěno, že vysoký obsah antokyanů s barevným projevem v různých pletivech v průběhu vegetace nemá vliv na výslednou barvu zrna. Dále byly hodnoceny vybrané agronomické a kvalitativní parametry. Byla stanovena jejich variabilita a u jednotlivých genotypů byly průměrné hodnoty těchto znaků statisticky porovnány. Všechny sledované genetické zdroje se vyznačovaly nízkou mírou odolnosti k poléhání a nízkým výnosem. Nicméně při hodnocení kvality zrna vynikaly vysokými obsahy bílkovin a  $\beta$ -glukanů. Vysoká kvalita zrna spolu s obsahem různých barviv v zrně předurčuje tyto genotypy pro použití ve zdravé lidské výživě.

**Klíčová slova:** *Hordeum* L., fenotyp, kvalita zrna, hospodářské znaky

**Abstract:** In a set of 15 genetic resources of spring barley with atypical color of caryopsis, the expressions of morphological traits were studied with a focus on anthocyanin pigmentation of various plant parts in relation to grain color at maturity. It was found that a high anthocyanin content with visible pigmentation in different tissues during vegetation period does not affect the resulting grain color. Furthermore, selected agronomic and qualitative parameters were evaluated. Their variability was determined, and the average values of these traits for individual genotypes were statistically compared. All monitored genetic resources showed low lodging resistance and low yield. However, when assessing grain quality, they stood out for their high protein and  $\beta$ -glucan contents. This high grain quality, along with the presence of various pigments in the grain, predisposes these genotypes for use in healthy human nutrition.

**Key Words:** *Hordeum* L., phenotype, grain quality, agronomic traits