

Globální klimatické změny a houby

Jako globální klimatické změny označujeme vývoj podnebí na Zemi způsobený nárůstem koncentrace oxidu uhličitého a dalších tzv. skleníkových plynů v ovzduší. Tento nárůst vede nejen k růstu průměrné roční teploty, ale projevuje se různými dalšími jevy v závislosti na ekosystémech a klimatických pásech. V našich středoevropských kontinentálních podmínkách padají lokální rekordy nejvyšších teplot, krátkodobých srážkových úhrnů vedoucí k záplavám, a naopak se prodlužují období bez jakýchkoli srážek. Právě změnami hydrologických cyklů v prostředí ovlivňují klimatické změny všechny suchozemské organismy a jejich vliv se tudíž nevyhýbá ani houbám.

Klimatické změny v komplexu

Dříve, než se pokusím odvodit, jak budou klimatické změny ovlivňovat přímo houby, je třeba si uvědomit celou složitost událostí, které probíhají v terestrických ekosystémech v důsledku změn klimatu.

Posuny vegetačních pásem, změny rozšíření rostlin i živočichů a zánik celých biotopů (např. mokřadních, závislých na pravidelných srážkách, nebo vyšší hladině podzemní vody) jsou ty nejzávažnější. Navíc klimatické změny mohou urychlit i rozpad

biotopů, které jsou narušené činností člověka, např. výstavbou, těžbou, odvodněním nebo eutrofizací. Vedou tedy nepřímo ke ztrátám habitatů pro houby a k poklesu jejich diverzity. Můžeme ale pozorovat přímý vliv klimatických změn na konkrétní druhy hub nebo jejich společenstva?

Spekulační procvičení

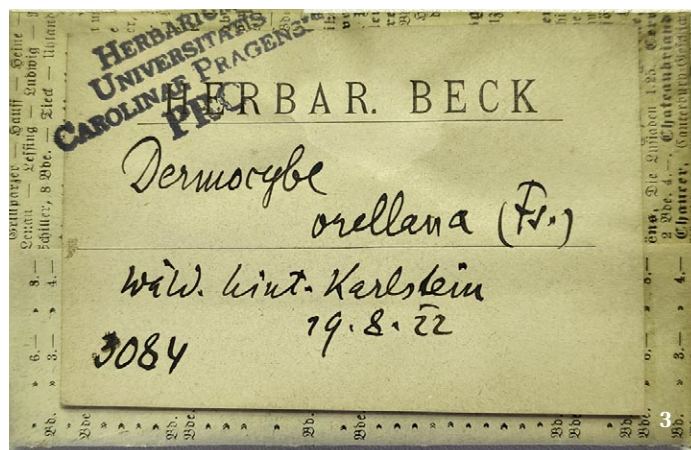
Zkusme si krátké teoretické cvičení, jak se mohou klimatické změny projevit přímo na houbách, nebo aspoň většině druhů hub, pomineme nyní kvasinky a druhy vyskytující se v extrémních podmínkách. Pro růst mycelia a příjem živin je nutné, aby rostly v prostředí s dostupnou vodou. Houby rostou v přírodě skrytě, v podobě svého mycelia. To je v případě saprotrófních a mykorrhizních hub ukryté buď v půdě, nebo jiném substrátu – v opadu, půdě a dřevě u první skupiny, či v pletivech a tkáních živých hostitelských organismů u patogenních hub. Většině hub přitom stačí substrát vlhký, nemusí být vyloženě nasycený vodou, naopak, v zamokřeném prostředí může být horší dostupnost kyslíku a příliš nízké pH. Současně jsou houby limitovány teplotou. Při teplotě pod bodem mrazu voda mění skupenství a rozpínající se led poškozuje buňky. Při vyšších teplotách dochází k vysokému odparu, začínají denaturovat určité enzymy a snižuje se pevnost membrán, takže většina hub přestává růst při 35 °C (viz dále).

Nakonec nemusíme ani tolik spekulovat a můžeme se opřít o studii Tomáše Větrovského a kolegů (2019), ve které autoři prokázali, že v globálním měřítku ovlivňují výskyt a druhovou diverzitu hub rostoucích v půdě hlavně klimatické faktory, především již několikrát zmiňovaná teplota a půdní vlhkost. Je tedy zřejmé, že „celoplanetárně“ budou houby klimatickými změnami ovlivněny a lokálně také, budeme nacházet druhy dříve se v našich podmínkách nevyskytující a některé možné vymizí. Můžeme rovněž spekulovat, že mírnější zimy s vyššími teplotami a srážkami spíše dešťovými než sněhovými mohou mít obecně pozitivní vliv na růst většiny druhů hub, tedy jejich mycelia. Naopak, dlouhotrvající sucha a nárazové srážky, které krátkodobě substrát přemokří a následně rychle odtečou, budou mít jednoznačně negativní vliv. To bude určitě platit pro houby volně žijící, ale u symbiotických (ať už parazitických, nebo mutualistických) musíme počítat i s tím, jak na klimatické změny zareagují hostitelské organismy.

Jsou některé z těchto spekulací potvrzené i vědeckými studiemi a známe dokonce změny, jež nastaly ve výskytu a tvorbě plodnic u některých druhů hub? Případně můžeme i předvídat, k jakým změnám dojde v budoucnosti? Na uvedené otázky se pokusí zodpovědět tento článek.

1 a 2 Brzy na jaře těsně po odtání sněhu tvoří terčka šišková (*Rustroemia bulgarioides*) plodnice typu apotecium na loňských tlejících smrkových šiškách (detail na obr. 1). Otázkou je, jak bude tento druh ovlivněn případným úbytkem sněhu. Bude růst i nadále a pouze vytvořit plodnice, nebo vymizí z ekosystému úplně?





Problémy s fenologií

Samotné klimatické změny se dají prokázat až v období několika desítek či stovek let, kdy se smažou meziroční výkyvy v počasí. Nejde v principu o nic složitějšího, neboť máme k dispozici celou řadu dlouhodobých klimatických měření z různých částí světa. Složitější situace nastává při sledování vlivu těchto změn na organismy. U rostlin se dá opírat o pozorování jejich fenologie – časového průběhu periodicky se opakujících projevů v jejich životním cyklu. Komu nic neříká toto složité sousloví, může si představit např. data sledující začátek kvetení vybraných rostlin, opad listů nebo dozrávání plodů (Živa 2024, 6: 324–326).

U některých hub lze takto hodnotit tvorbu plodnic. V principu tedy máme možnost, jak sledovat načasování nějakého projevu, ale jsme omezeni jen na druhy tvořící makroskopické, jednoleté plodnice, o nichž je dostatek záznamů. Jde tak o zlomek druhů hub a o fenologický projev s malou výpočetní hodnotou pro posouzení změn jejich výskytu. Podle přítomnosti plodnic se sice dá bezpečně prokázat dostatečné množství vitálního mycelia daného druhu houby, které dokáže produkovat plodnice, ale nejsme schopni zodpovědět obecnou otázku výskytu druhu. Můžeme totiž předpokládat, že houba v konkrétním substrátu svým myceliem aktivně roste, i když plodnice netvoří (obr. 1 a 2). Navíc, na rozdíl od rostlin, fenologické fáze hub nemusejí dávat dohromady uzavřený cyklus, a nemusí k nim tudíž docházet pravidelně každý rok. Pokud některý druh netvoří několik let plodnice, nemusí jít jen o důsledek klimatické změny, ale i o „vrozenou“ periodicitu, tedy vlastnost dané houby nezávislou na klimatických podmínkách.

Houbové řady

Současná věda nabízí i postupy ke sledování skutečně aktivního houbového společenstva v půdě na základě jejich produkce enzymů, nebo syntézy ribozomální RNA, která ukazuje na jaderné, a tudíž i buněčné dělení. Můžeme ale srovnávat současná data nanejvýš s těmi před zhruba 10 lety, kdy se tyto metody začaly využívat. Ač je tedy sběr, nebo jen zaznamenávání plodnic v terénu v čase, pouze hrubým způsobem hodnocení výskytu hub, představuje to jediné, co máme k dispozici, pokud chceme jít pomyslně hluboko do minulosti. V současnosti probíhá řada studií, během nichž se zaznamenává výskyt hub na základě nalezených plodnic. Monitorinky probíhají při

řešení výzkumných projektů, na základě poptávky např. státní správy (studium biodiverzity chráněných území) a v poslední době i ze zájmu jednotlivců a spolků v rámci různých monitorovacích kampaní, nebo specializovaných vysokoškolských kurzů. Výsledky jsou publikovány ve formě vědeckých studií, výzkumných zpráv, popřípadě průběžně v on-line přístupných databázích, jako jsou např. iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/>) nebo GBIF (Global Biodiversity Information Facility, <https://www.gbif.org>). Jak ale získat data z doby třeba před 100 lety?

Ideálním zdrojem těchto údajů v minulosti jsou fungáři – herbáře obsahující sušené položky hub (více viz Živa 2023, 3: 124–128). Malé obálky se sušenými kousky plodnic, které leží desítky, možná stovky let v zaprášené krabici ve skříni v potměšlé místnosti regionálního muzea nebo univerzity a přežily několik světových válek, rekonstrukce i stěhování institucí (i taková bohužel bývá realita některých herbářových a fungářových sbírek). Ano, zní to možná překvapivě, ale tyto položky mají zcela zásadní význam pro sledování klimatických změn na houby v současnosti! Tím hlavním důvodem nejsou ani tak vlastní sušené houby (pokud je nepotřebujeme znovu prozkoumat, abychom potvrdili jejich správné určení), ale doprovodná data na schedách, kde nejdůležitější je v tomto případě lokalita a datum sběru (obr. 3). Máme-li štěstí, získáme tak dostatečný počet sběrů z určité oblasti, ve které byla nezávisle zaznamenána i klimatická data. Pokud jsou tyto sběry dokonce z několika po sobě jdoucích let (nebo až desetiletí), máme ideální dataset pro srovnání se současným stavem.

Od r. 2000 bylo převážně z Evropy publikováno několik studií, v nichž autoři analyzovali nálezové informace makroskopických hub za období v rozsahu 10–60 let do minulosti z různě velkých území velikosti okresu až celých států. Jejich výsledky ukázaly, že klimatické změny mají vliv na fenologii hub, konkrétně šlo o časnější/pozdější nástup tvorby plodnic, delší dobu, a dokonce i dvojí období tvorby plodnic, některé podzimní druhy začaly tvořit plodnice i na jaře a naopak. Podrobnějšími výsledky a vyvozováním obecných závěrů se nemá cenu zabývat, protože závisely na konkrétních druzích hub, specifických pro studovanou oblast, které byly zastoupeny v nálezových datech. Jiné výsledky navíc byly porovnávány i pro saprotrófní a pro mykorrhizní druhy. Nemluvě o vlivu geografické oblasti, např. při srovnání studií z Norska

3 Více než 100 let stará fungářová položka pavučince plyšového (*Cortinarius orellanus*, pod jeho starším zařazením do rodu *Dermocybe*), ohroženého druhu v České republice. Díky této položce máme nejen informaci o výskytu (v lesích okolo Karlštejna), ale i o jeho fenologii (plodnice sebrána 19. srpna 1922). Foto O. Koukol (obr. 1–3)

4 Původem středozezemní muchomůrka Vittadiniho (*Saproamanita vittadini*) s charakteristickými šupinami na bílých plodnicích

5 Hlíva hnízdovitá (*Phyllotopsis nidulans*) roste roztroušeně na mrtvém dřevě listnáčů, vzácně i jehličnanů.

6 Bránovítec dvoutvarý (*Trichaptum biforme*) se za posledních 20 let v ČR šíří, především na Moravě je velmi hojný. Plodnice tvořící se na dřevě listnáčů mají výrazný fialový lem.

a Rakouska, nicméně lišily se i výsledky z oblastí na severu a jihu Velké Británie (Boddy a kol. 2014, Gange a kol. 2018).

Středozezemí houbami hýří

Asi vás nepřekvapí, že zdrojových údajů starších než 100 let moc k dispozici není, v rámci Evropy jde v podstatě o jednotky. O to víc jsou ale zajímavé výsledky z jejich srovnání se současností. V nedávno publikované studii byly srovnány záznamy o nálezech hub v okolí francouzského města Montpellier ze dvou období, z let 1821–52 a 2001–11 (Vogt-Schilb a kol. 2022). Historická data byla získána z téměř 1 600 fungářových položek sbíraných tehdejšími řediteli Botanického ústavu univerzity v Montpellier Augustinem P. de Candollem a jeho žáky a uložených v místním fungáři. Data ze současnosti pocházela z dlouhodobého monitorování stejného území místními amatérskými mykology. Autoři studie navíc měli k dispozici i měření teploty pokrývající obě období.

K jakým závěrům došli? Už srovnání teplot ukázalo na klimatickou změnu ve studované oblasti. Průměrné teploty za červenec a srpen v první polovině 19. století dosahovaly 22,8 °C, zatímco na počátku 21. století stoupaly na 24,4 °C. Z výsledků vyplynul posun tvorby plodnic o více než dva týdny později u časné podzimních druhů hub, u saprotrófních druhů rostoucích na dřevě a ektomykorrhizních vázaných na borovice dokonce o měsíc. Důvodem je delší doba, po kterou musí dojít k zvlhčení substrátu, resp. půdy, po delším období let-



ního sucha a vysokých teplot. Tento posun se ale netýkal všech hub. U ektomykorhizních druhů byl posun v tvorbě plodnic zjištěn jen u holubinkovitých (Russulaceae) a muchomůrkovitých (Amanitaceae), zatímco pavučincovitých (Cortinariaceae) a čirůvkovitých (Tricholomataceae) se netýkal.

Kdo vidí do budoucnosti

Ve chvíli, kdy zjistíme, že opravdu došlo za posledních asi 150 let ke změnám ve fenologii hub, můžeme se i ptát, jak bude situace vypadat v budoucnu, např. v r. 2100. Nálezová data z budoucnosti samozřejmě nemáme, ale můžeme si pomoci modelováním. Sestavíme matematický algoritmus, který na základě klimatických dat ze současnosti a známé fenologie hub vypočítá, jak bude pravděpodobně vypadat fenologie při změnách klimatických podmínek. Protože nevíme, jak přesně bude docházet k dalším klimatickým změnám, lze nastavit několik možných scénářů růstu teplot. Ve studiích tohoto typu se odvozují ze čtyř předpovědí růstu koncentrace CO₂ v ovzduší, RCPs (Representative Concentration Pathways). Protože u hub neočekáváme reakci přímo na změnu koncentrace CO₂, dají se vyjádřit v předpokládaném růstu průměrné roční teploty, např. o 1 až 2,5 °C (RCP4.5) nebo o 2,5 až 4,5 °C (RCP8.5, což je mimochodem považováno za nejvyšší a nepravděpodobnou hodnotu odražející neustálý růst emisí CO₂ až do r. 2100).

Vraťme se znovu do okolí Montpellier, kde byly v letech 1997–2019 zaznamenány nejen nálezy jednotlivých druhů hub na trvalých plochách, ale i hmotnost jejich plodnic (Morera a kol. 2022). V tomto případě tedy nešlo pouze o zjištění načasování tvorby plodnic, ale i o celkové množství hub (celkovou hmotnost plodnic), které v lese vyrostou, čili jejich produkci, jak ji chápeme třeba ve smyslu zemědělské výroby. Autoři studie tato data využili jednak ke zhodnocení změn za uvedené období, ale také k modelování změn v budoucnosti, do r. 2100. Mezi lety 1997 a 2019 nezjistili výraznou celkovou změnu v produkci plodnic, byť lokálně došlo na některých plochách k jejímu snížení. Do budoucna pak odhadli, že dojde k poklesu produkce hub pouze ve větších nadmořských výškách, konkrétně v horských borových lesích. Tento pokles bude zřetelnější u ektomykorhizních hub. Naopak saprotrófní druhy v nižších polohách by mohly být zvýhodněné vzhledem k prodloužení období vhodných podmínek pro tvorbu plodnic.

Zůstaneme-li ve Středozeří, máme k dispozici výsledky i studie z Katalánska, zaměřené pouze na jedlé druhy hub (Morera a kol. 2024). Katalánsko je totiž jednou ze středozemních bašt sběru hub. Odhaduje se, že až 1,2 milionu lidí zde chodí aspoň jednou ročně na houby a na barcelonském tržišti Mercabarna se ročně odhadem prodá 700 tun sbíraných hub. Autoři studie sbírali plodnice pěti vybraných druhů hub na předem stanovených plochách a vážili je, aby zjistili stávající produkci. Na datech získaných mezi roky 1997 a 2022 následně modelovali, jak bude vypadat jejich produkce do r. 2100. Výsledky se, možná nepřekvapivě, lišily pro jednotlivé sledované druhy hub i pro předpokládané nárůsty teplot. U hříbu smrkového (*Boletus edulis*), čirůvky havelky (*Tricholoma portentosum*) a ryzce pravého (*Lactarius deliciosus*) dojde ke snížení produkce. Naproti tomu u bedly vysoké (*Macrolepiota procera*) a lošáku zprohýbaného (*Hydnum repandum*) produkce vzroste, ale jen ve větších nadmořských výškách. Uvážíme-li, že tyto druhy nacházíme i na našem území a minimálně hřib smrkový a ryzec pravý patří dlouhodobě mezi nejoblíbenější sbírané druhy hub, máme se obávat o jejich osud i u nás? Nejspíš není třeba, protože zmíněnou sníženou produkci stanovili vědci pouze pro ten nejhorší a nejméně pravděpodobný scénář nárůstu teploty (RCP8.5).

Až se hory zazelenají

Nárůst teplot a delší období sucha bezesporu ohrožují nejvíce oblasti v nížinách. Jak ale ovlivní nárůst teplot houby ve vysokohorském prostředí, tedy na horní hranici lesa a v alpském pásu? V těchto oblastech je půda zásobena nejen srážkami, ale i odtávajícím sněhem, případně ledovci. Některé studie ukazují, že se dá dokonce předpokládat pozitivní vliv na diverzitu ektomykorhizních hub na přechodu mezi horní hranicí lesa a alpským bezlesem (Arraiano-Castilho a kol. 2024). Očekává se totiž, že se jejich hostitelské rostliny rozšíří do vyšších poloh. Jedna skupina hub na horách ale bude ovlivněna negativně a může i zcela vymizet. Jde o druhy asociované se sněhovými výlety – místy, kde se drží alespoň částečná vrstva sněhu po většinu roku. Tato místa budou mizet spolu s tím, jak bude ubývat sněhové pokrývky, a s nimi i rostliny a další organismy na ně vázané. Může jít např. o špičku *Marasmius epidryas* rostoucí na mrtvých zdřevnatělých částech dryádky osmiplá-

tečné (*Dryas octopetala*) nebo vláknici *Inocybe egenula*, která tvoří ektomykorhizu s vrbou bylinnou (*Salix herbacea*).

Zaostřeno na Českou republiku

Jak se v čase posune tvorba plodnic a jaká bude jejich produkce na našem území, můžeme zatím jen souhrnně spekulovat na základě předchozích studií z jiných oblastí. Přesto ale už máme k dispozici výsledky ukazující, že i u nás se klimatické změny na houbách projevují. Můžeme se opřít o nálezová data druhů hub, které byly ještě v nedávné době známy pouze z teplejších oblastí (např. Středozeří) a nyní se vyskytují i u nás, dokonce s rostoucí četností. To je případ muchomůrky Vittadiniho (*Sapromyces vittadinii*, obr. 4), středozemního druhu, jenž byl u nás ještě před 20 lety považován za kriticky ohrožený (Holec a Beran 2006). Od té doby se ale v ČR šíří, především na člověkem ovlivněné stanoviště, takže se její plodnice dají najít v parcích a městských trávnících. Obdobně můžeme předpokládat nárůst počtu lokalit u teplomilného hříbu Dupainova (*Rubroboletus dupainii*), který je s jedinou nyní známou lokalitou v ČR zatím hodnocený jako kriticky ohrožený (Zíbarová a kol. 2024).

Nejlépe zdokumentovaný je nejspíš případ plaménky korkomilné (*Gymnopilus suberis*, obr. 7), jejíž plodnice byly u nás nepravděpodobně zaznamenávány od r. 1993. Šlo přitom o nálezy na jediné lokalitě, na tlejícím dřevě na svahu vrchu Oblík v Českém středohoří. Od r. 2009 zde byly nacházeny pravidelně každý rok. Srovnání s vývojem teplot získané z měření z nedařekých klimatických stanic ukázalo pravděpodobnou souvislost s oteplováním v Českém středohoří. V této oblasti byl po r. 1997 zaznamenán nárůst průměrných měsíčních teplot, klesl počet dní v zimě s teplotami pod –10 °C a naopak vzrostl počet dní s teplotami nad 30 °C (Holec a kol. 2016).

U některých druhů hub může být jejich šíření způsobeno i „vedlejším efektem“ klimatických změn. Např. přibývá lokalit s nálezy dřevožijných druhů hlívy hnízdovité (*Phyllotopsis nidulans*, obr. 5), žilnatky bleďé (*Phlebia centrifuga*, obr. na 2. str. obálky) nebo bránovité dvoutvarého (*Trichaptum bifforme*, obr. 6), což ale nejsou teplomilné druhy (Zíbarová a kol. 2024). Rostoucí teploty totiž ovlivňují celé společenstvo hub kolonizujících rozkládající se dřevo, takže dochází i k ovlivnění vzájemných vztahů, především soupeření (kompetice) o substrát a živiny. Výše uvedené

druhy hub tak nemusejí nutně profitovat z vyšších teplot, ale z toho, že jejich soupeřící druhy hub byly změnou podmínek oslabené (Holec, osobní sdělení).

Dva druhy hub to už mají na našem území dokonce „spočítané“. To nemyslím v negativním slova smyslu, ale ve spojení s modelováním jejich předpokládaného výskytu, a dokonce možností pěstování. Jde o dva druhy lanýžů, o lanýž letní (*Tuber aestivum*) a l. černovýtrusý (*T. melanosporum*), které jsou ceněnou kulinářskou lahůdkou a známé jako burgundský lanýž a černý perigorský lanýž (burgundy truffle, Périgord black truffle). Zatímco s prvním jmenovaným se můžeme setkat v teplejších oblastech Čech i Moravy, druhý se u nás dosud nevyskytuje. Připomeňme si, že tyto houby jsou ektomykorhizní – rostou a tvoří plodnice pouze v kontaktu s kořeny svých hostitelských stromů, v jejich případě jde o různé druhy dubů, lísku a habr. Oba druhy se v současnosti pěstují spolu s hostitelskými dřevinami v oblastech s vápenitou půdou a středozezemním klimatem. Současně ale dochází k poklesu produkce právě ve Středozemí vlivem delších období letního sucha. V nedávno vyřážené studii (Čejka a kol. 2020) se autoři zaměřili na potenciální oblasti v ČR, které by byly vhodné pro jejich pěstování při dvou předpokládaných růstech průměrné roční teploty. U obou druhů lanýžů zjistili nárůst plochy oblastí, v nichž by měly vhodné, nebo dokonce velmi vhodné podmínky. Pokud by si ale někdo troufl začít s jejich pěstováním, musí počítat i s očekávanými delšími obdobími letního sucha, která mohou vést k poklesu tvorby plodnic. Částečně by se dal jejich efekt vyvážit umělým zavlažováním, ale pak je otázkou, nakolik by byla produkce lanýžů ekonomicky zajímavá.

Že vám tato myšlenka přijde nepravděpodobná? Tak vězte, že v r. 2017 byly první plodnice lanýžů černovýtrusého nalezeny, vlastně sklizeny, na experimentální plantáži dubu cesmínovitého (*Quercus ilex*) už i ve Velké Británii, v jihovýchodním Walesu (Thomas a Buntgen 2017).

Patogeny na vzestupu, člověče, boj se

Výše uvedená studie pro zjednodušení počítají s tím, že v budoucnu budou mít konkrétní druhy hub stejná optima pro růst, jako mají nyní. Pozvolné zvyšování průměrné teploty, jak ho nyní pozorujeme, ale dává houbám šanci se na nové podmínky adaptovat. Takto se mohou vyvíjet nejen saprotrófní a mutualistické symbiontní druhy hub, ale i patogeny, což může mít nečekané souvislosti ohrožující lidské zdraví. Normální teplota lidského těla (přibližně 36,5 °C) a vůbec teploty živočichů je nad limitem pro růst většiny druhů hub, které, jak je známe z rutinních laboratorních testů, přestávají růst při 35 °C. Pokud se ale „volně žijícím“ houbám v přírodě podaří adaptovat na rostoucí teploty, povede to u nich k tomu, že nakonec překonají i pomyslnou hranici chránící teplotně odolné živočichy před infekcí. Nastíněný scénář už navíc možná není jen hypotetickou otázkou a získaná termorezistence (odolnost k vyšší teplotě) se považuje za jeden z důvodů vysoké nebezpečnosti kvasinky *Candida auris*. Ta byla popsána teprve r. 2009 v Japonsku z izolátu ze zaníceného ucha.



7 Plodnice plaménky korkomilné (*Gymnopilus suberis*) vyrůstající z mrtvého kmene třešně. Ve své domovině ve Středozemí roste na dřevě dubu korkového (*Quercus suber*). Foto L. Zibarová (obr. 4–7)

Následně se rozšířila během několika let prakticky po celém světě a v současnosti je známa z více než 40 států. Vyskytuje se hlavně v nemocnicích, kde působí obtížně léčitelné systémové infekce (je rezistentní na celou řadu antimykotik) vedoucí často k úmrtí pacientů. Aktuálně je vedena mezi čtyřmi nejnebezpečnějšími původci smrtelných infekcí, jak je sestavuje Světová zdravotnická organizace (World Health Organisation, WHO). O původu tohoto druhu existuje několik hypotéz, přičemž podle jedné jde o původně neškodnou saprotrófní kvasinku vyskytující se v přírodě v mokřadech na tlejícím rostlinném materiálu. Podle této teorie nejprve získala termorezistenci, poté odolnost vůči antimykotikům a zároveň byla rozšířena člověkem. Za popsány změny mohl stát stres z prostředí s rostoucí teplotou a expozice k UV záření, které mohly indukovat mutace vedoucí k výše uvedeným vlastnostem (Seidel a kol. 2024). Podobným mechanismem vznikly pravděpodobně i termorezistentní populace vřekovýtrusné mikroskopické houby *Fusarium oxysporum* – běžné půdní houby napadající rostliny a způsobující nekrózy jejich pletiv. Poslední dobou je nicméně původcem stále častějších infekcí u člověka.

Nemluvě o tom, že i člověk se pozvolna přizpůsobuje prostředí a možná překvapivě, některé studie ukazují na dlouhodobý pokles teploty lidského těla, který byl ještě v polovině 19. století 37 °C (Protšiv a kol. 2020). Pokud bude tento trend pokračovat, můžeme jít i novým houbovým infekcím pomalu „naproti“.

Rostliny v ohrožení

Na závěr zmíníme možný dopad klimatických změn na fytopatogenní druhy hub, napadající rostliny. U nich je situace složitější v tom, že musíme počítat i s reakcí hostitelské rostliny, která může být rovněž ovlivněna změnou klimatu. Pokud si ale situaci zjednodušíme a zaměříme se na fenologii fytopatogenních hub, můžeme

očekávat vliv na dva procesy – infekci a rozšiřování na dalšího hostitele. I fytopatogenní druhy jsou závislé na vlhkosti a optimální teplotě, které ovlivňují, jestli se dané houbě podaří infikovat svého hostitele. Ve většině případů se tak děje pomocí některého typu spor, jež dopadne na povrch hostitelské rostliny, vyklíčí a pronikne do jejích pletiv, případně vytvoří povrchové mycelium, které pouze vysílá haustoria do buněk epidermis. Pokud dochází v infekční fázi ke snížení vlhkosti a růstu teploty, budou tyto houby znevýhodněny. Některé typy spor, např. askospory u vřekovýtrusných fytopatogenních druhů hub, vznikají v plodnicích, které potřebují pro svůj vznik také dostatek vlhkosti. Pokud jsou klimatické podmínky nevhodné, nevytvářejí se plodnice, a tudíž klesá i infekční tlak na hostitele v dané sezoně. Delší a suchá léta a začátek podzimu v posledních letech tak mohly vést např. ke snížení nebezpečnosti voskovičky jasanové (*Hymenoscyphus fraxineus*) pro jasan. Naopak, i vyšší teploty spojené s nedostatkem vlhkosti v půdě vedou k oslabení i hostitelských dřevin, jež jsou pak náchylnější k některým chorobám. Příkladem může být sazná nemoc kůry javorů způsobená druhem *Cryptostroma corticale*. Tato houba kolonizuje i několik let skryté vnitřní pletiva javorů klenů (*Acer pseudoplatanus*, hlavně větve a kmen) a právě stres hostitele z důvodu vysokých teplot a sucha vede k propuknutí choroby a jeho úhynu (Živa 2016, 1: 14–17).

Známe i fytopatogenní houby se složitým životním cyklem, každý rok procházející několika konkrétními fenologickými fázemi, u některých druhů dokonce i na dvou různých hostitelích. Jde o stopkovýtrusné houby z řádu rzi (Pucciniales). Poměrně překvapivě vědci nepředpokládají, že by byly rzi výrazně ohroženy klimatickými změnami. I přes nutnost infikovat až dva různé hostitele vedly miliony let evoluce u těchto druhů k celkem velké schopnosti přizpůsobení měnícím se podmínkám a flexibilitě v načasování infekce a tvorbě jednotlivých typů spor. Příkladem je i opačná situace, kdy mírné zimy, během nichž teploty málokdy klesají pod bod mrazu, umožňují přežít uredospor neboli letních výtrusů. Ty jsou primárně určeny k šíření na další hostitelské rostliny během sezony. Ukazuje se ale, že mohou přežívat i do dalšího roku a infikovat nové hostitele (Piepenbring a kol. 2025).

Krátkodobé i dlouhodobé výhledy

V krátkodobém horizontu několika let je stále obtížné zodpovědět v podstatě jednoduchou otázku týkající se vlivu klimatických změn na konkrétní skupiny hub, třeba těch saprotrófních a mykorrhizních, které sbíráme v létě a na podzim s vidinou lahodné večeře. Už jen proto, že změny budou nastávat postupně, takřka neznatelně, kdy některé stávající druhy budou na ústupu a budeme si zvykat na sběr jiných, jejichž areály se k nám posunou. V dlouhodobé perspektivě bychom se o osud hub rozhodně neměli bát. Díky milionům let evoluce jsou dostatečně plastické, aby se dokázaly vyrovnat s měnícími se podmínkami.

Použitá literatura uvedena na webu Živy. Navazující článek na str. XVIII–XX kuléru.