

míru (v jednom případě rok a půl!), a přesto dokázaly vydržet. Jako nejodolnější se v tomto případě ukázala vřeckovýtusná houba *Cryomyces antarcticus*, patřící mezi druhy žijící na Zemi v prasklinách skal.

Na závěr je třeba zmínit ještě jeden důležitý důvod, proč se zajímat o extremofilní houby. Vzhledem k tomu, jaké tolerují podmínky v přírodě, dokážou mnohé z nich napadnout i živé organismy. Takovým houbám, které nejsou primárně adaptované na patogenní způsob života, ale za určitých podmínek vyvolávají infekci, se říká oportunně patogenní. Aby se houba mohla stát oportunním patogenem člověka, musí být schopna růst při teplotě 37 °C (neplatí u hub

napadajících pouze kůži, kde je teplota nižší – viz např. onemocnění tinea nigra způsobené výše uvedenou černou kvasinkou *Hortaea werneckii*). Jedním z nejnebezpečnějších oportunních patogenů je *Aspergillus fumigatus* a další nedávno popsané druhy ze sekce Fumigati (blíže v článku na str. 254), které běžně napadají lidi s oslabenou imunitou a mortalita je vysoká. Jiné extremofilní houby ale mohou mít i pozitivní význam v medicíně. Mezi sekundárními metabolity produkovanými těmito houbami se totiž našly látky schopné ničit rakovinné buňky. Jde např. o kyselinu berkeleovou produkovanou druhem rodu *Penicillium* izolovaným z jezera Berkeley

Pit Lake, jehož pH dosahuje hodnoty 2,5 a vyskytuje se v něm také vysoká koncentrace kovových kationtů. Podobných příkladů by se dalo uvést mnohem více.

Mnoho hub z extrémních prostředí už bylo poznáno, další na objevení jistě čekají. V případě adaptací je prostor pro objevy zřejmě ještě větší, dosud se nám podařilo pochopit jen zlomek mechanismů, díky nimž houby přežívají. Pravděpodobně se však také blíží doba, kdy tyto organismy (nebo jejich enzymy a geny) uplatní svůj potenciál a přinesou pokrok v průmyslu a biotechnologiích.

Doporučená literatura na webu Živý.

Alena Nováková

Mykobiota podzemních prostor

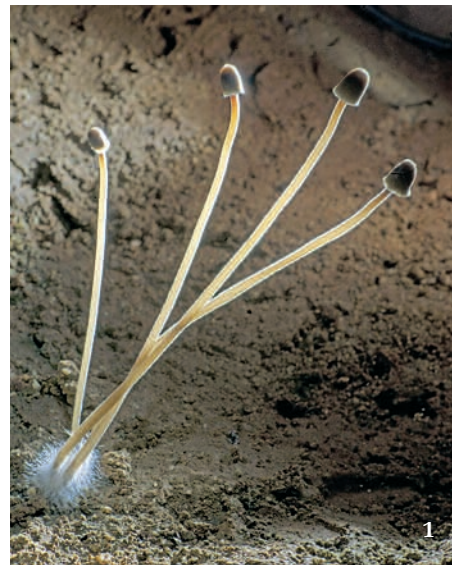
Podzemní prostory – jeskyně, propasti, ale i opuštěné doly a štoly – představují velice specifické prostředí vzhledem k nedostatku nebo úplné absenci světla. Zdejší organismy se musejí přizpůsobit nejen tmě a chybějícímu slunečnímu záření, ale vyrovnat se také s absencí střídání dne a noci, které slouží k obvyklému nastavení jejich biorytmů, a sezony vůbec, zpravidla s vysokou vlhkostí vzduchu, někdy i poměrně nízkou teplotou a hlavně nedostatkem potravy. Řada těchto prostor je považována za stanoviště oligotrofní, tedy chudé na živiny, protože se zde většinou nenachází žádný viditelný organický materiál. Přestože se tedy jeskyně a další podzemní prostory jeví jako extrémní a značně nehostinné prostředí, pro houby (neboli mykobiotu) se prostory se stálou teplotou a vysokou vlhkostí zdají být mnohdy výhodnější než místa na zemském povrchu, kde často dochází k vysychání substrátu a tím k omezení až nemožnosti jejich růstu. Zřetelné nárosty mycelia na dřevě nebo plodnice hub jsou v podzemí návštěvníky zaregistrovány, mikroskopické houby jsou však téměř neviditelné vzhledem ke své velikosti a subtilní kolonizaci substrátu.

Některé jeskyně a štoly bývají občas obohacovány organickými látkami z povrchu. Prudkými dešti v průběhu vegetační sezony nebo při mohutném tání sněhu se do nich dostávají rostlinné zbytky jako různé větvičky, listy nebo semena, může docházet i ke splavení půdy s jejím rostlinným pokryvem. Mnohé jeskyně navíc komunikují s povrchem prostřednictvím komínů nebo portálovitými vchody, a těmi se dovnitř může dostávat detritus i části rostlin. Do podzemních prostor mohou dokonce pronikat kořeny stromů, někdy až za vzniku tzv. kořenových krápníků (viz Živa 2008, 2: 60–62 a 2012, 5: CIV). Část jeskynního prostoru tak může být občasně nebo pravidelně obohacena živinami (eutrofizována). K eutrofizaci podzemí dochází také osídlováním nebo pravidelnými návštěvami savců, jako jsou netopýři a další drobní živočichové, v některých jeskyních dokonce i ptáků. Výsledkem jejich přítomnosti je v případě netopýřů hojný výskyt trusu (dropinek) v místech, kudy létají, a na místech jejich hromadného výskytu, kde vznikají depozity od malých kupek trusu až po

velké guánové kupy. Přítomnost exkrementů drobných savců na jeskynním sedimentu a mnohdy i na sekundárních výplních (speleotémách) je důkazem jejich pravidelných návštěv, hledají zde úkryt za nepříznivého počasí, ale také snadno dostupnou potravu, spící nebo hibernující netopýři. K zimování mohou jeskyně sloužit i dalším obratlovcům, obojživelníkům a plazům, kdy občas dochází k úhynu jedinců (viz dále v textu).

Houby zjevné – plodnice v podzemí

Na první pohled návštěvníci jeskyní výskyt hub většinou nezaznamenají, pokud se nesetkají např. v turisticky zpřístupněných jeskyních s nárosty mycelia na trouchnivějícím dřevě z původní výdřevy nebo dřevěného zábradlí. Občas je možné v jeskyních nalézt myceliální nárosty na sedimentu v okolí naplavených větví nebo rozlité plodnice na starém dřevě (obr. 1 a 2), ale i plodnice hub rostoucích zdánlivě na jeskynních usazeninách a využívajících zbytky dřeva skryté v sedimentu. Některé druhy hub vytvářejí nenarušené plodni-



1 Plodnice hub vyrůstající ze sedimentu jeskyně Balcarka. Foto P. Zajíček



2 Zbytky dřeva v Ardovské jeskyni (Slovenský kras) poskytují dostatek živin pro růst zástupců stopkovýtusných hub (Basidiomycota).

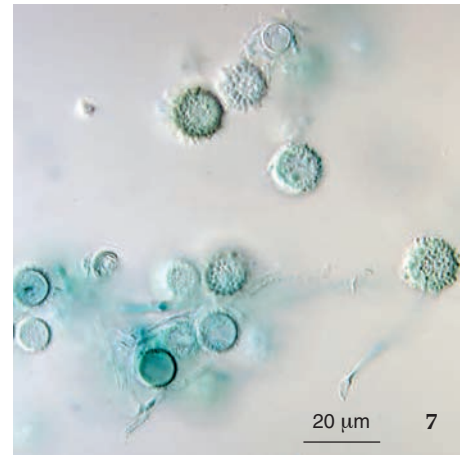
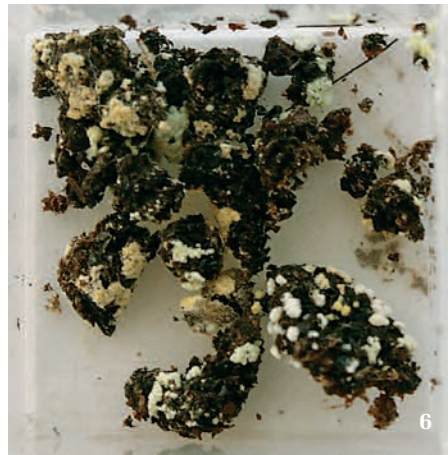
ce, nelišící se od plodnic narostlých na povrchu, ale u jiných druhů vzhledem k nedostatku světla vznikají deformované plodnice s dlouhými třeni jako v případě stopkovýtusné slizečky (penízovky) ocase (Xerula radicata, pečárkotvaré – Agaricales). Plodnice hub lze nacházet na některých místech opakovaně, dokud substrát v podobě trouchnivějícího dřeva nebude



vyčerpán. Tyto dřevokazné houby jsou významným zdrojem potravy pro řadu bezobratlých jeskynních živočichů a právě v okolí bohatého výskytu myceliálních povlaků nebo plodnic můžeme zaznamenat nejen tyto živočichy, ale i drobné pelety jejich exkrementů.

Nálezy na trusu

V jeskyních se nachází také bohaté spektrum mikroskopických hub – kvasinek a vláknitých mikromycetů (také v Živě 2008, 2: 63–64). Jejich přítomnost zůstává většinou skrytá. Některé rostou v sedimentu, v exkrementech bezobratlých i obratlovců, v různých organických zbytcích a dalších substrátech a jsou prakticky neviditelné, stejně jako jejich spory v jeskynním ovzduší. Odhalit je můžeme například izolací na agarovém médiu (obr. 3). Jeskynní hieroglyfy – jílovité útvary rozmanitých tvarů na stěnách a speleotémách vytvářejí kresbu různě velikých skvrn a obsahují bohaté společenstvo mikroorganismů včetně mikroskopických hub. Ty svým růstem a tvorbou hojně větveného mycelia přispívají k udržení kompaktnosti kreseb. Neviditelné nárosty mikrobioty jsou i na stěnách jeskyní a speleotémách. Biofilm odhalený pomocí skenovací elektronové mikroskopie obsahuje jak různé bakterie, tak mikroskopické vláknité houby, stejně jako nickamínek, který se vyskytuje v některých jeskyních. Kolonie mikroskopických vláknitých hub bývají velice subtilní a obtížně postřehnutelné, ale určité druhy se dají dobře pozorovat pouhým okem. Na netopýřích dropinkách a guánu můžeme najít různé bílé a žlutě zbarvené drobné kolonie, ale i mohutné nárosty spájevých hub, zástupců oddělení Mucoromycota – houby rodu *Mucor*, *Phycomyces* (pododdělení Mucoromycotina) a *Mortierella* (Mortierellomycotina). Zvláště dobře jsou viditelné na vrchu guánových kup nebo na okrajích guánových hrců (obr. 4 a 5). Ze žlutě zbarvených kolonií na netopýřích dropinkách byla ve slovenských jeskyních izolována houba, která velikostí a tvarem konidií připomínala patogenní druh *Histoplasma capsulatum* (řád kazirohovaré – Onygenales, houby vřecovýtusné, viz obr. 7), původce nebezpečného infekčního plísňového onemocnění plic – histoplazmózy. Houba je známa z netopýřích guána v jeskyních subtropického a tropického pásu, a je třeba se proti vdechnutí spor chránit používáním respirátorů i dokonalou dekontaminací oblečení a ostatní-

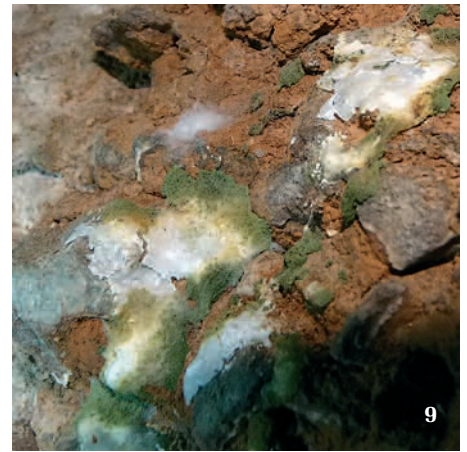
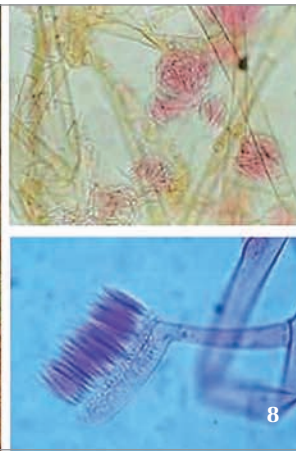


ky vybavení po návratu z jeskyně. Pomocí molekulárních metod byla totožnost izolátů s touto patogenní houbou vyloučena a byl popsán nový druh *Chrysosporium speluncarum* (Nováková a Kolařík 2010, obr. 6). Výskyt této saprotrofní houby (patogenita byla vyloučena pomocí testů na imunodeficientních myších) se podařilo prokázat na netopýřím guánu a dropinkách v chladnějších jeskyních Slovenska, Rumunska, ale také ve Slovinsku (Škocjanska jama) a v Chorvatsku (jeskyně Hrustovača). Při podrobnějším studiu mykobioty na netopýřím guánu můžeme zachytit sukcesi různých druhů mikroskopických hub, jejichž nárosty se postupně objevují na povrchu guána, a které spolu s bakteriemi využívají nejen chitin z mrtvých těl hmyzu, ale postupně i další látky uvolňované do prostředí rozkladnými pochody. Současně dochází ke zmírňování kyselosti guána a tím posléze k možnosti jeho kolonizace jeskynními bezobratlými živočichy. Ti samozřejmě využívají mikroorganismy včetně mikroskopických hub jako potravu.

Také exkrementy kun, plchů nebo různých hlodavců bývají porostlé mukorovitými houbami, někdy ale můžeme najít i modře nebo zeleně zbarvené kolonie koprofilních zástupců rodu štětičkovec (*Penicillium*). *P. glandicola* se poměrně často vyskytuje na exkrementech kun ve slovenských a rumunských jeskyních a *P. vulpinum*, vytvářející typicky tvarovaná synnemata (svazky konidioforů) se sterilními bílými „stopkami“ a zelenomodře zbarvenou horní sporulující částí, je též možné najít v mnoha jeskyních na trusu různých živočichů (obr. na 2. str. obálky). Bílé kolonie vřecovýtusné houby *Amphichorda felina* (dříve *Beauveria felina*)

- 3 Petriho miska s koloniemi mikroskopických hub z jeskynního sedimentu
 4 Netopýří guáno hojně porostlé koloniemi rodu *Mucor*. Jasovská jeskyně na Slovensku
 5 Kolonie *Phycomyces nitens* na netopýřích dropince na zábradlí v Gombasecké jeskyni, Slovensko
 6 Netopýří dropinky s výraznými žlutými koloniemi nově popsaného druhu *Chrysosporium speluncarum* byly odebrány v jeskyni Čertova diera, Slovensko
 7 Konidie *Histoplasma capsulatum* mají charakteristický kulovitý tvar a jsou na povrchu pokryté výraznými výrůstky. Foto O. Koukol
 8 Typické vřetenovité spory a zakončení sporoforů *Coemansia aciculifera* – kolonie na jeskynním sedimentu
 9 Kolonie krodidláku *Aspergillus thesauricus* na zbytcích vosku v jeskyni Cueva del Tesoro, Španělsko
 10 Kostra žáby s bílým porostem houby *Botryosporium longibrachiatum*. Slovensko-maďarský jeskynní systém Domic-Baradla
 11 Černé kulovité plodničky *Acaulium caviariforme* na srsti mrtvého plcha. Gombasecká jeskyně

typické dlouhými synnematy vznikají na výkalech drobných hlodavců i na netopýřích dropinkách a guánu. Další koprofilní druhy patřící mezi spájevité houby, jako například *Coemansia aciculifera* (řád Kickxellales, pododdělení Kickxellomycotina, obr. 8), *Thamnostylum piriforme*, *Chaetocladium brefeldii* a *Rhizomucor pusillus* (řád Mucorales, Mucoromycotina), byly izolovány z exkrementů, včetně netopýřích dropinek, nalezených v různých jeskyních.



Tyto houby vytvářejí na exkrementech velice nenápadné kolonie, často překryté mnohem mohutnějšími koloniemi rodu *Mucor*, a zviditelní se až při izolaci na agarovém médiu. Výjimkou je *C. aciculifera*, která může za jistých okolností tvořit zřetelné žlutavé kolonie na netopýřím guánu. Fekální peletky bezobratlých (např. mnohonožek, stejnonožců a chvostoskoků) jsou méně nápadné vzhledem k nepatrné velikosti, ale právě v nich se může vyskytovat skutečně specifické společenstvo mikroskopických hub. Např. v exkrementech žížal často nacházíme zcela jiné druhy než v okolním sedimentu díky obohacení sedimentu různými látkami při průchodu střevním traktem. Navíc řada houbových spor je takto aktivována a schopna růst (ukončení dormance). Zajímavým nálezem z exkrementů žížal v jeskyni Domica ve Slovenském krasu byla *Pidoplitchkoviella terricola*, do té doby známá jako jediný izolát z rhizosféry dubu červeného (*Quercus rubra*) na Ukrajině. V jeskyních se občas podaří najít i makroskopické kolonie rodu kropidlák (*Aspergillus*), rostoucí na různých zbytcích organického původu – např. v jeskyni Cueva del Tesoro ve Španělsku a Limanu v Rumunsku byly nalezeny kolonie *A. thesauricus* na organických zbytcích v okolí turistických chodníků (obr. 9) a na netopýřím guánu v rumunské jeskyni Liliecilor de la Gura Dobrogei byly objeveny bílé kolonie dosud nepopsaného druhu.

Nálezy na mrtvých tělech

Zřetelné bývají nárosty hub na tělech uhynulých živočichů nebo na jejich kostrách, které se v podzemních prostorách čas od

času objeví. Jde o uhynulé jedince, kteří nestihli uniknout před rychle stoupající vodou a utopili se, nebo jako nedobrovolní návštěvníci vyhladověli kvůli nedostatku potravy; např. různé žáby, ale také přirozeně uhynulí netopýři. Ze slovensko-maďarského jeskynního systému Domica-Baradla byla izolována houba *Botryosporium longibrachiatum*, která na kostrách žab vytvářela zřetelné bílé porosty (obr. 10). V několika slovenských jeskyních byly zjištěny na mrtvých netopýřích černé kulovité plodnice *Acaulium caviariforme* a stejná houba se vyskytovala také na těle uhynulých plchů v Gombasecké jeskyni (obr. 11). Na rozkladu netopýřích těl se podílejí i další druhy mikroskopických hub, např. z rodů *Mucor*, *Mortierella* a *Clonostachys*. Některé podzemní prostory, třeba štoly opuštěných dolů s hibernujícími netopýři, během zimy hojně navštěvují kuny – spící netopýři bývají lákovou a snadno dostupnou potravou a kuny často podlehnou pudu a usmrtí více jedinců, než stačí zkonzumovat. Na takových místech potom můžeme narazit na mrtvolky v různém stupni rozkladu a napadené mikroskopickými houbami. Někdy objevíme nápadné nárosty hub na visících netopýřích – např. *Mortierella humilis* byla izolována z mrtvého netopýře ze Sloupsko-šošuvských jeskyní (obr. 12 a 13). V posledních letech se do popředí zájmu dostalo onemocnění netopýřů označované jako syndrom bílého nosu – WNS (White Nose Syndrome). Nemoc byla poprvé zaznamenána v r. 2006 v jeskyni Howes ve státě New York v USA a jako původce byla zjištěna houba *Geomyces destructans* (nyní s platným názvem *Pseudogymnoascus destructans*, obr. 14

a 15). Napadá přezimující ještě živé netopýry, prorůstá jejich pokožkou a na povrchu pokožky a srsti vytváří bílé povlaky, nápadné hlavně v okolí čenichu. Napadení netopýři se uprostřed zimy budí, vylétají a hynou celkovým vyčerpáním, mnohdy i podchlazením. Toto onemocnění se rychle rozšířilo v jeskyních východního pobřeží USA a způsobilo vysokou úmrtnost zde často hromadně zimujících a vzájemně se rušících netopýřů. Také v evropských zemích včetně naší republiky se přítomnost houby potvrdila, ale přestože v některých podzemních prostorách byla infekce netopýřů masivní, k jejich hromadnému úhynu nedochází. Napadení netopýři si na konci hibernace srst očistí a vzniklé léze na pokožce se v průběhu letní sezony zahojí.

V blízkosti vchodu do jeskyní a v přilehlých prostorách lze na stěnách pozorovat výskyt různých zástupců hmyzu (much, komárů, mūr atd.) a pavouků. Také tito živočichové, kteří ve vstupních částech jeskyní nacházejí vhodné životní prostředí (např. meta temnostní – *Meta menardi*) nebo útočiště před nepříznivými podmínkami, jsou napadány různými entomopatogenními houbami (podrobněji v článku na str. 250 tohoto čísla *Živy*) a často pozorujeme mrtvé jedince viditelně porostlé houbou nebo nacházíme na stěnách kolonie vaticíkovitého vzhledu v místech, kde houby hmyz infikovaly a kompletně ho využily jako zdroj živin pro svůj růst (viz obr. 16 až 18).

Výskyt mikroskopických hub v ovzduší jeskyní lze očekávat, proto je překvapivé, že zvláště ve sdělovacích prostředcích bývají zveřejňovány informace o využívání prostor jeskyní pro speleoterapii vzhledem



12



13

k „ovzduší bez přítomnosti mikroorganismů“. Jeskynní vzduch obsahuje často bohaté spektrum spor mikroskopických hub, jejich počet a druhové zastoupení se liší mezi jednotlivými jeskyněmi i dílčími prostorami. Značný rozdíl jak v kvantitativním zastoupení, tak v druhovém složení byl zaznamenán i mezi jeskynním a venkovním ovzduším. Počty CFU (Colony Forming Units neboli kolonii tvořící jednotky, KTJ) v m³ vzduchu dosahují několik desítek až několik tisíc spor, přičemž přímá závislost na blízkosti/vzdálenosti sledovaných prostor od vchodu do jeskyně i na frekvenci návštěv turistů a jeskyňářů nebo na různých aktivitách prováděných v jeskyních nebyla během dlouhodobého monitorování jednoznačně prokázána. A právě v místech co nejvíce vzdálených od vchodu do jeskyně a s malou frekvencí návštěv byly mnohdy zaznamenány mnohem vyšší hodnoty CFU než v ostatních částech jeskyně.

Bohaté spektrum mikroskopických hub osídluje také zmiňovaný jeskynní sediment – v něm nacházíme běžné i vzácně izolované terestrické druhy. Vzhledem k nedostatku živin v sedimentu se všechny druhy mikromycetů musely přizpůsobit. Ať jde o reliktní druhy, které se dostaly

do těchto prostor v dávných časech po vytvoření jeskyní, nebo o mikroskopické houby, jež sem pronikly nedávno, označujeme je jako oligotrofní, tj. schopné růstu za velice nízké koncentrace živin v substrátu. Ne všechny mikroskopické houby v jeskyních ale patří mezi oligotrofní. Některé přežívají dlouhou dobu v pro ně nepříznivých podmínkách ve formě spor a čekají na přísun vhodného substrátu. To se týká řady druhů využívajících mrtvou organickou hmotu či koprofilních druhů. Ze sedimentu jeskyně Domica byla izolována poměrně vzácně nacházená koprofilní houba *Dimargaris bacillispora* (obr. 19 až 21). Předtím byla izolována pouze v USA z exkrementů myší a ještěřů a pozorována na tapířím exkrementu v Brazílii. Opakované nálezy jak v jeskynním sedimentu, tak na exkrementech jeskynních bezobratlých živočichů a dokonce i na jejich mrtvých tělech ale ukazují, že se tento druh v jeskyních podílí na rozkladu organických zbytků živočišného původu.

Jeskyně bez živin

V našich zeměpisných šířkách se striktně oligotrofní jeskyně (s obsahem dostupného uhlíku pro jeskynní mikrobiotu nižší než 15 mg/l v sedimentu) nevyskytují. Většinou jsou částečně nebo celé eutrofní, případně dystrofní (bohaté na rostlinný detritus, ale chudé na guáno a organickou hmotu živočišného původu) jako třeba Amatérská jeskyně v Moravském krasu – v ní se vyskytuje množství materiálu rostlinného původu, který se do podzemí dostává pravidelně splachem z povrchu. Ale i striktně oligotrof-

12 a 13 *Mortierella humilis* na mrtvém netopýrovi ve Sloupsko-šošůvských jeskyních (obr. 12, foto P. Zajíček).

Desetidenní kolonie na sladidlovém agaru a sporangiofor se sporangiem (13)

14 a 15 Nárosty *Pseudogymnoascus destructans* na těle netopýra velkého (*Myotis myotis*, obr. 14). Konidiofory a konidie (15). Foto A. Kubátová (14 a 15)

16 Entomopatogenní houby na můře v jeskyni Domica, Slovensko

17 Kolonie *Beauveria bassiana* na stěně Sloupsko-šošůvských jeskyní

18 Mrtvá zápfedka rumunská (*Agraecina cristiani*) – druh pavouka endemický v rumunské jeskyni Movile – s nárůstem neznámého druhu houby nalezené na stěně jeskyně.

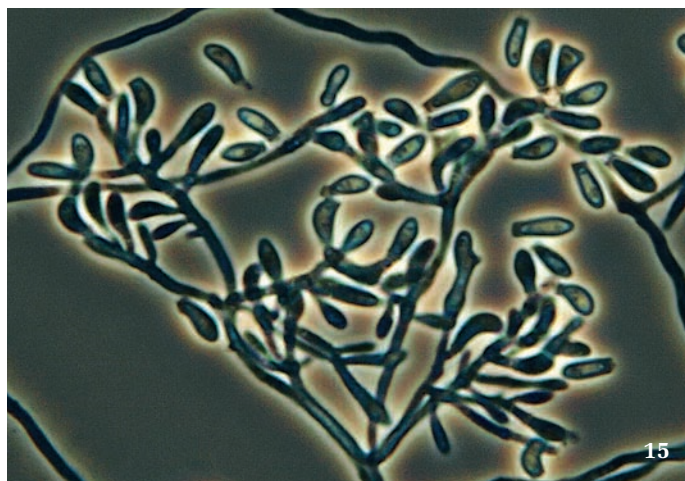
19 až 21 *Dimargaris bacillispora* – sporangiofory vyrůstající z těla stejnoonožce *Mesoniscus graniger* (obr. 21). Větvičky sporangioforů s typickými pučícími buňkami (budding cells, 19) a povrchová struktura sporangioforů (20) na snímku z elektronového mikroskopu

22 Mikrobiální plak na povrchu jezírka v jeskyni Movile obsahuje vedle chemoautotrofních bakterií i mikroskopické vláknité houby. Snímky A. Novákové, pokud není uvedeno jinak

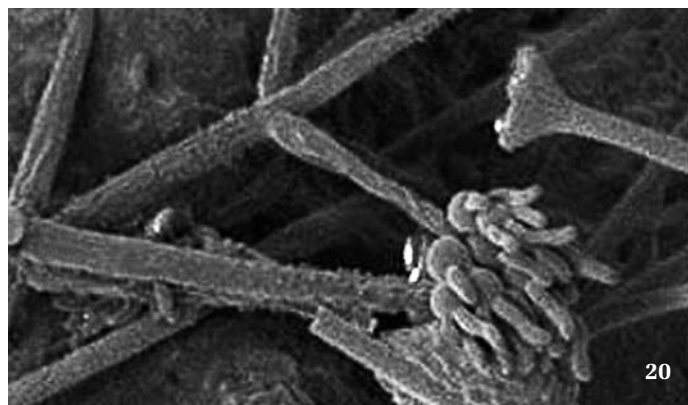
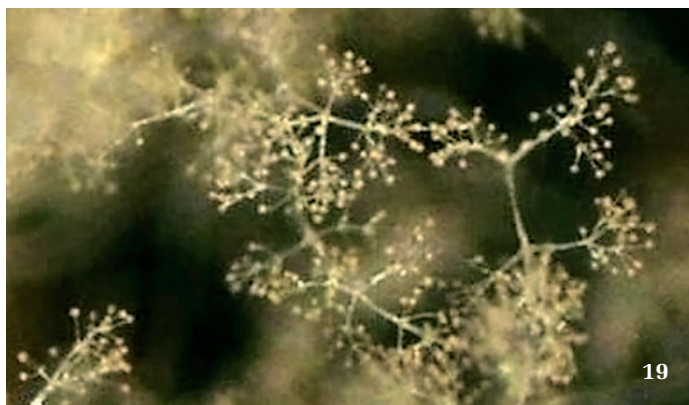
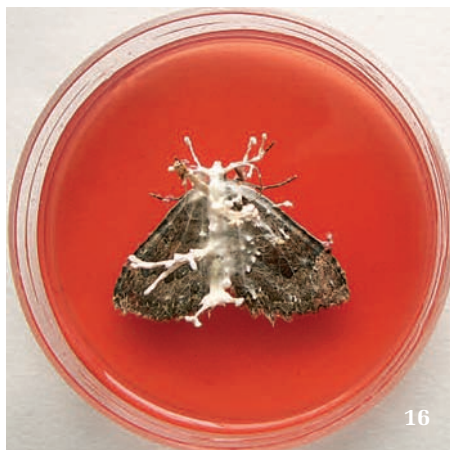
ní jeskyně, např. Lechuguiella a Carlsbad v Novém Mexiku (USA), jsou přes zdánlivý nedostatek organických látek osídleny mikroskopickými organismy. V některých podzemních prostorech můžeme narazit na místa s vysokou koncentrací oxidu uhličitého v ovzduší. V České republice např.



14



15



ve Zbrašovských aragonitových jeskyních jsou známa místa, běžně nazývaná plynová jezera, se skutečně vysokou koncentrací CO_2 . Přestože pro většinu živočichů včetně člověka jsou koncentrace přesahující 1 % při dlouhodobém pobytu životu nebezpečné, výskyt mikroskopických hub zde negativně ovlivněn nebyl – hodnoty CFU v ovzduší plynových jezer s 2,3–17,1 % CO_2 byly jen nepatrně nižší než v ovzduší na návštěvnické trase. V jeskynním sedimentu vykazovaly v některých místech vyšší, někde naopak nižší hodnoty u vzorků odebraných z plynových jezer a zjištěný počet izolovaných druhů byl větší než v sedimentu s koncentrací CO_2 pod 1 % (normální koncentrace ve venkovním ovzduší na Zemi je 0,03 %). Výsledek odráží schopnost řady hub nejen přežít, ale i růst lépe v podmínkách se zvýšeným množstvím CO_2 ve vzduchu.

Jinou kapitolou jsou „chemoautotrofní“ jeskyně, tedy jeskynní systémy, jejichž potravní řetězec se částečně nebo úplně zakládá na chemoautotrofních bakteriích. Tyto organismy nevyužívají sluneční energii jako ostatní autotrofové na Zemi, ale rozkladem anorganických látek jako me-

tan, oxidy síry, sirovodík apod. získávají energii pro tvorbu jednoduchých organických sloučenin, a ty potom využívají přítomní heterotrofové. Jeskyně tohoto typu jsou známy hlavně ze Severní a Střední Ameriky (Cesspool Cave, Lower Kane Cave, Cueva de Villa Luz, Lechuguilla Cave, Carlsbad Cave), ale i z Evropy (Frassasi Caves, Peștera de Movile) nebo Asie (Cuup-Coutunn Cave, Ayyalon Cave). Většina z nich je klasifikována jako oligotrofní a pouze v části těchto systémů dochází k vývěrům sírných pramenů a různých plynů, využívaných chemoautotrofními bakteriemi jako zdroj energie. Výjimku představuje jeskyně Movile v Rumunsku, která byla přibližně 5,5 milionu let izolována od venkovního prostředí převrstvením vápencového bloku sedimenty. Byla objevena v r. 1986 při náhodném geologickém vrtu a dodnes je hermeticky uzavřena před okolním světem (otevřít se jen výjimečně k odběru vzorků za přísných opatření proti kontaminaci). V tomto zcela unikátním systému bez přísunu energie a živin vznikl se vytvořil potravní řetězec založený na využití termálních pramenů a vývěrů metanu, sirovodíku a oxidů síry. Přestože jde o extrémní prostředí s nízkým obsahem kyslíku a naopak vyššími koncentracemi CO_2 , sirovodíku, metanu a oxidů síry (zvláště v submerzní části jeskyně označované anglicky jako airbells), ukázalo se, že se v jeskyni vyskytuje široké spektrum běžných druhů mikroskopických hub. V unikátním světě uzavřeném v hloubce 25 m pod povrchem byly nalezeny např. druhy rodů *Penicillium*, *Talaromyces*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Purpleocillium*, *Microsporium* a *Spiniger*, které se vyskytují i na zemském povrchu. Součástí mikrobiálního plaku tvořeného chemoautotrofními bakteriemi jsou i vláknité nárůsty druhů rodu

Trichoderma – hlavně *T. harzianum*, *T. virens* a *T. asperelloides* (obr. 22). Zvláště bohaté zastoupení bylo zaznamenáno u rodu *Aspergillus* – v jeskyni bylo zjištěno 25 druhů včetně několika nových, a to učinilo z tohoto prostoru celosvětově v případech tohoto rodu zatím druhově nejbohatší jeskyni.

Bohaté spektrum mikroskopických hub i dalších mikroorganismů v jeskynním prostředí – v ovzduší, sedimentu a na různých depozitech živočišného nebo rostlinného původu – je odrazem zcela specifických podmínek. Zvláště stálá hladina vzdušné vlhkosti a stabilní teplota jim zaručují vhodné prostředí pro růst. Díky tomu jsou schopné na substrátu vytvářet kolonie viditelné pouhým okem, které vydrží růst mnohem déle než v proměnlivých podmínkách mimo jeskyně. Řada druhů nebyla mimo jeskynní prostředí dosud nalezena a lze předpokládat, že některé druhy bude možné využít v biotechnologiích nebo v medicíně pro jejich schopnosti produkovat různé sekundární metabolity.

