

Vhledy do půdy

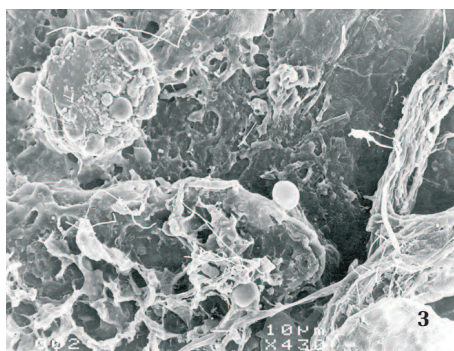
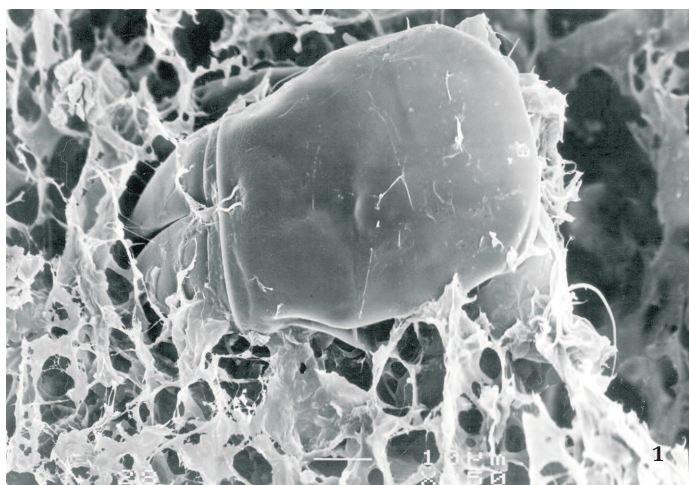
Půdu většinou vnímáme jako neprůhlednou hmotu, do níž se můžeme podívat jenom při rytí nebo při orbě, a i tak pouze na část přístupnou dennímu světlu. Vědci si dlouho lámali hlavu nad tím, jak pozorovat a studovat i jemnější struktury půdy, ale podařilo se to dost pozdě. Teprve koncem 30. let 20. stol. napadlo moravského rodáka prof. W. Kubienu, působícího v té době na univerzitě ve Vídni, použít ke studiu půdní mikrostruktury podobnou techniku, jakou měli geologové při studiu mikrostruktury hornin. To, že půda je oproti horninám málo soudržná a nedá se diamantovými nástroji řezat, natož brousit do velmi tenkých průhledných výbrusů, obešel Kubienu trikem. Napojil vysušenou půdu zředěným kanadským balzámem a vzorek pak v laboratorních píčkách vysoušel až do stupně, kdy balzám ztvrdl do tuhé pryskyřice. Takto upravená půda se dala opatrně řezat a zpracovávat na tenké výbrusy vhodné pro mikroskopické studium. Teprve vývoj umělých pryskyřic polymerujících do průhledné skálotvrdé hmoty přinesla jejich široké využití nejen při výrobě skořepinových kajaků nebo kanoí, ale i při studiu půdy pod mikroskopem.

Dříve, než přikročím k vlastnímu tématu půdní mikrostruktury, chtěl bych upozornit na to, že vnitřek půdy, její mikro- a ultrastruktury můžeme studovat i jinými metodami než půdními výbrusy. Jednou z takových přímých metod je studium neporušených půdních struktur i s jejich mikroskopickými obyvateli skenovacím (rastrovacím) elektronovým mikroskopem (SEM). Půdní vzorky si ale musíme připravit tak, abychom nenarušili jejich mi-

krostrukturu a obyvatelstvo – edafon. Musíme být rovněž vybaveni znalostmi k rozpoznání mikroorganismů, drobných živočichů a jejich stop v půdním mikroprostředí. K takovému přímému studiu se půdní vzorek nejdříve rychle hluboce zmrazí na teplotu nižší než $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v lyofilizačním přístroji ho sublimací ve vakuu zbavíme ledu. Malé úlomky půdy, opadu nebo kořínků pak k dalšímu studiu pokovíme a vzorek je připraven.

Na takto zpracovaných vzorcích půdy je nejobtížnější se zorientovat a poznat, co která struktura představuje. Ne všechny půdní organismy se zachovávají v přírodních pozicích, řada z nich je při přípravě různým způsobem poškozena, zatažena do schránek nebo má zhroutený (propadlý, scvrklý) povrch. Ze série vzorků se vyberou ty zdařilejší. Ty nám pak pomáhají vytvořit si představu o spletitém systému chodbiček, ultramikroprostředí spletitá a houštin houbového vlášení i s jejich obyvateli, ale i o složitých procesech mechanického rozkladu rostlinného opadu, na němž se účastní nejen půdní živočichové, ale v některých fázích i drobné půdní houby – mikromycety. Na připojených snímcích vidíme, v jakém prostoru se v půdě pohybují někteří zástupci půdní mikrofauny a mezofauny a jaké prostředí jim vytvářejí mikromycety, bakterie, rozkládající se listový opad nebo tlející dřevo, ale i exkrementy půdních bezobratlých. Některé z obrázků ilustrovaly již dříve podrobný seriál o životě v půdě (Živa 2000, 1–6), ale pro jejich názornost je využíváme i nyní.

Obr. 3 zachycuje plochu $250 \times 188\text{ }\mu\text{m}$ (= tisícinny mm) ve spodní části značně rozloženého bukového opadu. Pozadí snímku tvoří zbytky silně rozkouskovaného a rozloženého bukového opadu pokrytého různě dlouhými hyfami hub. V dolní levé a středové části se nachází rozkládající se exkrement larvy dvoukřídlého hmyzu (*Diptera*) s potrhaným povlakem peritrofitické membrány, což je střevní epitel obalující ve střevě potravu a vylučující do ní trávicí fermenty – tato membrána propouští živiny z potravy do střeva a krevního oběhu. U pravého okraje snímku vidíme rozkládající se kořínek o průměru $40\text{ }\mu\text{m}$ a jeho slabší větve směřující nahoru. V levé horní části se nachází



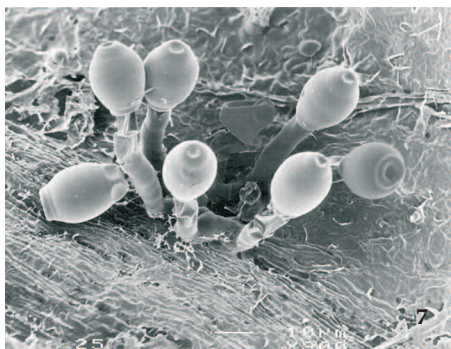
kulovitá schránka krytenky *Cyclopyxis eurystoma* o průměru 65 µm složená z různých velkých minerálních úlomků horniny. Kulovité útvary o průměru 14–15 µm vyrůstající z exkrementu nebo ze zbytku rozloženého bukového opadu jsou schránky (sporangia) se spory mikroskopických hub.

Obr. 5 ukazuje 700×500 µm velkou plochu (tj. 0,35 mm²) bukového opadu asi o 5 mm blíže k povrchu než u předchozího snímku. Povrch listu je porostlý hustou spleť hyf mikromycetů, v nichž vidíme skupinky krytenek. Hlavním bezobratlým je zde ale blíže neurčený druh volně žijících háďátek (*Nematoda*). Aby byl obrázek reálnější, musíme si na tomto místě představit asi 0,5 mm silný povlak vody, v níž háďátka v půdě žijí. Takovýto porost houbových vláken představuje ultramikroprostředí, v němž se odehrávají velmi důležité rozkladné pochody v půdě, kde existuje kompetice mezi druhy a kde se formují první ultramikročástečky půdy, jež se postupně spojují do větších mikrostruktur, a tak se vytváří počátek půdního profilu. Bází tohoto „mikrolesa“ (nebo lépe ultramikrolesa) tvoří celistvá, ještě nerozpukaná plocha kutikulárního listového povrchu (viz levá část snímku). Uvnitř jsou ale bukové listy v opadu silně narušované chemicky. To v SEM nemůžeme vidět, ale prokázalo se to na půdních výbrusech, na nichž měla parenchymatická pletiva světlehnědou barvu.

Na obr. 7 vidíme, že průduchy v kutikule listů pronikají na povrch sporofory (plodonoše) mikromycetů s oválnými sporangii (= oválné schránky), v nichž jsou spory. Sporangia jsou více než 20 µm vysoká. Houbová vlákna v parenchymatických pletivech bukového opadu mají dostatek živin a namnoží se tak silně, že jejich náporom praská kutikula a vnitřek listů



6



se otevírá prasklinami invazi půdní mezo- i mikrofauny. Na obr. 4 jsou na ploše 330×230 µm v kutikule listu velké trhliny, do nichž pronikají háďátka a jiná vodní půdní fauna. U levého okraje snímku vyrostl kutikulárním průduchem jiný typ sporoforu a sporangia, než je na již zmíněné fotografii (obr. 7). Drobnými půdními houbičkami zpracovaná kutikulární povrchová pletiva rozkládajícího se listového opadu patří k oblíbené potravě roupic (*Enchytraeidae*). Na zkonzumovaných místech se odkrývají velké prostory parenchymatických listových pletiv přístupných nyní jako potrava i dalším skupinám půdní fauny, jako např. některým trombidiformním roztočům (sametkovci – *Trombidiformes*, viz obr. 1, jehož plocha je 120×80 µm). Do tohoto různorodého prostředí bohatého na potravní zdroje se postupně stěhuje diverzifikované společenstvo půdní mikro-, mezo- i makrofauny, jako např. celá řada vířníků (*Rotatoria*), chvostoskoků (*Collembola*) nebo drobných dravých roztočů z čeledi *Tydeidae* (obr. 2). Studium mikrosukcese postupného oživování listového opadu bylo a je cílem řady experimentů, při nichž se sleduje atraktivita různých druhů opadu (umístěného do sílonových sítěk) pro různé skupiny edafonu.

Půdní výbrusy

Ale vraťme se k půdním výbrusům. Půdní struktury vznikají rozkladem mrtvé organické hmoty, jejím příjmem jako potravy různými saprofágními organismy, průchodem zaživacím traktem a odložením silně odvodněných zbytků nevyužitých potravy ve formě tvarově charakteristických exkrementů zpět do půdy. Tvorba půdních mikrostruktur, forem humusu, půdního profilu i půdních typů závisí na sukcesním vývojovém stadiu celého ekosystému a jeho dílčích složek, zejména na půdních organismech a jejich životních formách, na rostlinném pokryvu, klimatu a na minerálním substrátu (na tomto místě odkazují na schéma zákonitosti vývoje půdy a celých ekosystémů – Živa 2000, 5: 218).

Snímky 8–10 znázorňují základní fáze přípravy půdních vzorků s neporušenou mikrostrukturou a další postup jejich pomalého vysoušení při laboratorní teplotě. Vzorky se zalévají do monomeru polyesterové pryskyřice CHS 105, pomalu polymerují bez přísadky urychlovače i bez tvrdidla a nakonec asi po jeden měsíc trávající polymeraci se dále zpracovávají na diamantových pilách, bruskách a brusných kotoučích. Následuje koncová úprava do 15–20 µm tenkých výbrusů mikroskopických preparátů, kdy jsou horniny i mikrostrukturální částice půdy prostupné pro světlo a vhodné pro pozorování a studium v mikroskopu. Příprava půdních výbrusů je práce velmi náročná a vyžaduje zručnost jemného mechanika.

Přijatá potrava je většinou zřetelně patrná na dobře projasněných celkových mikroskopických preparátech půdních živočichů. Zástupci saprofágních pancířníků (*Oribatida*) rozkládajících listový či jehličnatý opad, dřevo, kůru, ale i těžko rozložitelná sklerenchymatická pletiva šišek obalují potravu v zaživacím traktu ně-



8



9



10



11

- 1 Sametkovec (*Trombidiformes*) požírající houbami silně rozložené parenchymatické listové pletivo v bukovém opadu
- 2 Dravý roztoč z čeledi *Tydeidae* na povrchu narušeného bukového opadu
- 3 Listový opad s krytenkou *Cyclopyxis eurystoma*
- 4 Pukliny v listové kutikule bukového opadu s háďátkem *Miculenchus salvus*
- 5 Nenarušený bukový opad s „ultramikrolesem“ houbových hyf s háďátkem (*Nematoda*) a krytenkami (*Testacea*)
- 6 Pancířník *Passalozetes africanus* s formovanými exkrementy v zadní části střeva
- 7 Plodničky mikroskopických hub vyrůstající průduchy na povrchu listu v bukovém opadu
- 8 Vzorky k půdním výbrusům se odebírají do kovových rámečků (krabiček) s oboustrannými víčky a v laboratoři se odvíčkováně pomalu vysušují
- 9 Suché vzorky jsou opatrně přeneseny do nádobek ze silnější hliníkové folie a ve vakuu zalaty do polyesterové pryskyřice
- 10 Po pomalé polymeraci trávající zhruba měsíc jsou vzorky půdy ztvrdlé jako hornina. Na diamantové pile se zpracovávají na menší bločky a brousí na 15–25 µm tenký výbrus
- 11 Série půdních výbrusů pokrytých tenkým krycím sklem je po zaschnutí připravena k vyhodnocování pod mikroskopem

kolika vrstvami peritrofické membrány. V konečnicku se ze zbytku nevyužitě potravní masy do těla odčerpá voda a do okolního prostředí, tj. do dutiny zkonsumovaných rostlinných pletiv, je odložen 30–50 µm dlouhý nezaměnitelný typický exkrement oválného tvaru, světlehnědé barvy, s hladkým povrchem peritrofické membrány a bez minerálních částic uvnitř (obr. 6 a obr. na 3. str. obálky).

Naprostě odlišné jsou exkrementy roupic prostupující střevem ve velkých od sebe oddělených „soustech“ s vyčnívajícími kusy různorodé potravy (roupice potravu neobalují peritrofickou membránou). Exkrementy jsou 120–200 µm dlouhé,

v půdě volně ložené nebo shloučené ze všech stran podél chodbičky roupice. Jsou světlehnědé až černé, podle toho, zda jde o roupice žijící v moderové formě humusu nebo v surovém humusu a kromě organické hmoty, spor a mycelia mikromycetů obsahují i různě velké minerální částice (obr. 13).

Podobné, ale podstatně menší (30–75 µm) jsou exkrementy chvostoskoků (obr. 12), v půdě volně ložené nebo pokrývající povrch listů mezi jednotlivými vrstvami v opadu a obsahující rovněž drobné minerální částice. Necháte-li uschnout mechový polštářek ze kořenových náběhů v lese nebo ze staré střechy, pak drobné černé

částičky vyklepané na dlaň nebo na bílý papír jsou právě exkrementy chvostoskoků. V reliktních tundrových půdách sněhových políček vysoko v horách jsou půdní mikrostruktury zastoupeny výhradně těmito exkrementy (obr. 12). Stejně tak je tomu v arktických půdách.

Se sukcesním vývojem půdy se zvyšuje počet živočišných skupin účastnících se rozkladu mrtvé organické hmoty a tím se znásobuje i rozrůžňování půdních mikrostruktur (obr. 14 a obr. na 3. str. obálky). Do půdotvorných pochodů vstupuje makrofauna a důležitou roli začínají hrát mnohonozky (*Diplopoda*), suchozemští stejnooči (*Oniscidea*), larvy některých skupin dvoukřídleho hmyzu a epigeické druhy žížal (*Lumbricidae*). Exkrementy mnohožek jsou válcovitého tvaru až 0,5 mm v průměru, obalené hladkou peritrofickou membránou. Skládají se z velkých kousků mrtvé organické hmoty nebo menších exkrementů půdní mezofauny (např. chvostoskoků) a vždy obsahují větší či menší minerální částice. Larvy dvoukřídleho hmyzu, zejména ze skupiny dlouhorožců (*Nematocera*) s vyvinutými kusadly, produkují nepravidelné kulovité nebo vejčité exkrementy velikosti 0,25 až 0,5 mm v průměru. Velké částice listového opadu v nich jsou promísené s minerálními částicemi a silně nahloučené. Půdní mikrostruktury o průměru až 1,4 mm produkují larvy čel. muchnicovitých (*Bibionidae*). Epigeické druhy žížal mají až 5 mm velké nepravidelné exkrementy, v nichž se velké rostlinné částice mísí s většími i menšími minerálními zrny (obr. 14). V půdách s nejvýše vyvinutou formou humusu – v tzv. měli (mull) jsou nejdůležitějším půdotvorným činitelem endogeické a anektické (hlubinné) druhy žížal.

Studium půdní mikrostruktury umožňuje také zjišťovat původce odlišných struktur, kvantifikovat jejich podíl v různých částech půdního profilu, jejich proměny nebo stálost v čase, ale umožňuje sledovat i podíl vzduchových prostůrek a chodeb v půdě, podíl minerálních a organických částic i stupeň jejich promísení činností půdních organismů (více se dočtete v článkách: Živa 2000, 1–6; 2003, 5; 2006, 4).

12 Mikroartropodový moder dominantně složený z exkrementů chvostoskoků (*Collembola*) z reliktní tundrové půdy na Vysoké holi v NPR Pradě v Jeseníkách

13 Moderová forma humusu z porostu brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus*) nad Velkým kotlem v NPR Pradě v Jeseníkách. Menší exkrementy jsou produktem roupic (*Enchytraeidae*), velká hnědá struktura je produktem krátkorohých dvoukřídlejších (*Brachycera*)

14 Kompaktní exkrement epigeické žížaly (*Lumbricidae*) s prorůstajícím kořínkem a se zbytky nerozložených rostlinných pletiv, hnědé drobnějších exkrementů roupic, chvostoskoků a larev dvoukřídlejších (*Diptera*) zkonsumovaných žížalou spolu s množstvím modře zbarvených minerálních částic (částičně polarizované světlo do modra zbarvilo i průřez kořínkem). Všechny snímky J. Ruska

