

Jak jsme popsaly v předchozích kapitolách, současné hospodaření v krajinně zvonovec nepodporuje. Ve vysokokmenných lesích je velký zástín. S rostoucí eutrofizací bují bylenná i keřová vegetace, vůči níž má zvonovec (především semenáčky a juvenilní rostliny) malou šanci přežít. Na lokalitách přibývá expanzivních druhů. Vzhledem k tomu, že podobná situace nastává také u dalších rostlin (lesní orchideje, ploštičník evropský atd.), ale i lesních druhů motýlů, je pozornost Nature 2000 věnována ochraně takových stanovišť.

Zachování populací zvonovce na lesních lokalitách je podmíněno pravidelnými řízenými zásahy, kterými bude potlačováno šíření ostružiníků, třtiny křovištní, náletových dřevin, zachová se prosvětlení a vyloučí zásahy spojené s plošnou těžbou a taháním dřeva. V místech výskytu nitrofilních rostlin bude místy žádoucí vyhrabání části organické hmoty, jež se podílí na zvyšování úživnosti prostředí.

Na lučních lokalitách bychom měli napodobit maloplošné obhospodařování prováděné v minulosti, tj. vhodně rozdělit luční enklávy do dílčích ploch a pro každou vybrat optimální zásah nebo kombinaci více zásahů. Ve všech případech je nutné sledovat vývoj, výsledky průběžně vyhodnocovat a postupy podle potřeby upravovat. Také je třeba věnovat pozornost ekotonům, které musejí být dostatečně prosvětlené a intenzita disturbance kolem cest musí být kontrolována, aby nedocházelo k poškozování rostlin zvonovce. Cílem všech opatření je zároveň umožnit klíčení semen a podpořit růst semenáčků a juvenilních rostlin zvonovce, aby během několika let vytvořily kvetoucí trsy. V okolí současných lokalit se doporučuje vytvářet vhodné podmínky (mikrostanoviště) pro spontánní nebo řízené šíření druhu z jeho zdrojových populací. Řízené šíření druhu spočívá v kontrolování a evidování výsevch nebo výsadbách rostlin z experimentál-

ních kultur za respektování původnosti semen nebo vysazovaných rostlin. Zkušenost z Polska, kde druh pěstují v 6 botanických zahradách a semena jsou uložena ve dvou kryobankách, ukazuje, jak zajistit konkrétní populace v záložních a záchranných kulturách pro případnou nutnost obnovy populací nebo reintrodukcí. Tímto směrem jde též Česká republika, kde je v současné době pro zvonovec liliolistý dokončován text záchranného programu.

*Průzkum lokalit zvonovce liliolistého v letech 2011–14 byl financován ze specifického výzkumu na Univerzitě Hradec Králové. Sledování populací a stanovišť, testy klíčivosti, genetické analýzy a tvorba textového dokumentu záchranného programu byly v letech 2015–17 finančně podpořeny ze zahraničních zdrojů (EHP/Norska) – projektu MGSII-17.*

Doporučená literatura na webu Živý.

Klára Řeháková, Kateřina Čapková

## Fenomén biologická půdní krusta v aridních oblastech

**Biologické půdní krusty jsou společenstva organismů, hlavně sinic, zelených řas, mikroskopických hub, mechů a lišejníků, žijící na povrchu půdy. Vyskytují se po celém světě, na všech kontinentech, hlavně v chladných i teplých aridních oblastech, kde tvoří podstatnou složku ekosystému a jejich pokryvnost může dosáhnout až 70 % – na ty se zde zaměříme. V menší míře je nacházíme i v jiných biotopech, jako jsou otevřené prostory mediteránních lesů, na obnažených půdách alpínské a tundrové vegetace nebo ve stepích či na výsypkách důlních jam. V nehostinných pouštích biologická půdní krusta ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půd, a tím zlepšuje životní podmínky pro rostliny, živočichy i člověka. Jde o křehký ekosystém, který se může snadno poškodit. Návrat na původní stanoviště pak trvá i půl století.**

Povrch zemské pevniny pokrývá, velmi zjednodušeně a nepřesně řečeno, buď vegetace, nebo volná půda. Na půdním povrchu může docházet ke spojování drobných půdních částic do pevnějších celků nazývaných obecně půdní krusty. Agregaci půdních částic způsobují buď procesy fyzikální (abiotické), nebo biologické. Fyzikální krusty vznikají především působením vody a větru, na jejich vytváření se nepodílejí žádné živé organismy (obr. 1). Naopak biologické půdní krusty vznikají právě činností velkého množství mikroorganismů, které dokážou slepit půdní částice k sobě (obr. 2).

Společenstvo biologických půdních krust se skládá z jednobuněčných i mnohobuněčných organismů, jak primárních producentů (tedy fotosyntetizujících organismů, fototrofů), tak heterotrofů (vyživujících se organickými látkami). Nejdůležitějšími pri-

márními producenty jsou zde sinice, mikroskopické řasy a mechy. Heterotrofy zastupují hlavně bakterie a půdní mikroskopické houby a v menší míře archea. Sekundární půdní heterotrofové (hlavně mikro- a mezofauna o velikosti 0,1–2 mm), jako jsou hlístice, prvoci, viřníci nebo želvušky, se nacházejí ve společenstvu krust méně často a tvoří v něm významnou složku. Stejně je to i s makrofaunou.

### Vznik a typy krust

Při vzniku nové biologické půdní krusty hrají hlavní roli sinice a jejich lepkavé slizové pochvy, které si utvářejí kolem vláken a kolonií. Silné slizové pochvy je chrání před vysycháním a mohou tak i v nehostinném pouštním prostředí vytvářet velké kolonie. Na pochvy sinic, případně na vlákna mikroskopických hub se postupně nachečívají drobné částice půdy menší než 1 mm.

Takto chráněná půda umožní dalším mikroorganismům lépe se uchytit na povrchu, kde nebezpečné částice snadněji podléhají větrné erozi a vysychání.

Nejdůležitější sinice, také nazývané architekti biologických půdních krust, patří do rodu *Microcoleus* a rostou jako svazek vláken ve velmi silných slizových obalech. K nim se v průběhu vývoje půdní krusty přidávají zástupci dalších sinicových rodů jako jednořadka (*Nostoc*, obr. 3 a 4) nebo *Scytonema*. Ve stabilním prostředí se pak zvyšuje biomasa heterotrofních bakterií, zelených řas a mikroskopických hub. V závislosti na okolních podmínkách často půdní krustu na závěr kolonizují ještě lišejníky (např. rod hávnatka – *Peltigera*, dutohlávka – *Cladonia*, huspeník – *Collema*), nebo mechy (např. z rodů rourkatec – *Syntrichia*, prutník – *Bryum*, hrozob – *Ceratodon*).

Podle toho, které organismy nakonec převládnu, dělíme krusty na sinicové, řasové, lišejníkové a mechové (obr. 5 a 6). Mohou být i čistě mikrobiální – v nich dominují pouze sinice či mikroskopické řasy, chybějí mechy a lišejníky. Mechové a lišejníkové krusty potřebují ke svému vývoji větší množství srážek a jejich výskyt bývá určen hodnotou pH půdy, na které se nacházejí. Mechové krusty se častěji vyskytují na kyselejších půdách, zatímco lišejníkové spíše na zásaditějších.

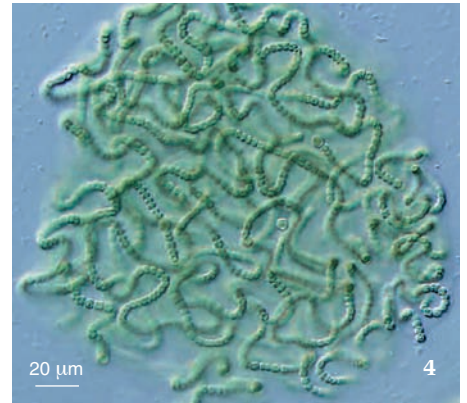
Dalším znakem, podle něhož lze biologické půdní krusty klasifikovat, je jejich výsledný tvar. Je určován hlavně teplotou (mrazem) a množstvím srážek v polopouštích a pouštních oblastech, kde se s krustami setkáváme. Rozlišujeme krustu hladkou, vrásčitou (rugózní), zvlněnou (rolling) a věžovitou (pinnacled; obr. 7). Hladká krusta je typická pro velmi suché a horké pouště (roční srážky 110–200 mm; africká Kalahari) a dosahuje výšky maximálně 1 cm. Vrásčitá se nachází v horkých pouštích s mírně vyšším úhrnem srážek (100 až 400 mm; např. americká Sonorská poušť) a dorůstá 1–3 cm. Zvlněná krusta se typicky tvoří v extrémně chladných pouštích (Tibetské plato) a na výšku má 3–5 cm. Poslední věžovitý typ je charakteristický pro chladné pouště (např. Coloradská plo-



**1 a 2** Typy křust tvořících se na půdním povrchu. Fyzikální půdní křusta (obr. 1) vzniká výhradně působením fyzikálních abiotických podmínek (vysychání, mráz atd.). Biologická půdní křusta (2) se vytváří činností mikrobiálních půdních organismů.

**3 a 4** Architekti biologických půdních křust. Makroskopická kolonie sinice z rodu jednořadka (*Nostoc*) po dešti (obr. 3). Mikroskopické slizové kolonie jednořadky uvnitř s vlákný (4) přispívají k dalšímu zpevňování půdní křusty.

**5 a 6** Typy biologických půdních křust. Lišejníková a mechová (obr. 5), mikrobiální (6) s dominujícími sinicemi



šina) a dosahuje mocnosti 5–15 cm. V našich podmínkách (třeba na důlních výsypkách, ale i jinde) najdeme převážně vrásčité biologické půdní křusty, které však nejsou tak vyvinuté jako v aridních oblastech.

Vyvinuté půdní křusty vznikají několik desítek let. Příčinou tak pomalého růstu je limitace extrémními teplotami, nízkými i vysokými, a zároveň malým množstvím srážek v aridních oblastech. Mikroorganismy podléhající se na jejich vzniku jsou proto aktivní jen po krátké období roku, kdy panuje vhodná kombinace teploty a vlhkosti. Ve chvíli, kdy nastanou příznivé podmínky, jsou organismy žijící v křustě schopné reagovat téměř okamžitě. Respiraci lze zaznamenat již během tří minut po zavlhčení povrchu křusty a fotosyntetická aktivita se ustálí během jedné až dvou hodin.

Křusty představují křehký ekosystém, snadno narušitelný lidskou činností. Suché oblasti s jejich potenciálním výskytem obývá jedna miliarda lidí. Mezi hlavní aktivity ohrožující křusty se řadí pastva (podobný vliv jako volně se pasoucí dobytek mohou mít i divoce žijící zvířata, ale úživnost aridních ekosystémů neumožňuje vznik velkých stád např. sudokopytníků), cvičení vojsk v militárních zónách a turismus. Jedním šlápnutím zničí člověk nebo pasoucí se dobytek křustu, která se vytvářela 40 let a její obnova potrvá dalších 40 let. Výzkumu obnovy křust na narušených půdách se věnují dosti intenzivně hlavně vědci v USA a v Číně. Sledují, jak rychle dochází k obnově, jestliže je narušená půda inokulována původními druhy sinic a řas, a jako kontrolní plochy jim slouží půdy ponechané přirozené obnově.

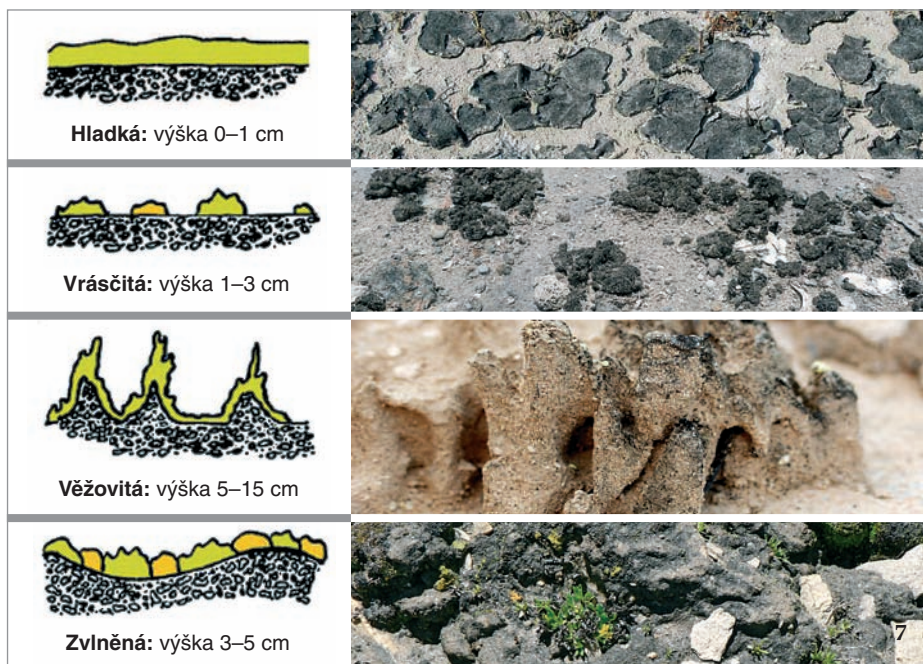
### Proč jsou biologické křusty tak důležité pro člověka a pouštní biotopy?

Slizové pochvy sinic mechanicky stabilizují povrch půdy, snižují tak odnos jemného materiálu z aridních oblastí, prašnost prostředí a na ni navázané jevy (např. i alergie obyvatel). Zároveň zadržují vodu a prodlužují její retenci v povrchových vrstvách půd. Další fyzikální vlastností, kterou ovlivňují, je míra odrazivosti záření (albedo) od povrchu půdy. Většinou jsou křusty tmavé, což způsobují pigmenty (scytone-min, karotenoidy) přítomné hlavně u sinic – pohlcují záření a zvyšují svou teplotu. V chladných pouštích tato vlastnost umožňuje rychlejší roztání vody a její dostupnost pro organismy a mikrobiální procesy, např. rozklad organické hmoty nebo fixace dusíku probíhají při vyšších teplotách rychleji. Podobně může vyšší teplota povrchu ovlivňovat klíčivost semen.

Chemismus půd úzce souvisí s abiotickými (složení podloží) a biotickými faktory ovlivňujícími množství živin, jež do eko-

systemu proudí. Významnými biotickými faktory jsou fotosyntéza a fixace dusíku, ale také dekompozice, kterou obstarávají zejména heterotrofní bakterie, houby a v menší míře bezobratlí. Organickou hmotu – zdroj uhlíku pro pouštní ekosystém – mohou společně rozkládat a do systému uvolňovat mechy, sinice, řasy a bakterie. Cévnaté rostliny obohacují půdu v bezprostředním okolí formou opadu a volný prostor mezi rozptýlenými rostlinami zůstává bez zdroje organického uhlíku, pokud není pokryt biologickou půdní křustou. Jestliže je křusta vyvinuta, poskytuje uhlík heterotrofním organismům, a tím dochází k obohacení prostoru živinami. Limitující živinou pouští je dusík. Vyskytuje se zde v nízkých koncentracích oproti jiným ekosystémům a zároveň tu najdeme velmi málo rostlin schopných dusík fixovat. Tuto funkci obstarávají sinice a lišejníky se sinicovým symbiontem v křustách. Vědecké studie prováděné v pouštích USA udávají, že míra fixace dusíku může být 2–365 kg/ha ročně.





7 Tvary biologických půdních krust. Blíže v textu

8 Průřez biologickou půdní krustou o mocnosti 4 cm. Ve spodní části (tmavě hnědě zbarvené) je nezpěvněný substrát, šedá zóna představuje počátek vzniku krusty, kde dochází ke zpevňování půdních částic slizovými pochvami sinic. Světle zelená a černá zóna jsou již povlaky sinic. Černou barvu svrchní vrstvy způsobuje barvivo scytonemin v pochvách sinic, které chrání před ultrafialovým zářením. Snímky a orig. K. Řeháková

kde rostou mezi kameny lišejníkové krusty. Nejvíce krust se ale vytvořilo na opuštěných výsypkách hnědo- a černouhelných pánví v okolí Sokolova, Mostu a Ostravy, kde stabilizují půdy a zabraňují erozi, stejně jako v pouštích typu Sonory nebo Kalahari.

#### České zapojení do výzkumu

Náš tým z Botanického ústavu Akademie věd ČR, v. v. i., se zaměřil na otázku, jak funguje biologická půdní krusta v niválním a subniválním ekosystému vysokohorské pouště v Ladaku (Tibetská náhorní plošina; viz také Živa 2012, 4: 190–192). Biologické krusty v oblasti Ladaku studujeme od r. 2008. V prvních letech jsme se zabývali taxonomií půdních sinic, tvořících dominantní složku zdejších krust. Dále jsme mapovali výskyt krust v měnicích se vegetačních pásch podél výškového gradientu (4 500 až 6 100 m n. m.). Postupně se náš výzkum soustředil na roli krust ve fungování místního ekosystému. V jednom z odlehklých údolí Ladaku jsme instalovali síť čidel, která sledují průběhy teplot a vlhkosti v půdě a na jejím povrchu. Zároveň jsme uskutečnili několik expedic, při nichž jsme měřili aktivitu krust (fotosyntézu/dýchání) přímo v terénu v různých obdobích roku. Získaná data ukáží, kdy a v jaké míře krusty fixují uhlík, a umožní vytvořit model koloběhu uhlíku v ekosystému horské pouště. Část výzkumu věnujeme také vzájemným vztahům mezi jednotlivými složkami ekosystému, např. rostlina-sinice-bakterie. Přestože půdní krusty studujeme již téměř 10 let, s každou další odpovědí se objevuje mnoho dalších otázek o jejich funkcích i významu.

Výzkum je financován projektem Grantové agentury České republiky (č. 13-13368S).

Použitá literatura uvedena na webové stránce Živy.

Množství závisí na druhovém složení sinic v krustě a na podmínkách prostředí.

O živiny obohacená půda umožňuje lepší klíčení a růst rostlin. U původních pouštních druhů byla zaznamenána vyšší klíčivost v krustách a lepší uchycení semenáčků než u druhů nepůvodních. Druhy cévnatých rostlin lépe klíčící v krustě mají větší semena s mechanismy, které jim umožní do krusty proniknout – jako např. hygroskopická osina. Krusty zabraňují klíčení drobných semen invazních trav např. v aridních oblastech jihozápadu USA, kde jinak dochází k masivnímu porůstání ploch s narušenými krustami trávou svehpem střesním (*Bromus tectorum*). Zároveň bylo dokumentováno, že keře *Coleogyne* z čeledi růžovitých (*Rosaceae*) nebo trvalky *Strepantanthella* (brukvovitě – *Brassicaceae*) rostoucí v krustě měly vyšší hodnoty dusíku v listech než jedinci z volné půdy. Rostliny s větším obsahem živin představují kvalitnější zdroj potravy pro velké herbivory a bezobratlé. Zároveň produkují opad, kterým se opět dostávají živiny do nutričně chudého ekosystému pouště.

Pokud dojde k velkoplošnému narušení půdních krust, může se stát, že i přes jejich následnou ochranu se ekosystém již není schopen vrátit do původního stavu. Vymizením krust se zcela změnil fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a původní i invazní rostliny ji budou využívat zcela jinak. Jelikož rostliny rostou i v poušti rychleji oproti půdním krustám, než se tento křehký mikrokosmos obnoví, krajina kolem už může být změněna. Konkrétní příklad lze uvést ze západu USA, kde najdeme rozlehlá území narušená pastvou skotu a kolonizovaná invazními rostlinami, vytlačujícími původní druhy. Již nyní je jasné, že ráz krajiny se k původnímu stabilnímu koloběhu nedokáže vrátit. Nikdo neví, jak se tento nový systém do budoucna zachová, jak dlouho budou zavlečené rostliny odolávat aridním podmínkám a zda postupně nedojde k úplné dezertifikaci krajiny, kde nepřežijí ani vytlačené původní druhy. Prvním zřetelným efektem se stal dopad na chov skotu, protože nové druhy trav nejsou oproti mizějícím keřům tak

živinově bohaté a dobytek trpí nedostatkem potravy.

Přestože jsou biologické půdní krusty celosvětově rozšířené a zaujímají významnou úlohu v ekosystémech, jejich výzkum je poměrně mladým odvětvím, i když se o jejich výskytu zmiňují (zejména) lichenologické práce již v 18. stol. Biologické půdní krusty byly nazývány různými jmény. Nejprve jako kryptogamické krusty v 70. letech 20. stol., kdy byly živé organismy taxonomicky děleny pouze do dvou tříd (rostliny a živočichové). S následujícím pokrokem v taxonomii, s přeházením sinic, řas a lišejníků do nových taxonomických tříd, se objevují nové názvy – mikrobiální, mikrofytické krusty a konečně dnešní jméno – biologické půdní krusty. V počátcích výzkumu se jejich taxonomií a funkční ekologií věnovali především botanici a půdní biologové, později se přidali agronomové. Vědci pozorovali v prostoru mezi rostlinami výskyt povlaků různých organismů – sinic, řas, lišejníků i mechů, a zaznamenali, že v těchto místech dochází ke změnám struktury půdy. Začátkem 20. stol. se objevují zprávy o užitečnosti kryptogamických krust při stabilizaci půdy a zadržování vody v krajině. Zároveň vycházely první práce o možnosti inokulovat narušené půdy řasami a lišejníky, aby se rychleji obnovila stabilita půd. Od r. 1991, kdy se konala první specializovaná konference o půdních krustách USA, jsou již biologické půdní krusty lépe známým fenoménem jak mezi vědeckou, tak laickou veřejností. Přestože dnes víme mnoho o jejich taxonomii, rozšíření a důležitosti, stále ještě není probádána jejich přesná role v ekosystému.

#### Biologické půdní krusty u nás

Na území České republiky najdeme biologické krusty také, ale musíme se vypravit na specifická stanoviště, která připomínají klimatickými a pedologickými podmínkami aridní oblasti. Např. na Moheleenské hadcové stepi můžete pozorovat tenké povlaky zelených řas. Na nejvyšších vrcholcích Krkonoš se nacházejí mrazem třídné kamenité a velmi mělké alpské půdy,