

## Vliv invazí žížal na lesní ekosystémy Severní Ameriky

Šíření nepůvodních druhů představuje jeden ze závažných a stále narůstajících problémů ochrany přírody. Zároveň má v mnoha případech i negativní dopady na lidské zdraví nebo hospodářství. Studium invazních rostlin a živočichů, tedy takových, které po překonání přirozené překážky šíření záměrným nebo nezáměrným působením člověka osídlují nové oblasti a přitom vytlačují původní druhy, je dnes vzkvétající odnoží ekologického výzkumu. Nenažde se asi čtenář *Živy*, který by nevěděl o boji s bolševníkem velkolepým (*Heracleum mantegazzianum*) u nás i v dalších částech Evropy a nezaznamenal např. problémy s normem americkým (*Neovison vison*). V případě invazních druhů bezobratlých jsou známy zejména případy patogenních druhů nebo jejich vektorů, případně zemědělských škůdců (klasickým příkladem z doby, kdy o invazních druhích ještě nikdo nehovořil, je mandelinka bramborová – *Leptinotarsa decemlineata*). Ve světě ale probíhají také biologické invaze ve skrytu, někdy doslova „pod povrchem“, o nichž se tolik nemluví ani nepíše. Asi jedny z nejvýznamnějších živočišných invazí, které lze v současné době stále pozorovat a které mají závažné důsledky pro původní ekosystémy, jsou invaze nepůvodních druhů žížal v Severní Americe.

Nepůvodní žížaly se šíří i v jiných oblastech, včetně tropů. I tam mají částečně charakter invaze. Případ Severní Ameriky zůstává jedinečný hlavně tím, že zde žížaly pronikají do oblastí, kde se dosud, přinejmenším od poslední doby ledové, žádné nevyskytovaly. Zajímavé také je, že zde žížaly, a to v první řadě naše evropské druhy, vystupují v roli organismů škodlivých, ačkoli jsme si zvykli na ně pohlížet jako na živočichy výsostně užitečné. Obojí je ovšem spjata s velkým vlivem, který mají na půdu i celé terestrické ekosystémy (přesněji některé jejich druhy). Jde totiž o klasické „ekosystémové inženýry“, tedy druhy, které vlastní činností významně a trvale přetvářejí své životní prostředí, a tím mění podmínky i pro ostatní druhy, s nimiž toto prostředí sdílí.

Studium invazí žížal v Severní Americe se rozvíjí od 90. let 20. stol. Dnes představuje jeden z prominentních předmětů výzkumu v rámci půdní biologie, kterému bylo za posledních zhruba 20 let věnováno množství odborných i popularizačních článků. Mimo odborné kruhy a Severní Ameriku však zůstává toto téma málo známé. Vliv žížalích invazí byl zkoumán z nejrůznějších hledisek, o jejich působení na jinou půdní faunu však stále víme překvapivě málo. Možná méně neočekávaně, pokud uvážíme, že ve Spojených státech amerických i v Kanadě pracuje ve srovnání s Evropou málo půdních zoologů a většinu půdně-zoologických výzkumů na těchto územích provádějí právě hostující badatelé z Evropy. Sám jsem v letech 2010–11 jako stipendista Fulbrightova

programu na University of Minnesota zkoumal vliv na mou zájmovou skupinu, totiž drobné „sestřenice“ žížal – roupice (*Enchytraeidae*), ale také na aktivitu mikrobiálního společenstva. Proto bych tuto problematiku čtenářům *Živy* rád přiblížil.

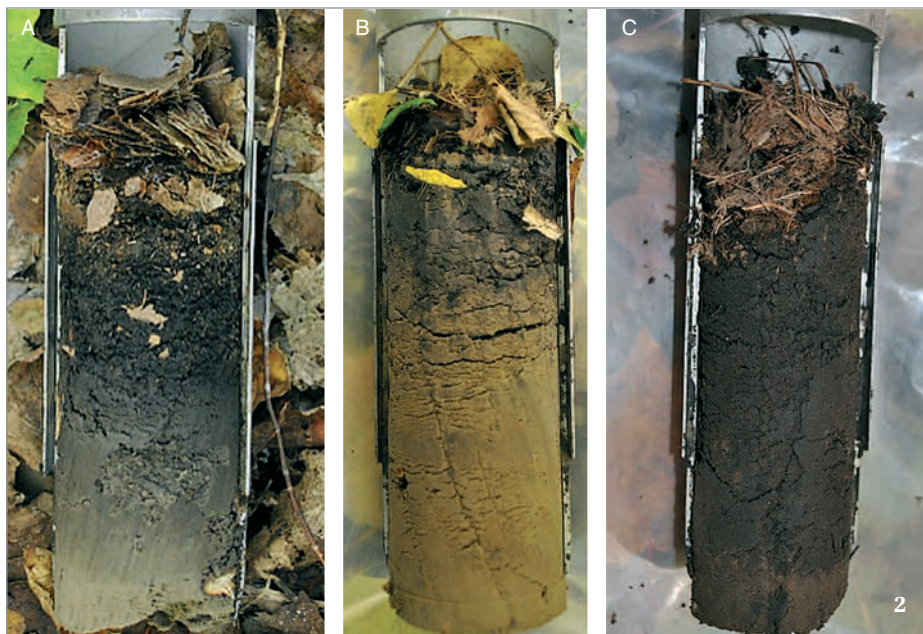
### Původní rozšíření žížal v Severní Americe

Je obecně známo, že vyšší rozmanitost flóry a fauny Severní Ameriky oproti Evropě je spjata s rozdílnou orientací hlavních pohoří na obou kontinentech, resp. subkontinentech. V Evropě představovaly severozápadně probíhající hlavní hřebeny Pyrenejí, Alp a Karpat v dobách postupujícího zalednění významné bariéry pro ústup druhů na jih a na konci glaciálů opět překážky pro jejich návrat na sever (další významnou bariéru tvořilo Středozemní moře, jehož velikost a průběh břehů se ale měnily). V Severní Americe míří hlavní horstva víceméně severojižním směrem, takže ústupu druhů na jih a opětovnému návratu na sever nestála v cestě. Žížaly však patrně nejpozději od posledního zalednění (wisconsinského, před ca 12 tisíci let) v rozlehlé oblasti od východního pobřeží (Nová Anglie, stát New York, přiléhající jihovýchodní část Kanady) až po oblast Velkých jezer (která v současné době vznikla právě na konci posledního glaciálu) zcela chyběly, a to navzdory tomu, že se zde nachází podloží a vyvinuly se tu ekosystémy, které jsou pro život žížal příznivé. Jediný otazník vyvolává nálezkou kokonu žížaly *Dendrodrilus rubidus* (žížalovití – *Lumbricidae*) v Ontariu, a to v sedimentu, jehož stáří bylo odhadnuto na 8 800 let př. Kr. Těžiště výskytu žížal v Severní Americe se až do příchodu Evropanů nacházelo na jihovýchodě, tj. v jižní části Appalačského pohoří a jižně od něj. Rekolonizace severním směrem po ústupu zalednění musela postupovat velice pomalu. Oblast západním směrem navazujících prérií je pro žížaly příliš suchá, takže další původní druhy žijí až zase podél tichomořského pobřeží v pásu od jižního okraje posledního zalednění (o málo severněji, než leží dnešní hranice mezi Kanadou a USA) na jih. Na zdejších prériích západně od Skalnatých hor žily největší severoamerické žížaly *Driloleirus americanus* a *D. macelfreshi* (*Megascolecidae*), dosahující délky přes 1 m. Obě jsou dnes velice vzácné, v prvním případě zůstává z původního stanoviště druhu (stepního ekosystému označovaného jako Palouse prairie) jedině procento, zbytek byl přeměněn v ornou půdu.

Pojem žížala je z hlediska taxonomického vymezení poměrně široký a zahrnuje řadu čeledí, ač přinejmenším většinu z nich řadíme do monofyletického taxonu *Crassicitellata* a ten do tradičního – avšak snad rovněž monofyletického – taxonu *Megadrili*. Zatímco v Evropě náleží žížaly převážně do čeledi *Lumbricidae* (ve střední a severní Evropě to platí pro všechny suchozemské půdní druhy), je tato čeleď v Severní Americe zastoupena pouze dvěma rody (*Bimastos* a *Eisenooides*) s 12 druhy; hojně se vyskytuje však několik jiných čeledí, především *Acanthodrilidae* a *Megascolecidae*. Celkový počet rodů a druhů s původním výskytem v Severní Americe



1



1 Žížala rodu *Amyntas* s typickým úzkým, avšak nápadným opaskem, z čeledi *Megascolecidae*, původem z východní Asie. Piedmont National Wildlife Reserve, Georgia, USA

2 Půdní sondy s horními 12–15 cm půdy odebrané podél transektu kolmo na invazní frontu několika evropských druhů žížal z čeledi *Lumbricidae* v Chippewa National Forest v Minnesotě, USA. A – stav před invazí, bez žížal, B – stav na invazní frontě, C – stav po invazi na místě s etablovanou populací žížaly obecné (*Lumbricus terrestris*). Akumulace organického materiálu u ústí chodby žížaly je vidět v horní části profilu.

severně od Rio Grande (tj. vyjma Mexiko) se odhaduje na 15–17 a 123–170 (včetně druhů dosud platně nepopsaných).

### Introdukce a šíření nepůvodních druhů

Žížaly nepatřily k živočichům, jejichž výskyt by původní kolonisté v Severní Americe považovali za hodný zaznamenání. K zavlečení evropských druhů žížal do Nového světa došlo dávno předtím, než začali přírodovědci zdůrazňovat jejich význam pro tvorbu a úrodnost půdy. Stalo se tak mimoděk, a to patrně převozem semenáčů s kořenovými baly a vykládaním zeminy (běžně se užíval písek), která částečně sloužila jako balast v lodích. Odolnější než samotné žížaly jsou přitom jejich kokony s vajíčky. Můžeme předpokládat, že evropské druhy z čeledi *Lumbricidae* začaly osídlovat zemědělskou půdu na východním pobřeží Severní Ameriky v průběhu 17. stol. krátce poté, co zde byly založeny první evropské kolonie (pokud si kolonisté nevšimli jejich původní nepřítomnosti, brali pak jejich výskyt jako něco samozřejmého). Průběh šíření žížal z hlediska jednotlivých druhů a osídlování konkrétních oblastí prakticky není jak doložit – ačkoli by na tyto otázky mohlo vrhnout více světla studium příbuznosti jednotlivých populací pomocí molekulárně biologických metod. Je ale celkem jasné, že šíření do odlehlejších oblastí nevyužívaných k zemědělství probíhalo mnohem pomaleji.

Vznikly však chovy žížal za účelem jejich využití při kompostování a jako návnada pro sportovní rybáře. Zatímco běžné „kompostové“ žížaly, tj. žížala hnojní (*Eisenia fetida*) a blízce příbuzná *E. andrei* (která dnes v kompostech mnohde převažuje), se vzhledem ke svým specifickým nárokům příliš do volné přírody nešíří, jsou mnohé žížaly chované a prodávané jako návnada běžné půdní druhy. V těchto chovech přitom často nejde o čisté monokultury jednoho druhu, ale jsou „kontaminovány“ druhy dalšími. Vzhledem k velké popularitě sportovního rybářství v USA i Kanadě, a zvyku kupovat si návnadu (tam, kde žížaly dosud nežijí nebo nejsou hojné, si je jen tak sami nenasbíráte), se tyto druhy dostávají v rostoucí míře do odlehlých oblastí s víceméně zachovalými přírodními ekosystémy. Začaly se proto šířit i tam, kde zcela scházely populace původních severoamerických druhů žížal. Především tedy do severní části Nové Anglie a navazující jižní Kanady a dále na západ kolem Velkých jezer, ale také např. do oblasti na východním úpatí Skalnatých hor v kanadské Albertě. Vědecké studie u Velkých jezer přitom jasně ukázaly, že výchozími body pro šíření žížal do okolních lesů jsou tábořiště, chatové osady, motely, příjezdové cesty, přístaviště a obecně břehy stojatých i tekoucích vod využívaných sportovními rybáři (tzn. místa, kde se rybáři pohybují a kde dochází k úniku, vytroušení nebo vypouštění žížal). Nepůvodní žížaly se také šíří do oblastí s původní žížalí faunou, tedy na jihovýchodě USA a podél tichomořského pobřeží.

Při stále narůstajícím obchodě s Čínou, Japonskem a dalšími asijskými zeměmi se subtropickým až mírným klimatem dochází k opakovanému zavlečení příslušníků jiných žížalích čeledí i z těchto oblastí. Jihovýchod USA tak v minulých desetiletích úspěšně osídlilo několik druhů asijského rodu *Amyntas* (*Megascolecidae*, obr. 1). Zdá se, že se šíří ještě rychleji a vyznačují se ještě větší konkurenceschopností než druhy čeledi *Lumbricidae*. Naděje, že nízké zimní teploty zastaví jejich postup severním směrem, se zatím potvrdila jen částečně. Žížaly *Amyntas agrestis*

a *A. hilgendorfi* byly nedávno zjištěny až v kanadském Ontariu.

Ve světle výše řečeného budiž na okraj uvedeno, že tzv. kalifornské žížaly, kterým obchodníci (a bohužel i média) od 90. let prezentují jako americké kompostovací „superžížaly“, jsou ve skutečnosti příslušníci evropských druhů *Eisenia fetida* a *E. andrei* z čeledi *Lumbricidae*. O opodstatnění stále šířených tvrzení o jejich zvýšené výkonnosti pomocí vyšlechtění nebo hybridizace lze pochybovat.

### Něco o ekologii žížal a jejich působení na půdu

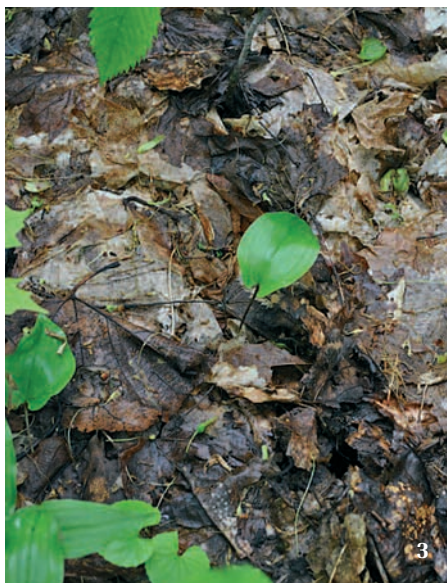
K pochopení vlivu žížalích invazí je třeba vědět, jak žížaly žijí a ovlivňují půdní prostředí, potažmo celé suchozemské ekosystémy. Zde si připomeneme pouze obzvláště závažné skutečnosti, a to na základě podmínek v Evropě, které jsou těm severoamerickým klimaticky blízké a odkud také pochází většina studií k biologii a ekologii žížal. V Evropě se žížaly vyskytují ve všech typech půd, které se nevyznačují extrémně kyselou reakcí (určitou výjimku tvoří půdy severnější Skandinávie a Ruska, kam proniká až v důsledku zemědělského využití – zde ovšem spojeného s nastolením příznivějších, méně kyselých podmínek). Do relativně kyselých půd proniká jediná ekologická skupina, a to žížaly epigeické – jde o druhy drobného vzrůstu žijící v organických vrstvách, případně v tlejícím dřevě (nejsou tak vystaveny toxickým iontům hliníku, jejichž koncentrace v půdním rozkladu při nízkém pH povážlivě stoupá). Vliv na strukturu půdy mají spíše malý, konzumují však část nadložního humusu. V půdách slabě kyselých až neutrálních, případně lehce bazických, se k nim přidávají druhy endogeické – obývající horní část minerální půdy ve víceméně horizontálních chodbách a živící se organickou složkou této půdy, a žížaly anektické, které vytvářejí svislé chodby sahající za vhodných podmínek až do hloubky několika metrů a ústící na půdním povrchu. Do těchto chodeb zatahují listový opad (ale také např. semena), který při dosažení vhodného stupně rozkladu požirají. Kolem ústí jejich chodeb vznikají hromádky organického materiálu, jenž se při zatahování do chodby zachytil nebo od jehož zatahování žížala upustila (často hůře rozložitelné a stravitelné části opadu, jako jsou řapíky listů), a žížalího trusu (směsi minerální půdy a organických látek). V angličtině se jim odborně říká middens, v doslovném překladu kupka hnoje či odpadků. Endogeické a anektické žížaly ukládají svůj trus částečně na půdním povrchu a částečně ve svých chodbách pod povrchem. Jak zatahování tlejícího listí i jiného organického materiálu do půdy, tak vyměšování na povrchu vede k promíchávání minerální a organické složky půdy, tzv. bioturbaci. Efekt lze tedy v leccem srovnat s převrácením půdy rytím nebo orbou. Půda je přitom na jedné straně pomocí chodeb a tvorbou větších půdních agregátů (trusu) rozvolňována, provzdušňována i odvodňována (vlivem vertikálních chodeb), na druhé straně však dochází k jejímu zhutňování v místech, kde si žížaly razí chodby tlakem svého hydrostatického skeletu. Lepší vsakování vody do půdy protkané svislými

chodbami může bránit vodní erozi povrchové půdy, na druhé straně mohou právě hromádky trusu na povrchu této erozi podléhat. Tyto dílčí vlivy přítomnosti žížal na strukturu půdy a procesy probíhající v daném ekosystému se tak ve svých konečných důsledcích mohou lišit podle podmínek v daném místě.

Tam, kde jsou zastoupeny všechny tři ekologické skupiny žížal, především však anektické druhy, vzniká poměrně mocný svrchní horizont minerální půdy obohacené amorfní a vcelku stabilní organickou hmotou (humusem v užším slova smyslu). Tato hmota obsahuje hodně uhlíku a mnoho míst, na která se mohou vázat ionty dalších živin. Příznivě tedy ovlivňuje úrodnost půdy. Většina porostního opadu je za klimatických podmínek mírného pásu zapracována během roku dřívě, než dojde na podzim k jeho opětovnému hromadění. Povrch půdy tak dočasně zůstává takřka bez opadu, máme před sebou humusovou formu mull (česky také měl). Trvalé vrstvy víceméně rozloženého opadu nad minerální půdou, tzv. nadložní humus, vznikají pouze tam, kde přinejmenším anektické a endogeické žížaly z nějakých důvodů dosahují pouze nízkých populačních hustot nebo chybějí. V Evropě k tomu dochází na kyselém podloží, případně mohou napomáhat acidifikace opadem jehličnanů a antropogenní kyselá deště. S klesajícím pH půdy a klesajícím zastoupením žížal (zároveň se mění i jinak skladba půdní fauny a v rámci mikroflóry začínají převládat houby oproti bakteriím) se humusová forma mění na moder a posléze mor neboli surový humus, kdy máme mocné vrstvy málo rozloženého opadu (horizont L), jeho fragmentů (drti, horizont F) a amorfního humusu (horizont H), vše jako tzv. nadložní humus, nepromíchané se svrchní vrstvou minerální půdy (viz také Živa 2006, 4: 174–176). Jak si ukážeme níže, vliv žížal na tvorbu těchto základních humusových forem je zcela klíčový.

### Žížalí invaze a původní lesní ekosystémy Severní Ameriky

Většina studií o invazích žížal v Severní Americe byla zaměřena na lesy, a proto se na ně omezuje také tento příspěvek. Vliv žížal je v nich nejvíce patrný a souvisí právě se změnou humusové formy (obr. 2). V severní části areálu listnatých a smíšených lesů, od východního atlantského pobřeží po přechod k stepním ekosystémům západně od Velkých jezer, pronikají nepůvodní žížaly do lesů, které se po poslední době ledové vyvíjely bez jejich přítomnosti. V místech, kam žížaly zatím nedorazily, existují mocné vrstvy nadložního humusu, a to i v případě, že jsou půdy pouze slabě kyselé nebo neutrální (vzhledem k přirozenému okyselení nacházíme bazické půdy v humidním klimatu jen na extrémních stanovištích, jako jsou mělké půdy na vápenci nebo pramená slatiniště se srážejícím se pěnovcem). Možná ale již brzy nastane čas, kdy zcela zmizí původní stav, kdy kroky mokasínů domorodých obyvatel i zálesáků tlumila pružná organická vrstva (obr. 3). Na průběh a rozsah změn má samozřejmě vliv to, které druhy, resp. ekologické skupiny žížal, a v jakém časovém sledu daný lesní porost



osídlí. Zpravidla jako první dorazí jeden či více epigeických druhů, jako jsou *Dendrobaena octaedra* nebo *Lumbricus rubellus* (*Lumbricidae*). Mohou významně snížit mocnost nadložního humusu a navodit velmi mělké a neúplně promíchané organických horizontů s nejsvrchnější minerální půdou. Málodky však zůstanou samy. Často se s určitým zpožděním (z místa zavlečení se šíří spíše chodbami zakládanými v minerální půdě, což jejich postup brzdí) objeví druhy endogeické, např. *Aporrectodea caliginosa* nebo *Octolasion lacteum* (*Lumbricidae*), a anektické – v Severní Americe zpravidla náš učebnicový archetyp, žížala obecná (*Lumbricus terrestris*). Nejmladší juvenilní jedinci tohoto druhu žijí epigeicky (jako mnozí příslušníci stejného rodu po celý život), a šíří se proto poměrně rychle po povrchu. Trvá však nějaký čas, než dorostou natolik, aby přešli na anektický způsob života. V té chvíli jejich dopad na daný ekosystém dosahuje nové kvality: nadložní humus mizí na celých plochách půdy a objevuje se holá minerální půda s chomáčky organického materiálu u ústí jednotlivých chodeb dospělců (obr. 4). Hustota chodeb přitom může být velmi vysoká.

Obecně dosahují žížaly v nově osídlených lesích značných populačních hustot, protože mají k dispozici množství nahromaděné potravy. Ustupují mnohé byliny a na holých místech se mohou uchytit některé mechy nebo traviny (obr. 5), např. profituje ostřice *Carex pensylvanica*. Mizí též drobná kapradina, endemická v západní části oblasti Velkých jezer – vratička *Botrychium mormo*. Bylo doloženo, že s úbytkem některých druhů plavuní (*Lycopodium* spp.) klesá hnízdní úspěšnost lesních druhů ptáků hnízdicích na zemi, především drozda rezavoocasého (*Catharus guttatus*) a lesňáčka oranžovotemenného (*Seiurus aurocapilla*). Brzy na jaře, před rozvinutím bylinné vegetace, plavuně jejich hnízdním patrně poskytují důležitý kryt. Ukázalo se, že mnohé původní rostliny se přizpůsobily klíčení v mocné vrstvě nadložního humusu a ve změněných podmínkách klíčí špatně nebo prohrávají konkurenční boj s jinými druhy. To platí i pro javor cukrový (*Acer saccharum*), který zde částečně představuje dominantní dřevinu

s velkým hospodářským významem pro své ceněné dřevo i výrobu javorového sirupu (obr. 6). Na obnažených půdách se daleko lépe daří javoru červenému (*A. rubrum*), který se v daných porostech často také vyskytuje, ovšem v nižších počtech. Invaze žížal by tedy z dlouhodobého hlediska mohla vést ke změně druhové skladby lesního porostu. Ta by nezůstala bez negativního hospodářského dopadu tam, kde se javor cukrový využívá k získávání sirupu (javor červený je vzhledem k nižší koncentraci cukru v míze méně vhodný). Dřeviny při invazi žížal trpí také obnažením části kořenového systému, resp. minerální půdy, v níž se většina kořenů nachází těsně pod povrchem (obr. 7). V období sucha jsou tak mnohem víc vystaveny nedostatku vláhy. V podmínkách severoamerických lesů vede působení žížal k snižování půdní vlhkosti a spíše k zhutňování půdy než k jejímu kypření.

Změny v půdním pokryvu a půdě nahrávají uchycení nepůvodních invazních druhů rostlin. Jedna skupina invazních organismů tak může podporovat další, přičemž dochází k pozitivní zpětné vazbě. Takto se projevuje např. řešetlák počitavý (*Rhannus cathartica*), keř až malý strom původně rozšířený v Evropě, západní Asii a severní Africe, který je v Severní Americe invazní. Poskytuje listový opad bohatý na živiny, zvyšuje pH i obsah dusíku v půdě, v jeho stínu je půda chladnější a vlhčí. Jeho vymýcení na pokusných plochách vedlo k snížení biomasy evropských invazních žížal o polovinu. Především ty druhy, které se výrazně podílejí na konzumaci listového opadu, vytvářejí vhodné podmínky pro uchycení řešetláku, jenž klíčí nejlépe na obnažené minerální půdě. Přítomnost žížal mění složení semenné banky a tím schopnost vegetace se obnovovat. Děje se tak na úkor vytrvalých bylin charakteristických pro pozdní sukcesní stadia, tedy rostlin špatně snášejících narušování svého prostředí. Projevují se zde jak selektivní sběr semen žížalami, kterým slouží za potravu, tak změny podmínek pro přežívání a klíčení semen v půdě.

Výše popsané změny na půdním povrchu se promítají i do hloubky půdního profilu: přechod k humusové formě mull znamená, že se většina organického uhlíku



**3** Před invazí: půdní povrch s mocnou organickou vrstvou a bylinnou vegetací v jarním aspektu lesního porostu bez žízal. Chippewa National Forest

**4** Po invazi: půdní povrch s obnaženou minerální půdou a hromádkami organického materiálu v místech vyústění chodeb anektické žízaly obecné v porostu. Podzimní aspekt v Chippewa National Forest

**5** V lesním porostu s etablovanými populacemi několika evropských druhů žízal čeledi *Lumbricidae* převládají v bylinném patře zástupci lipnicovitých (*Poaceae*). Jarní aspekt u Tower Lake

**6** Naproti tomu v lesním porostu bez žízal na mnoha místech velice dobře zmlazuje javor cukrový (*Acer saccharum*). Jarní aspekt nedaleko Tower Lake blízko Drummond, Chequamegon-Nicolet National Forest, Wisconsin, USA

nyní nachází ve formě amorfního humusu promíchaného s minerálními částicemi v mocném organicko-minerálním horizontu. Z hlediska dlouhodobé dostupnosti živin rostlinám bývá takový stav zpravidla hodnocen kladně. Výsledky výzkumu této problematiky v souvislosti s žízalými invazemi však tuto úvahu zpochybňují. Celkový efekt invazí žízal na množství uhlíku a dusíku v severoamerických lesních půdách stále nebyl jednoznačně objasněn. Příčinou mohou být metodické odlišnosti (a nedostatky) jednotlivých studií, ale i skutečné rozdíly mezi lokalitami v závislosti na konkrétních podmínkách (není sporu o tom, že takové rozdíly existují). Několik studií naznačuje, že úbytek těchto prvků spojený s úbytkem organických půdních horizontů („nadložního humusu“) převažuje nad jejich přesunem do minerální půdy a stabilizací v ní. Avšak v případech, kdy byla zohledněna půda v celé hloubce využívané žízalami, výsledky spíše ukazují celkový nárůst obsahu uhlíku a dusíku. Je možné, že žízaly natolik podporují populace půdních mikroorganismů, především bakterií, a tím dekompozici a remineralizaci, že dochází k úniku většího množství uhlíku v podobě oxidu uhličitého z půdy do ovzduší.

### Vliv na ostatní půdní organismy – mikroorganismy a živočichy

Výzkum působení invazí žízal na mikroorganismy se zpravidla soustředí na produkční veličiny důležité pro ekosystémové procesy, méně na detailní složení mikrobiálního společenstva. I samotná invaze epigeických druhů žízal, jejíž vliv na lesní ekosystémy se zdá poměrně malý, vedla k poklesu mikrobiální biomasy. Rovněž v akumulacích organického materiálu a trusu žízal u ústí chodeb žízaly *Lumbricus terrestris* byla mikrobiální biomasa i respirace nižší než v organické vrstvě na ploše mezi těmito akumulacemi. Důvodem mohl být vyšší obsah minerální půdy z větší hloubky, která se jako žízalí trus dostala na povrch a obsahovala méně organického materiálu, který by mikroorganismům skýtal potravu. Tam, kde byla přítomna endogeická žízala *Octolasion tyrtaeum*, však k obdobnému poklesu došlo i v hlubších vrstvách půdy. Je možné, že žízaly v dané situaci představovaly přímé konkurenty mikroorganismů o organickou hmotu v půdě. Ukazuje se, že následky žízalí invaze se mění v čase. Zatímco bezprostředně po jejich invazi nastane snížení množství mikrobiální biomasy a intenzity respirace, později, kdy se žízalí populace a společenstvo na lokalitě ustálí, lze zaznamenat návrat těchto veličin k vyšším hodnotám. Dopad na mikrobiální společenstvo vykazuje tedy průběh připomínající vlnu s největším propadem v místě, resp. době, odpovídající začátku invaze a s pozdější regenerací – ačkoli možná jen částečnou. Pokud jde o složení mikrobiálního společenstva, snižují žízaly podíl saprotrofních hub a některých skupin bakterií gramnegativních i nespecifických a naopak zvyšují zastoupení hub podílejících se na arbuskulární mykorhize a gram-pozitivních bakterií.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, poznatků o vlivu žízal na jinou půdní faunu není mnoho. Příslušné studie se dají spočítat na prstech dvou rukou a zabývaly se pouze několika obzvláště důležitými skupinami půdních bezobratlých: původními druhy žízal, mnohonožkami (*Diplopoda*), roztoči (*Acari*), resp. některými jejich skupinami – především pancířníky (*Oribatida*), chvostoskoky (*Collembola*) a příčiněním

autora tohoto článku také roupicemi. Často se přitom pracovalo pouze na úrovni vyšších taxonů, zájmové skupiny tedy nebyly určovány do druhů a případné změny struktury společenstev na této úrovni tak ani hodnoceny být nemohly.

Pokud jde o vliv „exotických“ žízal na domácí, zdá se, že invazní druhy získávají navrch především v narušených či nepůvodních biotopech, zatímco v zachovalých lesích původní druhy obstojně přežívají a často dosud převažují. Je otázkou, zda v druhém případě nejde pouze o přechodný stav, ačkoli populace původních druhů mnohdy dominují i dlouho poté, co se v jejich sousedství objeví nepůvodní druhy. Laboratorní studie ukázala, že invazní žízala z Asie *Amyntas corticis* představuje potravní konkurenta domácích druhů mnohonožek v jižní části Appalačského pohoří. Několik studií k vlivu invazních zástupců čeledi *Lumbricidae* na drobné členovce („mikroarthropoda“) provedených v terénu nebo v laboratoři přineslo dosti rozporuplné výsledky, které naznačují, že celá věc není jednoduchá. Při nízkých hustotách invazních žízal dochází k omezenému narušení prostředí, které má patrně za důsledek spíše nárůst počtu druhů a jedinců drobných členovců. Vyšší hustoty pak vykazují opačný, negativní efekt. V závislosti na rychlosti osídlení jistého lesního porostu žízalami, kdy v určité fázi jejich populační hustoty dosahují maxima a poté opět klesají, se i reakce drobných členovců mění v čase. Zvláště negativně se přitom mohou projevat epigeické druhy žízal, jako je *Dendrobaena octaedra*, ale také druhy endogeické jako *O. tyrtaeum*. První konzumují samotné prostředí, v němž mnozí roztoči a chvostoskoci žijí, druhé vítězí v konkurenci o potravu nacházející se v minerální půdě, tedy organickou hmotu a na ní navázané mikroorganismy. Naopak působení anektické žízaly obecně vede spíše k prostorovému rozrůzněnému půdnímu prostředí s neutrálním nebo pozitivním efektem pro drobné členovce. U další důležité složky půdní mezofauny, roupic, byl pozorován určitý propad celkové početnosti (abundance) a biomasy na invazní frontě s opětným nárůstem těchto veličin poté, kdy došlo k ustálení podmínek za přítomnosti



populací žížal všech tří ekologických skupin. Zároveň však došlo k posunům v druhovém složení taxocenózy roupic ve prospěch druhů většího vzrůstu, žijících v minerální půdě. To lze interpretovat jako přízpusobené se zvýšené hustotě půdy (na malém prostoru), které způsobuje činnost anektických i endogeických žížal. Přítomnost početné populace dospělců žížaly obecné přitom vedla ke koncentraci roupic v organické hmotě shromážděné u ústí jejich chodeb, zatímco v takřka zcela obnažené minerální půdě mezi těmito ostrůvky substrátu bylo roupic daleko méně. Celkový efekt na větší ploše pak působil neutrálně, obdobně jako u drobných členovců (viz výše).

To málo, co víme o změnách půdní mezofauny na druhové úrovni, naznačuje, že konečné změny poté, co se etablojí populace žížal (zpravidla několik druhů různých ekologických skupin), se budou týkat spíše struktury jejich taxocenóz (přítomnosti a procentuálního zastoupení konkrétních druhů) než produkčně biologických veličin, jako jsou abundance a biomasa (ačkoli i zde patrně dochází k určité redukci). Pro některé původní druhy mezofauny severoamerických lesů, včetně mnohých dosud nepopsaných, to znamená riziko vyhynutí. Lze doufat, že vysoká heterogenita půdního prostředí na malém prostoru umožní přežívání většiny takto zasažených druhů, ač v daleko menších populacích, než v jakých žily před příchodem žížalích vetřelců.

Hodně pozornosti bylo věnováno vlivu invazních žížal na ochránářsky významnou skupinu ocasatých obojživelníků – mločikovitých (*Plethodontidae*) – s mnoha druhy omezeného endemického výskytu v různých oblastech východní části Severní Ameriky (nejvyšší diverzity dosahují v jižní části Appalačského pohoří). Úbytek nadložního humusu a drobných členovců, kteří ho obývají, vede k strmému poklesu lesních druhů mločíků. Ukázalo se však také, že jeden z nejhojnějších druhů, mločík popelavý (*Plethodon cinereus*, obr. 8) z přítomnosti žížal spíše profituje, protože je přijímá za potravu a využívá chodby anektických druhů jako úkryty snižující negativní efekty predace, vnitrodruhové konkurence i mortality následkem zimních mrazů.

### Závěr

Invaze nepůvodních žížal do severoamerických lesů představují velice komplexní proces, v jehož průběhu dochází ke změnám ve struktuře lesních ekosystémů. Jejich studium „v přírodní laboratoři“ umožňuje bližší poznání obecných vztahů těchto „ekosystémových inženýrů“ s jinými organismy a jejich vlivu na abiotické podmínky. Konečná bilance změn, které žížalí invaze přináší, přitom zatím zůstává neznámá a následky doslova nedozírné, ač z hlediska základních funkcí postižených lesních ekosystémů patrně nikoli katastrofální. Severoamerická příroda se od příchodu „bílého muže“ musela vyrovnat s řadou zásahů, včetně mnoha nenápadných změn zapříčiněných i dalšími invazními organismy. Obdobné klimatické podmínky a čilá doprava vedly k tomu, že se Severní Amerika s Evropou navzájem obdarovaly nepůvodními druhy, z nichž se některé začaly nekontrolovatelně šířit. Poslední dobou na severoamerický kontinent pronikají ve větší míře druhy z východní Asie, a to nejen zmíněné žížaly rodu *Amyntas*. Např. následkem rozšíření houbového onemocnění původem z této části Asie během první poloviny 20. stol. z lesů východního pobřeží prakticky vymizel americký kaštanovník zubatý (*Castanea dentata*, dříve hojná a ekologicky



7 Obnažené kořeny stromu v lesním porostu s etablovanými populacemi evropských druhů žížal. Podzimní aspekt, Chippewa National Forest

8 Mločík popelavý (*Plethodon cinereus*), běžný obyvatel lesů ve východní části Severní Ameriky, snad z přítomnosti nepůvodních žížal profituje, zatímco mnohé další druhy čeledi mločikovití (*Plethodontidae*) naopak. Blíže v textu. Snímky J. Schlaghamerského, pokud není uvedeno jinak

9 *Octolasion lacteum* z čeledi *Lumbricidae* – evropská endogeická žížala invazní v severoamerických lesích. Foto V. Pižl

významná dřevina zdejších lesů, která poskytovala potravu mnoha živočichům i severoamerickým indiánům). Vlivem rychle se šířící korovnice jedlovcové (*Adelges tsugae*), zavlečené z Japonska, dnes hrozí obdobný osud také severoamerickým jedlovcům (*Tsuga* spp.), které představují jednu z hlavních dřevin mnohých smíšených lesů. Krasec *Agilus planipennis*, původem opět z východní Asie, zase ohrožuje severoamerické jasaný (*Fraxinus* spp.). I to jsou důsledky globalizace lidské společnosti, nebo chcete-li globální ekonomiky: často plíživé, nenápadné a vzhledem ke své komplexnosti pro laika hůře uchopitelné než např. znečištění ovzduší nebo světového oceánu. Následky pro člověka jistě nejsou tak hrozné, ale pro zachování původní přírody představují problém závažný. Proti invazím žížal, obdobně jako mnoha jiných druhů živočichů a rostlin, se totiž velmi těžko bojuje. Největší nadějí na úspěch v tomto případě asi skýtá osvěta a regulace chovu a prodeje exotických žížal (jako návnady i za účelem kompostování) a udržování lesních porostů v co nejpůvodnějším stavu, ve kterém se zdají být vůči invazním druhům nejodolnější.

Výzkumný pobyt autora článku na University of Minnesota (Centre of Forest Ecology, College of Food, Agriculture and Natural Resource Sciences) byl podpořen stipendiem Fulbrightova programu.

Použitou literaturu uvádíme na webové stránce Živý.