

# Biodiverzita a fungování ekosystémů

*Jak hlouběji pochopit,  
co se v ekosystému děje?*

**DAVID VAČKÁŘ  
JAN PLESNÍK**

Když si své celoživotní úspory schováte pod polštář a přijde požár nebo povodeň, budete začínat znovu od nuly. Lepší je rozdělit svůj majetek do bank, akcií či nemovitostí. Tento jev se nazývá portfoliový efekt. Některé poznatky naznačují, že něco podobného platí pro biodiverzitu ekosystémů. Čím rozmanitější ekosystém, tím vyšší je pravděpodobnost jeho obnovy třeba i po velké katastrofě. Do určité míry tak může biodiverzita působit jako pojistka proti krizi životního prostředí.

Myšlenka, že rozmanitější ekosystémy fungují lépe než ochuzené, byla blízká již Ch. Darwinovi. Jeho srovnání ekosystémů přírodních a řízených lidmi se stala jedním z pilířů moderní ekologie. V průběhu minulého století byla na toto téma vyslovena řada hypotéz – a z předpokladu, že vyšší biodiverzita podporuje stabilitu ekosystému, vycházela většina z nich (viz Vesmír 79, 97, 2000/2). Teprve v posledních letech tuto představu zpochybnil Robert May, působící v poslední době ve Velké Británii na Oxfordské univerzitě. Modeloval různá náhodně sestavená společenstva a svými výsledky, které zdaleka nebyly jednoznačné, vyvolal bouřlivou diskusi. Se vzrůstajícím celosvětovým ohrožením biodiverzity vzrůstá i zájem o zákonitosti, jimiž se biodiverzita řídí. Od modelování se přešlo k rozsáhlým, nákladným experimentům v přírodě, které roli biodiverzity ukazují zas v trochu jiném světle (viz Vesmír 79, 143, 2000/3 a 80, 573, 2001/10). Některá rizika pochopíme, teprve když se na biodiverzitu podíváme nejen jako na důsledek, ale i jako na příčinu změn v přírodě.

## **Proměňující se mozaika**

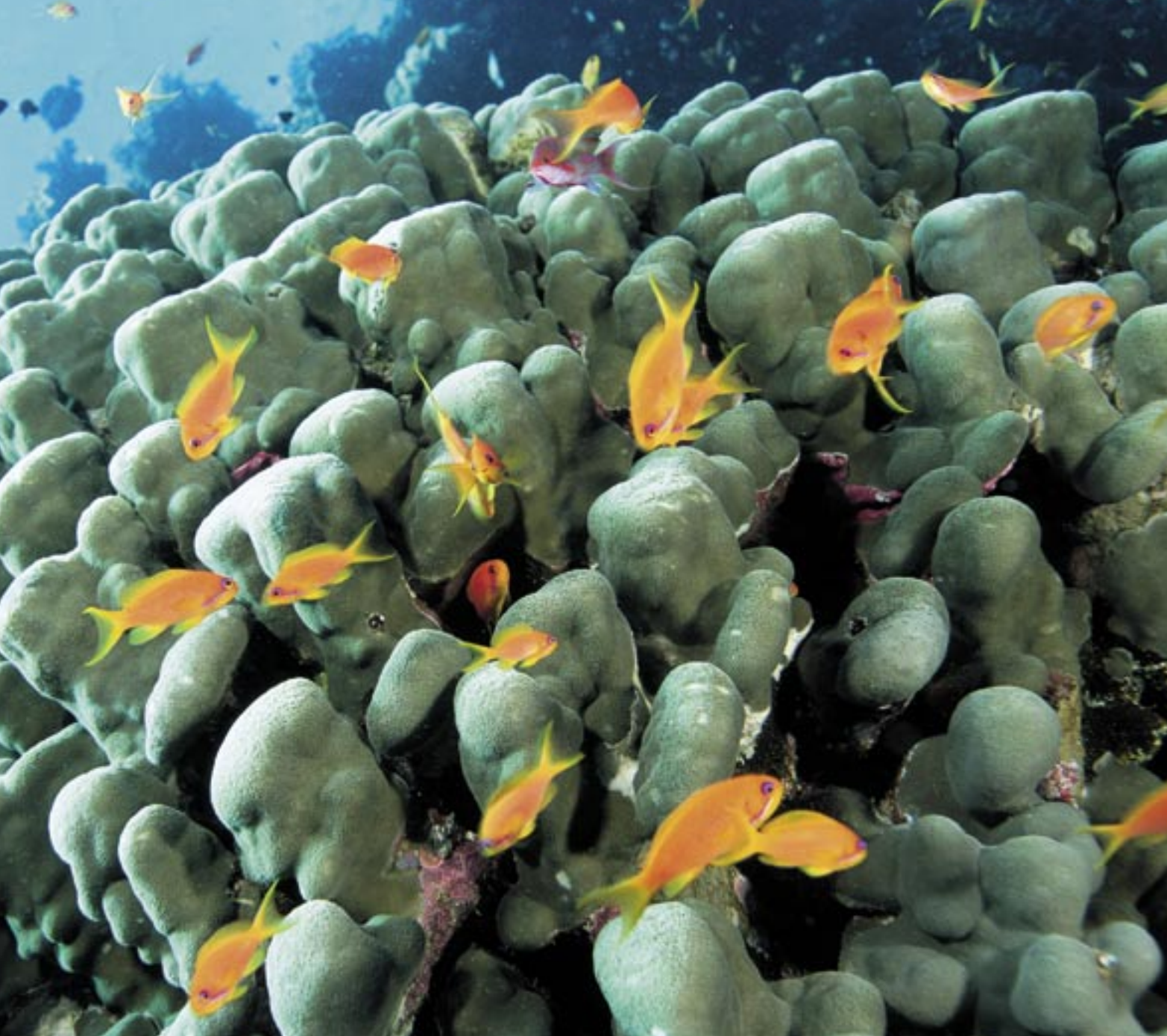
Zpočátku se ekologové domnívali, že každý ekosystém směřuje k cílovému stavu, v němž potom setrvává. Dnes je příroda vnímána spíše jako neustále se měnící mozaika, která se nechová pouze deterministicky, nýbrž poskytuje prostor pro nahodilé procesy, někdy i katastrofické posuny. Tím se ale předpověditelnost chování systémů komplikuje. Jádrem ekosystémů jsou sítě organizmů, které modulují přeměnu sluneční energie v organickou hmotu či rozklad odumřelé biomasy. Toto „předivo života“ je propojeno různě silnými ekologickými interakcemi. Druhy si představme ja-

ko „atomy“, které se sdružují do ekologických „molekul“, tj. funkčních skupin tvořících základ ekosystémových procesů. Podle podmínek v ekosystému se pak vytvářejí více či méně trvanlivé útvary organismů různé síly a „s různým znaménkem“. Přitom každá změna může spustit kaskádu nových reakcí, které povedou k poněkud odlišnému uspořádání. A právě interakce mezi druhy ve společenstvu určují odolnost a pružnost ekosystému.

Jestliže může přidání nebo odebrání druhu vyvolat řetězovou reakci, která změní skladbu celého ekosystému, stojí za to zkoumat, jakou změnu určitý nárůst, či naopak úbytek způsobí. Rozsáhlé pokusy v přírodním i modelovém prostředí již prokázaly, že biodiverzita výkon ekosystémů i jejich stabilitu ovlivňuje, ale vysvětlení vzájemných vztahů dosud vyvolává bouřlivé diskuse. Změny produktivity nebo zásoby živin mohou záviset na znacích několika klíčových druhů stejně jako na tom, jak se druhy navzájem doplňují ve využívání zdrojů. Fungování ekosystémů představuje do určité míry umělý koncept (viz Vesmír 81, 127,

Mgr. David Vačkář (\*1976) vystudoval obor životní prostředí na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. V Agentuře ochrany přírody a krajiny ČR v Praze se zabývá mezinárodní ochranou přírody, indikátory a monitorováním biodiverzity.

RNDr. Jan Plesník, CSc., (\*1960) vystudoval systematickou biologii a ekologii na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. V Agentuře ochrany přírody a krajiny ČR v Praze se zabývá problematikou biodiverzity a teoretickými i praktickými otázkami péče o přírodu a krajinu. Přednáší ochrannářskou biologii na přírodovědeckých fakultách UK v Praze a UP v Olomouci. V letech 2001–2003 působil jako předseda vědeckého panelu Úmluvy o biologické rozmanitosti (SBSTTA-CBD).



2002/3), funkcí druhů totiž není produkce, ale přežívání. Měřitelné fungování ekosystémů je v podstatě vedlejším produktem rozšíření života na Zemi, argumenty pro zachování biodiverzity tedy nemohou být založeny pouze na funkčním pojetí přírody. Nelze ovšem zastírat, že diskuse okolo vztahu diverzity a stability přidává polínko do ochrannářského ohně.

#### Plodí diverzita stabilitu?

V experimentální stanici Rothamsted ve Velké Británii sledují travinné ekosystémy již od dob Darwinových. Ukazuje se, že produkce biomasy na pokusných plochách je poměrně stabilní proměnnou. Zachyceny byly i změny druhového složení, ale ojedinělá časová řada (byť dlouhá) nemůže poskytnout jednoznačný důkaz.

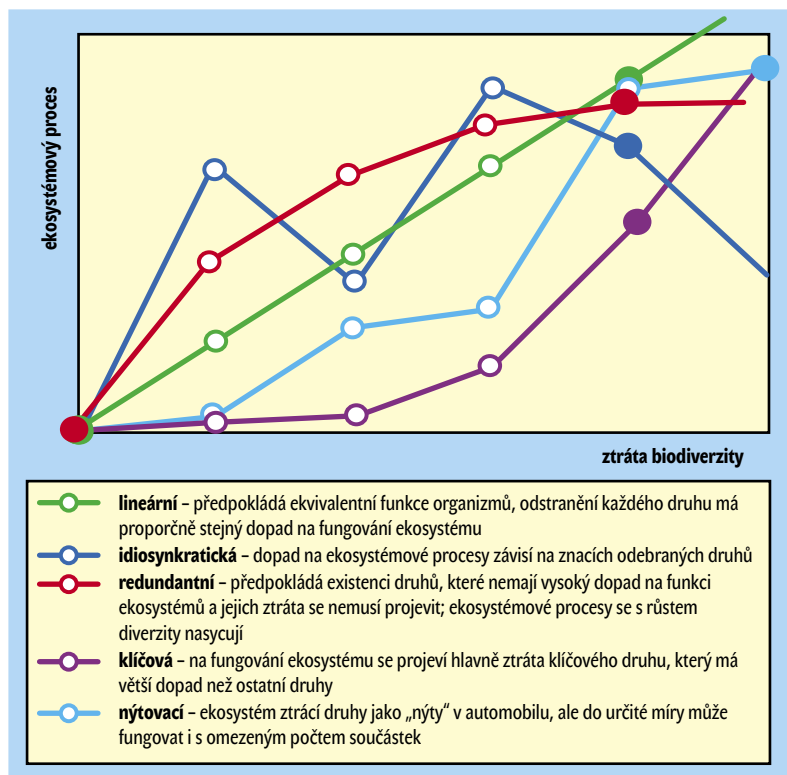
Domněnka, že vyšší diverzita jde ruku v ruce s lepším fungováním ekosystémů, vzešla z pozorování různých ekosystémů v přírodě, od tundry až po tropické lesy. Již dlouho se s touto zákonitostí počítá v zemědělství při pěstování rozmanitých kultur – rozmanitější společenstva lépe odolávají nepříznivým

podmínkám nebo invazím nepůvodních druhů. Například zemědělské monokultury bývají náchylnější na poškození a druhově poměrně chudá tajga podléhá mnohem častěji přemnožení některých ekonomicky nebo epidemiologicky závažných druhů („škůdců“) než druhově nesmírně bohatý tropický prales.

Donedávna však chyběly experimenty, v nichž by přímé změny diverzity v kontrolovaných podmínkách přinesly odpověď na otázku, kolik biodiverzity ekosystém pro „správné“ fungování potřebuje. Obava, že by ubývání biodiverzity mohlo mít nepříznivé důsledky, v devadesátých letech 20. století vzrostla, a proto bylo třeba shromáždit všechny poznatky o tom, jak biodiverzita fungování ekosystémů ovlivňuje. Úkolu se v rámci projektu SCOPE<sup>1</sup> ujali Ernst Detlef Schulze a Harold Mooney, jimž se podařilo odhalit některé mezery v poznání a vytvořit nový ekologický proud, který se hypotézami o důsledcích úbytku biodiverzity na fungování ekosystémů zabývá hlouběji (tab. I).

**Bradáč šupinoploutvů (*Anthias squamipinnis*) na korálovém útesu v Rudém moři. Korálové útesy jsou domovem asi 25 % všeho mořského života a jsou nejohroženějšími ekosystémy vůbec. Snímek © Jaroslav Hejzlar**

1) Mezinárodní organizace Scientific Committee on Problems of the Environment.



Tab. I. Hypotézy o vztahu biodiverzity a fungování ekosystémů. Křivky ukazující možné vztahy ekosystémových procesů a biodiverzity představují jednotlivé hypotézy o roli biodiverzity v ekosystému. Ztrátu druhů v ekosystému si můžeme představit jako rozpadající se automobil, který byl i s minimálním vybavením „pojízdný“, ale najednou ztratil klíčovou součástku a není schopen fungovat dál. Zatím nelze říci, kolik druhů ekosystém pro „správné“ fungování potřebuje, neznáme ani stupeň biodiverzity, který by ekosystém pojistil proti změnám prostředí.

- *Experimenty v přírodních podmínkách.* Zkoumání vztahu mezi diverzitou a stabilitou je poměrně náročné, sleduje se výkonnost společenstev s různou diverzitou a s různým složením funkčních skupin. Za vhodný model se považují travinné ekosystémy. V jednom z vůbec prvních experimentů zkoumajících diverzitu (r. 1993) založili David Tilman a jeho kolegové z Minnesotské univerzity v oblasti Cedar

**Experiment Biodiverzita II.** Smyslem tohoto velkoplošného experimentu bylo ověřit účinek rozmanitosti rostlin na stabilitu ekologických procesů na úrovni populace, společenstva a ekosystému. Na rozloze 9 ha bylo vytvořeno celkem 249 ploch s různou rozmanitostí druhů a funkčních skupin, tak aby se napodoboval pokles biodiverzity. Výsledky tohoto rozsáhlého pokusu naznačují, že obavy, které vzbuzuje mezi částí vědců ubývání biodiverzity, jsou oprávněné. Snímek s laskavým svolením Davida Tilmana.



Creek množstvím experimentálních ploch, které oseli směskami rostlin v různých poměrech (viz obr. dole). Tak vytvořili plochy s různou hladinou diverzity, nechyběly ani monokultury. Pro popis ekosystémových procesů vybrali produkci společenstva, tj. nadzemní biomasu přirostlou za vegetační sezonu. Již předtím se vědělo, že druhově rozmanitější směsky lépe odolávají suchu a také se rychleji vzpamatovávají. Pokud diverzita opravdu ovlivňuje produktivitu, mělo by být rozmanité seskupení rostlin produktivnější než nejvýkonnější monokultura. Americký „příjemní“ pokus sice potvrdil, že s rozmanitostí společenstev produktivita (a tím i lapání uhlíku a využití živin) vzrůstá. Přesto však (i když šlo o pokus důkladný a rozsáhlý) zatím nemůžeme tvrdit, že uvedené zákonitosti platí i pro ostatní typy travinných ekosystémů.

Na Tilmanovy experimenty navázal projekt BIODEPTH, který bral v úvahu proměnlivost evropské krajiny. Pokusné plochy zkoumající odezvu ekosystémových procesů na klesající biodiverzitu v travinných ekosystémech byly zřízeny hned v několika evropských zemích. Zjistilo se, že nadzemní biomasa přímočarě klesá se snižující se diverzitou. Každé snížení počtu druhů na polovinu způsobuje pokles výnosů o 10 až 20 %. Významnou roli pro zvýšení produkce hraje také počet funkčních skupin rostlin, kdy vynechání jedné z nich (například trávy nebo luskoviny) snižuje produktivitu v průměru o 100 gramů na m<sup>2</sup>.

Jak si závislost produktivity na biodiverzitě vysvětlujeme? Díky různorodosti svých znaků překrývají rozmanitější společenstva své ekologické niky, a tím pravděpodobně „přečerpávají“ dostupné živiny v ekosystému. Kromě toho se může ve společenstvu s určitou pravděpodobností vyskytnout druh s lepšími vlastnostmi, který ekosystémové procesy zesiluje více než zbývající druhy. Tento efekt záleží na náhodě, podobně jako tah čísel v loterii.

Význam obou efektů zůstává zatím nevysvětlen, při experimentech v přírodních podmínkách nelze hlídat všechny faktory regulace společenstev. Další řešení je třeba hledat v laboratoři.

- *Umělé ekosystémy (mikrokosmy).* Víme již, že rostlinná společenstva fungují s přibývajícím biodiverzitou lépe, ale nevíme, jestli něco podobného platí pro ekosystémy s více potravními hladinami. Shahid Naeem a jeho kolegové z Centra pro populační biologii v Silwood Park u Londýna tuto hypotézu ověřovali v experimentálních komorách Ecotron (obr. na s. 36 dole), v nichž byly mikrokosmy o rozloze 1 m<sup>2</sup>. Komory umožňují sledovat a regulovat například teplotu nebo vlhkost. V mikrokosmech byla různá druhová rozmanitost ve čtyřech potravních skupinách – rostlinách, měkkýších, hmyzu a parazitoidech s dekompozitory (houbami a mikroby). Vtip spočíval v tom, že mikrokosmy s nižší biodiverzitou byly podmnžinou těch rozmanitějších. V takto uspořádaných mikrokosmech se potom měřila například respirace nebo produktivita rostlin. Výsledky do jisté míry svědčily pro domněnku, že procesy v rozmanitějších společenstvech budou silnější (mikrokosmy s vyšší diverzitou spotřebova-



Nahoře: Pohled z *Parque Natural Metropolitano*, jednoho z posledních kousků suchého po-  
loopadavého lesa ve Střední Americe, na Panamá City. Snímek © Lukáš Čížek & David Hauck  
Dole: Druhová rozmanitost bývá malá v ekosystémech ovládaných abiotickými faktory (tj. vysta-  
vených silnému vlivu fyzikálně-chemických mezních činitelů). Příkladem mohou být společen-  
stva severské tundry v okolí polárního kruhu; Norsko, pohled z kóty 550 m n. m. u osady Osen  
nedaleko Mo, snímek © Stanislav Vaněk.





Nahoře: Lilijske pilozubá (*Oligometra serripinna*) v Rudém moři. Snímek © Jaroslav Hejzlar

Dole: Měření fotosyntézy a produktivity v komorách Ecotron. V uzavřených komorách může být přístroji využívajícími analýzu infračerveného záření měřena rychlost fotosyntézy a čistá primární produktivita společenstva. Zkoumá se zde i řada dalších ekosystémových procesů, jako je vodní cyklus nebo mineralizace dusíku a enzymová aktivita půdy. Snímek s laskavým svolením výzkumného týmu Ecotron, NERC Centre for Population Biology, Imperial College London, Silwood Park Campus, <http://www.cpb.bio.imperial.ac.uk/>.


ly například více CO<sub>2</sub>). Toto zjištění má mimo jiné význam pro zmírňování důsledků změny podnebí. Podobné pokusy se prováděly také ve sladkovodních mikrobiálních mikrokosmech, kde se navíc ukázalo, že rostoucí biodiverzita zlepšuje kromě produktivity ekosystému i předpověditelnost jeho chování.

#### Ekologické pojištění

Výsledky většiny experimentů naznačují, že se fungování ekosystému s rostoucí biodiverzitou „nasycuje“. Ekosystémy totiž pravděpodobně obsahují druhy, které fungování systému nijak významně neovlivňují. Při změně životního prostředí se však mohou pro ekosystém stát klíčovými složkami právě ty druhy, které předtím byly „nadbytečné“. Biodiverzita tak může fungovat jako určitá pojistka ekosystému proti kolapsu. Ten může přijít náhle, a totální obnova zcela zkolabovaného ekosystému pak vyžaduje mnohonásobně více úsilí než běžné návraty do původního stavu. Biodiverzita tedy do určité míry zaručuje spolehlivost, se kterou ekosystém pracuje „udržitelně“, to znamená, že je dlouhodobě schopen poskytovat lidem vyžado-

vané statky a služby (produkci potravin a vláken, opylování, regulaci klimatu nebo možnost rekreačního využití).

Co z debaty o vztahu biodiverzity a fungování ekosystémů vyplývá? Stále nevíme, kolik biodiverzity je nezbytně třeba k tomu, aby ekosystém fungoval zdravě. Fungování ekosystému zahrnuje mnoho nejistot, které nás mohou zaskočit. Ukazuje se však, že biodiverzita má na fungování ekosystémů stejně velký vliv jako klima nebo půdní podmínky. Zabránit poklesu biodiverzity je pro udržitelný rozvoj lidské civilizace stejně důležité jako snížit zátěž civilizačního růstu na životní prostředí. Z ekologického hlediska jsou tedy investice do ochrany biodiverzity vy-

nosným pojištěním pro společnost, která je na zdravém fungování ekosystémů více než závislá. 

## K DALŠÍMU ČTENÍ

Loreau M., Naeem S., Inchausti P. (eds.): Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives, Oxford University Press, New York 2002

McCann K. S.: The diversity-stability debate, *Nature* 405, 228, 2000  
Schulze E. D., Mooney H. A. (eds.): Biodiversity and ecosystem function, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg 1993

Tilman D.: The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles, *Ecology* 80, 1455, 1999

# Biodiverzita není všelék

MARTIN  
KONVIČKA

Příspěvek kolegů Davida Vačkáře a Jana Plesníka se zabývá experimentálními důkazy pozitivního vztahu mezi biodiverzitou a funkcemi ekosystémů. Podle citovaných experimentů diverzita možná nevede k „stabilitě“, jak ještě dnes papouškují některé tuzemské učebnice, ale aspoň zefektivňuje „ekosystémové služby“, jako je produkce rostlinné hmoty nebo fixace CO<sub>2</sub>. Nepodařilo se zastavit současné ochuzování druhové rozmanitosti, jednoho dne spláceme nad výdělkem.

Potíž je v tom, že uváděné důkazy narazily na vážné námitky řady předních ekologů. Spor se postupně přenesl – jak se to politicky žhavým tématům stává – z odborně-technické roviny do roviny etické a politické. Časopis *Science* (289, 1282–1283, 2000) dokonce psal o „rozvodu kvůli biodiverzitě“. Ten je dnes víceméně překonaný, přesto po něm zůstalo dost zlé krve. Zároveň nám spor připomněl, že striktně vědeckou podporu pro ochranu přírody se patrně nikdy nepodaří najít. Vždy půjde především o otázku společenské volby.

Se zásadní kritikou M. Tilmana, S. Naema a dalších „Tilmanovců“ přišel M. Huston (*Oecologia* 110, 449–460, 1997). Ukázal, jak s přibývajícím počtem druhů vysévaných na experimentální plochy (nebo do pokusných mikrokosmů) roste pravděpodobnost, že experimentátor vybere druh či druhy vysoce produktivní, skvěle přizpůsobené panujícím podmínkám nebo jednoduše větší. Druhově bohatší vzorky se tak projeví jako úspěšnější nikoli zásluhou biodiverzity, ale díky statistice. Jak poznamenávají i D. Vačkář a J. Plesník, abychom mohli hovořit o vlivu diverzity na produkci, musely by druhově bohaté směsi vyprodukovat více biomasy než monokultury nejproduktivnějších druhů, což je jev označovaný jako *overyielding* neboli „nadvýnos“. Právě nadvýnos se snažil najít A. Hector se spolupracovníky (*Science* 286, 1123–1127, 1999), ale opět narazil na kritiku z Hustonova tábora. Hlavní námitkou bylo, že Hectorův tým netestoval výnosy monokultur všech druhů, z nichž zakládal druhově bohaté směsi. Dále mu vytýkali, že srovnával výnosy směsi s průměrnými výnosy z monokultur, kdežto rigorózní test by měl srovnávat *nejvyšší* hodnoty. Konečně v případech, kdy k nadvýnosu skutečně došlo, se o něj zasloužil jediný druh, a sice jetel luční. Ten, jak známo, dosahuje vyšší produkce díky fixaci půdního dusíku.

Skutečný cirkus měl ale teprve začít. Zatímco Huston a Hector spolu polemizovali na stránkách *Science*, sepsali vůdčí Tilmanovci popularizační text s bombastickým titulem *Biodiversity and ecosystem functioning: maintaining natural life support system*. Politikům a médiím jej prezentovali jako oficiální materiál Americké ekologické společnosti. Zjevně v dobré vůli – vždyť přece konečně měli *vědecký* důkaz toho, že úbytek biologické rozmanitosti ohrožuje samotný život na planetě. Členy společnosti ovšem byli i Huston a jeho příznivci – a ti brožurku neváhali označit za „propagandistický pamflet“, „reklamu na výzkumy vybraných autorů“ a „pohrdání vědeckou objektivitou“. Něco na

tom bylo. Pro ochranu přírody by bylo mnohem horší, kdyby se další „vědecký“ argument dostal do zákonů i do učebnic a byl, někdy v budoucnu, s ostudou odvolán.

O uklidnění sporu se – vedle neutrální mezi ekology – zasloužily další výzkumy. Mezi nimi i evropský projekt CLUE, na němž participují českobudějovičtí ekologové vedení J. Lepšem (viz např. *Oikos* 92, 123–134, 2001). Opět jde o výsadby na experimentálních lokalitách po celé Evropě, vedle produkce zelené hmoty je sledována i podzemní biomasa, půdní fauna a odolnost druhově různě bohatých směsí vůči invazím plevelů. Dosavadní výsledky podporují Hustonův názor, podle nějž úspěšné výkony bohatších směsí spočívají v tom, že v citovaných experimentech byly do bohatších směsí zahrnuty úspěšnější druhy. Konkrétně, druhově bohaté směsi jsou sice v průměru výkonnější než směsi druhově chudé, ale *nejvýkonnější chudé směsi si vedou stejně dobře jako nejvýkonnější směsi bohaté*. Výkony nejúspěšnějších druhů v bohatých výsadbách navíc odpovídají výkonům chudých výsadeb, v nichž jsou tyto druhy zastoupeny. Druhově bohatá společenstva vděčí za své výkony idiosynkratickým vlastnostem jednotlivých druhů, nikoli interakcím mezi nimi. Přestože tato zjištění rozstřílela předčasné závěry Tilmanovců na mrazy, autoři jsou nakonec smířliví. Za „ekosystémové funkce“ sice vděčíme jednotlivým druhům, a nikoli jakýmsi emergentním vlastnostem biodiverzity, ale ony nevykonně, doplňkové či záčné druhy skutečně mohou sloužit jako pojistka pro případ měnicích se podmínek prostředí. Nebo mohou dělat něco úplně jiného – třeba se jimi živí larvální stadia opylovačů.

Čímž se dostáváme k zásadnímu omylu Tilmanovců. Ti se netají tím, že hledají argumenty pro ochranu biologické rozmanitosti – přitom ale měří produkci rostlinné biomasy, fixaci CO<sub>2</sub> a spoustu dalších pozoruhodných věcí, které s ochranou přírody nakonec příliš nesouvisí. Jako v experimentech projektu CLUE záleží nakonec na jednotlivých druzích, mělo by na nich – na prostém faktu, že *jsou* – záležet i při ochranářském úsilí. „Ekosystémové služby“ asi opravdu zvládne pár superdruhů – celé lidstvo ostatně živí hrstka trav a invazní akát umí být dokonce ještě výkonnější než nešťastný jetel luční A. Hectora. Naopak od druhů, o které v ochraně přírody opravdu jde, lze těžko čekat podíl na nadvýnosu či jiné „ekosystémové“ efekty. Je asi příznačné, že Tilman, Hector ani Lepš do svých pokusů nezařadili jediný hořec nebo orchidej – přitom je určitě mají raději než biomasu sušenou při konstantní teplotě, i kdyby nakrásně s nadvýnosem.

RNDr. Martin Konvička, PhD., (\*1969) vystudoval zoologii na Přírodovědecké fakultě UP v Olomouci, doktorský titul získal na katedře zoologie Biologické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. V oddělení ekologie a ochrany přírody Entomologického ústavu AV ČR se zabývá ekologií a etologií denních motýlů.