

Žhavé linie poznání v ekologii

Pavel Kovář

Nic jiného než vstoupit do nové fáze integrace a spolupráce v ekologickém výzkumu nezbyvá po zjištění, jak mimořádně složitě jsou biologické systémy. Podobory v ekologii se velice rychle kombinují a nasávají další biologické, fyzikální, matematické a sociologické disciplíny. Rodící se základ teoretické a empirické práce, který byl umožněn díky novým metodám, technologiím a také finančním fondům, nabízí příležitost poskytnout odpovědi na důležité ekologické otázky.

Před třemi lety sestavila Národní vědecká nadace v USA výbor ke zhodnocení toho, co už známe a co neznáme o významných ekologických procesech, co překáží dalšímu rozvoji a jaké intelektuální a koncepční aspekty si žádají podporu. Výbor dospěl ke čtyřem výzkumným liniím týkajícím se ekologických struktur, pozemské biodiverzity a způsobů, jimiž ekologické procesy utvářejí zmíněné struktury (ekologická dynamika). Každý z těchto výzkumných směrů má jiný přístup ke studiu biokomplexity a všechny vyžadují integraci a vzájemnou spolupráci.

Výzkumná fronta 1

Předmětem je dynamika srůstání (splývání, angl. coalescence) do výsledných, složitých společenstev. Termín koalescence má označovat vývoj společenstva ze zásobníku druhů přítomných v oblasti (u rostlin např. v půdní bance semen). Závisí na dostupnosti druhů a jejich schopnosti udržet se v mezidruhových vztazích při určitém fyzikálním prostředí, evoluční historii a frekvenci, s níž se k sobě dostávají. Nejsme schopni předpovídat, které druhy přicestují a proniknou do společenstva anebo které naopak vymizí z přírody. Máme také co studovat v oblasti reakcí společenstev na rušivé vlivy v různých stádiích jejich vývoje.

Nejvíce toho víme o snadno prozkoumatelných jednoduchých společenstvech, ale mnohem méně je známo o takových, kde hrají důležitou úlohu málo probádané skupiny organismů jako jsou mikrobi, houby nebo půdní bezobratlí. Pokrok tady bude záviset na rozvoji nových způsobů výzkumu — např. na poznání funkčních skupin organismů, na systematice drobných a skrytých žijících tvorů, na odhalení, jak fungují klíčové druhy v ekosystémech. Následujících pět klíčových oblastí by mohlo významně pomoci:

● Funkční zvláštnosti a složení společenstev

Dnešní společenstva, která studujeme, jsou stále větší směsí původních a zavlečených taxonů. Potřebujeme proto zjistit, zda se koevolučně spjaté druhy místních populací liší od těch, jež jsou koevolučně nezkušené (tzn. nejsou spolu historicky dlouho), a to v síle nebo povaze jejich interakcí během vzniku společenstva. Měli bychom zlepšit naši

schopnost přesného určení druhových zvláštností, které ovlivňují pravděpodobnost vstupu nebo naopak zmizení taxonů při vytváření společenstev. Navíc chceme rozumět, jaký je význam závislosti těchto druhových rysů na již existujícím druhovém složení, na kritických prazích (např. druhové bohatosti nebo složení co do funkčních skupin organismů) a na historii společenstva.

● Cesty ke koexistenci druhových populací ve společenstvu

Pro jakýkoli zásobník potenciálních členů společenstev existuje více možných cest ke sdružování. Rozmanitost počátečních kroků sdružování taxonů nemusí činit problémy, pokud alternativní cesty mají tendenci slévat se do jediné při omezeném počtu milníků na této cestě. Pro náš účel potřebujeme znát, zda se společenstva vyvíjejí ve směru jednoho nebo několika bodů či stavů (angl. attractors, tj. cílových bodů přitažlivosti). V časných stádiích vznikání může být společenstvo citlivé na vnější vlivy, po několika stádiích seskupování druhů je ovlivnění směru vývoje obtížnější. Člověkem způsobené změny mohou omezovat cesty vývoje společenstva fyzikálně-chemickým prostředím, bouráním biogeochemických cyklů nebo proměňováním genetické struktury populací. Globální homogenizace zásoby druhů má sama o sobě dopad na podobu společenstev a také jinak tvaruje krátkodobou i dlouhodobou skladbu sukcesních stadií v krajinném měřítku.

● Funkční skupiny

Koncept funkčních skupin se uznává stále více za hodnotný nástroj pro zjednodušení složitosti společenstva v rovině managementu. Většina skupin je definována na základě biochemických, morfologických nebo výživových kritérií. Každý z těchto způsobů nám pomohl identifikovat výhody a nevýhody různých přístupů. Vcelku lze zaznamenat posun k rámci, který pracuje s víceúrovňovou taxonomií, případně ekologicky definovanými společenstvy. Pokrok v tomto směru by nám měl pomoci chápat, jak struktura společenstva na základě funkčních skupin utváří dynamiku seskupování, a tak hodnotit, jak rozdílné sestavy funkčních skupin ovlivňují vývoj společenstev nebo ekosystémovou dynamiku (např. dráhy vývoje společenstva s druhy, které fixují dusík, anebo bez nich).

● Skrytí hráči

Seskupení do společenstev téměř najisto závisí na zřetelně unikajících bezobratlých, na mikrobiologických a mykologických skupinách, které zahrnují početný šik volně žijících druhů, parazitů nebo mutualistických symbiontů. Tyto skupiny a interakce byly v historii ignorovány nebo neznámy pro technologické limity či nedostatek kvalifikovaných ekologů. Mnoho mikrobů navíc nelze kultivovat. Nicméně mohou hrát klíčovou roli ve vývoji společenstva a jeho fungování a jejich absence může zodpovídat za neúspěšné pokusy o obnovu společenstev. Význam těchto skrytých hráčů se může stát zjevný, pouze když nastane např. proměna struktury společenstva. Výzvou pro nás je určit, jak by se měla struktura mikrobiální diversity zahrnout do různých typů analýz lokální, regionální a globální dynamiky ekologických procesů. Tradiční definice druhu a tradiční metrika používaná

v rozšíření a pokryvnosti/početnosti má často malý efekt pro zacházení s mikrobiálními populacemi a společenstvy. Zatím máme detailní informace požadovaného typu o tvorbě pouze několika často studovaných společenstev. Studie dalších společenstev, taxonů a interakcí současně by nám mělo poskytnout důležitý vhled do obecného uspořádání v procesu seskupování.

● Obnova

Nejlepší mírou toho, jak rozumíme jakémukoli složitému systému je, zda jej umíme rekonstruovat z jeho součástí. Úspěšná obnova setrvalých společenstev a nové vytvoření přetrvávajících komplexních systémů schopných poskytovat podstatné „ekosystémové služby“ v novém okolním prostředí jsou proto jednoznačným testem našich znalostí dynamiky společenstev. Tato fronta v ekologii po nás žádá dovědět se, které stránky struktury společenstva jsou obnovitelné poté, co byly separovány, fragmentovány či poškozeny, a u kterých to již není možné. Ačkoli je naše chápání toho, co je obnovitelné, omezeno, lidské společenství vytváří spěšný tlak ve směru manipulování biologickými společenstvy ve světovém měřítku. Musíme proto pokračovat v naší práci na vytvoření obsažnější teorie vzniku společenstev, pokud máme být úspěšní v úsilí zmírnit účinky invazí druhů do lokálních seskupení a učinit tak společenstva méně náchylná k rozpadu. Rozmyslné zavádění druhů, které mají mít funkci biologické kontroly, bude pak jistě méně riskantní, jakmile budeme umět podpořit kontrolu druhů prostřednictvím seskupení přetrvávajících, ale sebeomezujících biotických sítí. Podobně, bioremediace získává tím, když budeme vědět, jak vyvinout trvalá, sebeomezující seskupení druhů, které hromadí nebo degradují toxické odpadní látky.

Výzkumná fronta 2

Genetická a evoluční struktura organismů — v kombinaci s předcházející historií událostí v prostředí — plynule utváří cesty tvorby společenstev načrtnuté v předešlém bloku (1). Biologie je věda silně ovlivňovaná tím, co se událo v biologické historii. Vývoj a dějiny prostředí vkládají do společenstev ekologickou paměť, do ekologických procesů zavádějí časové prodlevy a omezují trajektorie srůstání společenstev způsobu, o nichž toho moc nevíme. Ekologická paměť je kódována strukturami biologických společenstev a odráží se v genetické konstrukci druhů. To ovlivňuje, jak společenstvo vzniká a s jakou pravděpodobností se může obnovovat po rozpadu. Proto potřebujeme znát, které aspekty kmenového vývoje a nejmladších dějin přírody jsou nejdůležitější při ovlivňování procesů na úrovni krajiny. Ekologická teorie beroucí zřetel jak na genetiku, tak na vývoj organismů tu hledá odpovědi na šest otázek:

● Jaký podíl na ekologických procesech má fylogeneze druhů?

Víme, že ekologická specializace je fylogeneticky vrozeně omezena. Např. rozbor deštného lesa na Borneu ukazuje, že blízké příbuzné druhy byly nalézány na stejných mikrostaništích mnohem častěji, než by se dalo vysvětlit pouhou šancí. Požadavkem jsou podobné studie vinoucí se napříč druhy a ekosystémy.

● V jakém rozsahu jsou sukcese, populační dynamika a ekosystémová dynamika řízeny obvyklými evolučními změnami u druhů a jejich interakcí?

Existují příklady, kdy ekologicky důležité rysy druhů se vyvinuly během jednoho století. Rychlá evoluce tvaru zobáků u galapážských pěnkav, barvy křídel u některých mūr a rezistence mnoha druhů vůči bio-

cidům jsou velmi dobře známé případy rychlých vývojových reakcí na změny prostředí. Tyto vývojové změny obsahují potenciál měnit ekosystémy.

● Jak může historie společné existence druhů utvářet ekologické procesy, funkce společenstva a jeho stabilitu/invizibilitu?

Použití molekulárních markerů spolu s novými analytickými technikami nám umožňuje odhadovat délku trvání interakce druhů v místním i velkoplošném měřítku. To by mohlo umožnit určení, zda populace, druhy a společenstva, které koexistovaly, vykazují vlastnosti odlišné od těch, jež byly vytvořeny současnými invazemi anebo úsilím o obnovu.

● Působí krajinná struktura a genetická stavba společně na průběh ekologických procesů?

Druhy jsou skupinami geneticky diferencovaných populací spojených na různých úrovních toku genů. Adaptace, které se vyvinuly uvnitř určitých společenstev, se mohou rozšířit do populací v jiných společenstvech, kde pak mohou mít vliv na místní ekologickou dynamiku. Přírodní a antropogenní fragmentace populací omezuje výměnu jedinců mezi společenstvy. Potřebujeme jemnější teorii prostorově strukturované evoluční dynamiky k hodnocení celkových účinků fragmentace (rozkouskování) prostředí na společenstva, což ve stále větší míře působí lidé.

● Jak vnitrodruhová genetická diverzita utváří časovou dynamiku populací, trofické vztahy a tok energie v ekosystémech?

Odpověď na tuto otázku by usnadnila předpovídat osud ekologických systémů. Studium hybridních zón u rostlin nám umožnilo zhlédnout dalekosáhlé efekty struktury genetické rozrůzněnosti na dynamiku společenstev. Zvláštní genotypy nebo hybridy některých druhů jsou mnohem zranitelnější anebo jsou mnohem produktivnější než jiné genotypy či dokonce než jejich rodičovské druhy. Nadto, některé hybridy a genotypy podporují větší diverzitu a biomasu hmyzích herbivorů, ptáků nebo jiných skupin a podporují jisté interakce v rámci potravní sítě.

● Jak ovlivňuje genomický obsah a uspořádání genů druhové rozšíření, mezidruhové interakce a odpovědi na měnící se prostředí?

Jsme teprve na začátku hodnocení způsobů, jimiž chromozomové počty ovlivňují rozmístění společenstev v krajinném prostoru při jejich celkové struktuře a dynamice. Z malého počtu studií víme, že počet chromozomů je svázán s ekologicky významnými atributy taxonů, třeba s rozšířením druhů (např. podíl polyploidů roste se zeměpisnou šířkou), invazibilitou či citlivostí rostlin vůči byložravcům (např. u mýr na lomikamenech). Tak tedy evoluční genomika druhových komponent společenstev může mít velmi důležitý vliv na jejich ekologické funkce.

Šestice vznesených otázek by se dala doplnit úvahou o roli historie prostředí a variabilitě v čase. U každého společenstva, které se vyvinulo v určitém krajinném kontextu, se v minulosti proměňovalo okolní prostředí v řádu hodin a dnů až po dekady, staletí, milénia — potřebovali bychom vědět, v jaké míře jednotlivé časové úseky ovlivňovaly druhové složení, pokryvnost či početnost druhů anebo vztahy v potravních sítích společenstev.

Výzkumná fronta 3

Evoluční a historická podmíněnost ekologických procesů nastíněná výše (2) je na druhé straně z velké části dána fyzikálními zákony. Odtud tedy plyne, že je na místě ptát se po omezeních nebo vlivech daných biofyzikálními procesy.

Fenotypické znaky organismů jsou produktem adaptivní evoluce působící v rámci fyzikálních a chemických mezí. O tom, jak tyto meze ovlivňují tvar a chování jednotlivých druhů, nás informuje fyziologická a funkční ekologie. Tato výzkumná fronta je rozšířením zmíněného pohledu na skupiny druhů, společenstev, ekosystémů. Potřebujeme znát, jak specifické evoluční reakce na druhové úrovni vyústí v kolektivní morfologii (fyziognomii) a chování (ekosystémové funkce) ucelených přírodních systémů. Jednou z otázek je, zda přední principy fyziky, chemie a vývoje poháněného přírodní selekcí postačují k předpovědi složení, struktury a fungování ekosystémů. Jestliže ano, pak jsou evoluční principy oporou ekosystémového studia. A naopak, pokrok ve studiu toků hmoty a energie může dodat informaci nezbytnou k realistickému hodnocení biofyzikálních mezí a evolučních změn.

Protože každý organismus odpovídá svému prostředí způsobem předepsaným jeho genomem, zároveň to modifikuje toto prostředí. Výsledek je: párový, komplexní, dynamický systém organismu a prostředí, v němž přírodní výběr optimalizuje zdatnost populace a plynule mění bioticky řízené prostředí. Jestliže se jeden druh rostliny vyvíjí ve směru zvětšování listové plochy, mění se zároveň s tím evapotranspirační bilance a celková konduktivita systému. Kumulativní efekt takových změn může být znamením toho, jak je určitý zdroj využit uvnitř společenstva.

● Nové techniky

Nové přístupy ve studiu strukturních a funkčních genomik mohou dále vysoce integrovat pohled na evoluci a ekosystémy. Společenstvo je složeno z výbav genů, jež jsou soustředěny do epistatických skupin, ty do genomů a konečně genomy do společenstev. Genové sekvenování a měření proporcí genové exprese by mohlo být rostoucím způsobem praktické pro ekology ke studiu vztahů mezi biofyzikálními podmínkami a evolučními atraky. Např. studie ukázaly rozložení exprese 6 347 genů u myši vyrostlých při dietě s omezeným přísunem kalorií (Lee et al. 1999). Toto kalorické omezení zpomalilo dospívání tím, že způsobilo metabolický posun ke zvýšenému proteinovému obsahu a poklesu makromolekulárního poškození. Pokusy umožnily letně zhlédnutí genomové odpovědi na změnu dostupnosti energie. Navrhují spoje mezi genomikou a toky energie a dusíku. Rádi bychom vyzkoumali, jak druhové genomy odpovídají jeden na druhý jako na změnu materiálové a energetické dostupnosti. Takové studie mohou být vnímány jako ekologická genomika, genomika společenstev a ekosystémů.

Výzkumná fronta 4

Poslední žhavou oblast bychom mohli označit jako ekologickou topologii: je to potřeba definování časoprostorových sfér kauzality (tj. měřítek, v nichž lze prokázat příčinnost konkrétních jevů). Prostě: výzkumné fronty 1, 2 a 3 vyžadují, abychom přehodnotili měřítko ekologických procesů a analytické metody, jimiž je studujeme. Je za tím potřeba správně vyhodnotit, jak naše informační měřítka, s nimiž při bádání pracujeme, ovlivňují naše porozumění ekologickým procesům. Např. se ptáme: Jaké jsou faktory, které určují rychlost primární produkce rostlin na starých lávových polích na Havaji? Nejdůležitější roli mohou hrát vlivy lokální (např. konkurence mezi sousedními rostlinami), pak regionální

(např. spásání toulavými kozami, jež sem zavlekli Evropané před staletími a jež teď udržují produktivitu větší části okolní krajiny) nebo dokonce globální [série přísunů fosforu v colickém prachu ze Střední Asie během posledního glaciálu (Jackson et al. 1971, Chadwick et al. 1999)]. Sféry příčinnosti v mnoha ekologických studiích mohou přesáhnout daleko za předtím předpokládané prostorové a časové hranice.

Proto potřebujeme jednotné porozumění prostorovému a časovému kontextu ekologických interakcí, jako je velikost a význam toků hmoty, energie a informace napříč stanovišti — někdy působících ve velmi rozsáhlém měřítku. Dokonce naše poznání tak základních záležitostí, jako je struktura potravních sítí, postrádá prostorově časový kontext, což silně omezuje naši schopnost vysvětlit jejich původ, udržení nebo následky. Tato výzkumná fronta je konzistentní s dnešní velkou potřebou pracovat od místních procesů k těm rozsáhlejší včetně planetárního měřítka. Globální změny jsou jednou z nejtěživějších položek dneška. Porozumění typologii příčinnosti v ekologickém uspořádání struktur a procesů by mohlo poskytnout formální systém k propojování studií od lokální škály po větší.

Máme některé nástroje a mohli bychom brzy vyvinout i jiné, když se nám podaří charakterizovat meze takových prostorově časových domén. Genetické a izotopové značení ke sledování pohybu hmoty a organismů uvnitř a mezi ekosystémy jsou stále dosažitelnější. Máme nové technologie jak v pozemním průzkumu, tak v oblasti satelitů, které rozšiřují naši schopnost získávat a analyzovat prostorová data. S těmito nástroji se můžeme věnovat širokému spektru důležitých ekologických problémů, jako jsou:

● Hledání správného prostorového a časového kontextu

Jak se kombinují různé prostorové a časové sféry příčinnosti, aby jejich výsledkem bylo místní řazení společenstev a přesně ty procesy, které v nich probíhají? Kromě toho, jak daleko dozadu v čase nebo jak daleko mimo prostor dané krajiny musíme sondovat, abychom porozuměli dějším funením nebo interakcím? Potřebujeme zjistit, jak dalece musíme přesáhnout původně odhadnuté měřítko našeho prohledávání, pokud chceme nalézt korektní interpretace.

● Identifikace pravidel

Nakolik obecná jsou pravidla řídící daný časoprostorový rámec? Některá pravidla se podřizují geometrii cirkulačních systémů nebo drénovacích sítí v povodích. To je ale oblast aktivního výzkumu vědeckých odvětví mimo ekologii a je potřeba využít faktu, že některé z metod těchto oborů nás mohou informovat o mezích ekologických systémů.

● Změna hranic

Jak se budou ekologická společenstva měnit, když se změní jejich hranice? Jestliže existují přírodní tlaky na časoprostorové hranice dominantní působnosti, v jejímž rámci probíhají ekologické procesy, kde tyto tlaky omezovat anebo kdy napínat systém změn chování, stability či setrvalého fungování? Jde o klíčovou úvahu vyplývající z převahy lidských zásahů s neustále novým nastavováním ekosystémů. Např. kalifornský vodní systém byl označen za nejmasivnější přestavbu přírody, o jakou se kdy kdo pokusil. Přesuny vody uvnitř povodí nalezne nyní běžně v mnoha aridních oblastech světa, přičemž to vyčerpává nebo uměle zvětšuje lokální

ekosystémy a systémy podzemní vody. Vypouštění uhlikatých zplodin z fosilních paliv zpět do aktivního karbonového cyklu je jiným příkladem lidské domény již dlouho natažené podél časové osy. Globální homogenizace druhů exploatací naší planety by mohla být také zvažována v tomto světle. Nicméně ne vždy lidé rozeznávají reálnou časoprostorovou doménu kauzality (leckdy ji vysoce stlačujeme). Managementová pravidla jsou nyní vypracována převážně na stanovištní, resp. nanejvýš ekosystémové jednotky. Přitom se zde podle všeho, co bylo naznačeno výše, uplatňuje souhrn pravidel, z nichž každé má z hlediska časových a prostorových měřítek jiný operační akční rádius. Porozumění těmto pravidlům patří mezi naše velké výzvy.

● Setkání výzev

Budoucnost vyžaduje nové cesty společné práce, nové nástroje a větší důraz na stále rostoucí počet databází.

● Spolupráce a integrace

Žádný jednotlivý vědec nemá takovou hloubku vzdělání ve fyzikálních a biologických vědách, aby se dostal k odpovědím na zde formulované otázky. Proto musíme stimulovat výzkumnou spolupráci mezi vědci, jež mají trénink v tom, jak rozumět jazyku jiných vědců. Znamená to požadovat, aby ekologové měli dobrý základ ve vědách o Zemi a matematice, a u fyzikálních badatelů, aby solidně zvládali ekologické teorie. V jiném směru je třeba posílit spoje mezi ekosystémovou ekologií a ekologií společenstev. Pochopit, jak biologická společenstva utvářejí a naopak jak jsou utvářena fyzikálními procesy v prostředí, pomůže zbořit bariéry mezi těmito dvěma sférami. Další je potřeba silnějších propojení mezi systematikou a ekologií — evidentní pro všechny taxonomické skupiny, ale zvláště kritická pro mikrobiální skupiny.

● Analytické nástroje

Matematické a statistické aparáty užívané v ekologickém výzkumu pocházejí převážně z lineární teo-

rie. V kontrastu k tomu mnoho ekologických procesů řídí nelineární dynamika, prahové efekty a komplexnější vztahové struktury.

● Důraz na výzkum a monitorovací databáze

Potřebujeme také ekology trénované v organizování velkých databází, které mohou konstruovat archivy minulých ekologických dat, těžit z nich pro nové výsledky a činit je přístupnými pro jiné.

Ekologický výzkum nevyhnutelně míří do nové éry pokroku v našem ekologickém poznání dosažené v nedávných letech. Každá ze žhavých tematických linií ekologie si žádá rozsáhlejší spolupráci a více inovačních technologií, pokud máme porozumět, jak složitost ekologických procesů postupně přetváří Zemi. Většina z nerozřešených výzev v ekologii vyrůstá z nekompletního poznání toho, jak biologické a fyzikální procesy interagují napříč prostorem a časem.