

Historická ekologie: dlouhodobé interakce přírody a člověka

VI. Historie se opakuje

Šestým dílem náš seriál o historické ekologii končí. Z několika pohledů jsme se pokusili osvětlit, co vypovídají různé disciplíny o dlouhodobém vývoji přírody – avšak nejen samotné přírody, ale také jejích interakcí s lidskými společnostmi. Člověk historii vytváří, podílí se na ní a bez něj by ani dějiny přírody nebyly úplné. Přes pravěké a v užším smyslu historické děje se teď dostáváme nejbliž současnosti. Vlastně do období, v němž právě žijeme a které bychom mohli nazvat aktuální fází antropocénu. Viděli jsme, že antropocén začal podle všeho už hodně dávno, ale jeho současné období v sobě obsahuje historicky nebývalou intenzitu lidského vlivu na globální přírodu. Jak na to reagují společenstva živých organismů a jimi tvořené ekosystémy?



1

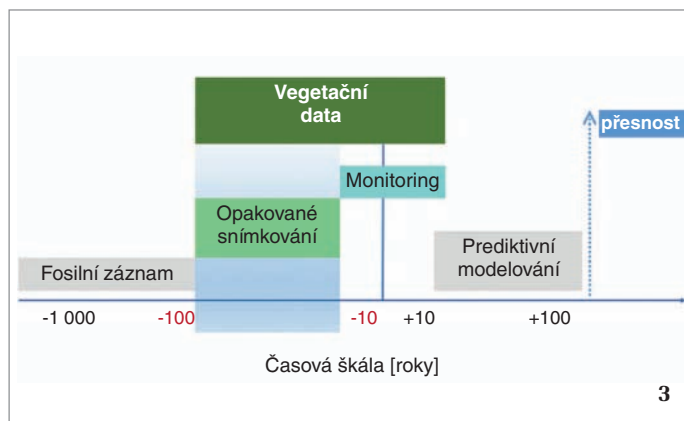
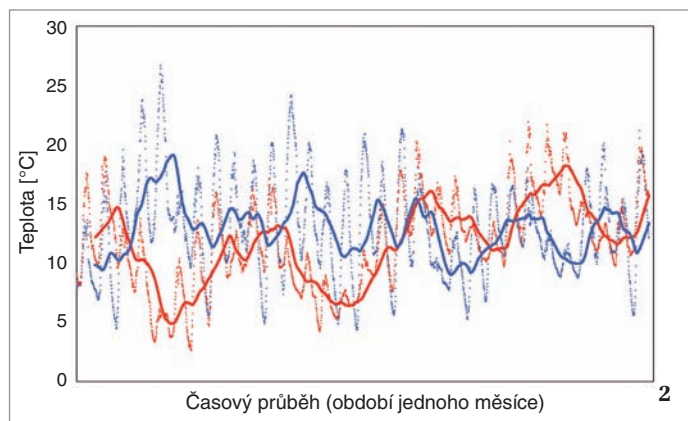
Co je ve vývoji přírody dlouhodobé?

Kdy začal antropocén a odkdy tedy přesně datovat podstatnější vliv člověka na přírodu v globálním měřítku, to je předmětem rozsáhlých odborných debat. Podobně o tom, co je vůbec ve vývoji přírody dlouhodobé, mohou panovat velmi rozdílná přesvědčení. Ta bývají formována povahou objektů našeho studia – pokud jsou to např. fosilie, pak za patřičně dlouhou dobu budeme považovat tisíce, miliony či desítky milionů let (záleží na typu fosilií). Pokud však studujeme živé organismy, bude hodně záležet na jejich životním cyklu. Rostliny obvykle sledují cykly odpovídající jednomu roku, během nějž se vystřídají roční období a také generace rostlin. Ty vytrvalé žijí déle než rok, ale za normálních okolností každoročně přibude nová generace. Není divu, základní rámec udávají astronomické cykly spojené s oběhem Země kolem Slunce. Možná trochu podobně je tomu s člověkem a lidskou společností. Rok je právě ta jednotka, která tvoří základní rámec našeho vnímání světa. Když pak sledujeme vývoj po dobu desítek nebo stovek let, vidíme často velké změny v přírodě i společnosti. Za pouhé jedno století se toho stane tolik, že to právem můžeme vnímat jako dlouhodobý vývoj.

Pozoruhodně cyklický, opakující se charakter přírodních dějů má nicméně komplikovanou rytmicitu. Krátké cykly skládají cykly delší a ty ještě delší, dohromady pak vytvářejí složitou strukturu časového vývoje. Z vybraného úhlu pohledu se často musíme zaměřit právě na určitou délku děje a cykličnost pro ni typickou, a ignorovat jemnější, či naopak hrubší cykly. Pro praktické uchopení jde vlastně o volbu časové škály. Do toho navíc vstupuje zvyšující nebo snižující se intenzita oscilací a hlavně trendy, jež se můžeme snažit vysvětlit jako důsledek pravděpodobných příčin. Pozorovaný trend však může být jen dílčí část nezávislého cyklu, který jen nejsme schopni zaznamenat, protože je příliš dlouhý nebo nezřetelný a k jeho popisu nemáme dost dobrá data. Aktuálním a hojně diskutovaným příkladem je klimatická změna, která v sobě zahrnuje vše zmíněné. Od cykličnosti přes změnu intenzity oscilací až po trendy a možná i chaotické chování systému (obr. 2).

Konfrontace obrovské komplexity přírody a naší omezené schopnosti všechno zachytit a rekonstruovat proběhlé děje může vyvolávat pocity marnosti z této činnosti. Ve skutečnosti nemůžeme dělat nic moc lepšího než trpělivě sbírat pozorování a dávat je do vzájemných souvislostí. Ty jsou natolik složité, že i experimentální přístup, běžný v mnoha biologických a ekologických disciplínách, může napomoci jen nepřímo, stěží přinese důkaz o příčinách pozorovaných dějů. Snad právě v tom však spočívá kouzlo historie jako proběhlého děje, který se sice jednou za čas opakuje, pokaždé ale svým způsobem jedinečně.

1 Rostlinné společenstvo lesního podrostu se dlouhodobě mění a nese v sobě informaci o historii změn prostředí. Ochoz u Brna, Moravský kras, 8. dubna 2017. Foto R. Hédľ



Metody studia

dlouhodobé změny vegetace

Jeden ze směrů ekologie se snaží nahlédnout právě časový vývoj ve společenstvech živých organismů a jejich prostředí. Soustředí se proto na opakovaná pozorování a stejně jako třeba meteorologové pravidelně a systematicky sledují určité parametry počasí, ekologové zaznamenávají v časových „snímcích“ vybrané proměnné jedinců, populací a jimi tvořených společenstev. V kombinaci se sledováním podmínek prostředí je možné do určité míry vysvětlit, proč se mění např. biodiverzita nebo druhové složení společenstev louky, lesa nebo i korálového útesu (obr. 1). V tomto bádání hraje velkou roli nejen vytrvalost, protože pozorování je třeba provádět skutečně opakovaně a po dlouhou dobu, ale také dobře rozmyšlený systém sběru, ukládání a vyhodnocení údajů (Kapfer a kol. 2017, Verheyen a kol. 2017).

Základní představu o přístupech ke studiu dlouhodobých změn rostlinných společenstev si můžeme udělat z obr. 3. Klasickou metodou je monitorování na trvalých plochách s přesným vymezením, v praxi realizované pomocí různých typů značek přímo v terénu, a pravidelný sběr dat zpravidla o druhovém složení a zastoupení jednotlivých druhů. Kromě časové a organizačně relativně náročného monitoringu se stále častěji využívá opakované snímkování historických vegetačních ploch. To nám umožňuje zachytit změny v horizontu zhruba 100 až 200 let, což je, z hlediska studia bezprostředně zaznamenaných společenstev živých rostlin, zatím nejdelší dosažitelná doba. Historická data mají svůj počátek v druhových soupisech, které první botanici začali pořizovat na přirozeně dobře vymezených lokalitách. Nepřekvapí, že asi nejstarší takto vytvořená data pocházejí z horských vrcholů hlavně v Alpách. Jak postupovala věda, začátkem 20. století se vyvinula metoda zapisování druhového složení rostlinných společenstev na uměle vymezených lokalitách, které byly brzy standardizovány do podoby ploch. Hodně úsilí bylo tehdy věnováno zkoumání, jak velká plocha vlastně zachycuje skutečné rostlinné společenstvo – a zda takové společenstvo vůbec existuje.

Sběr dat o dlouhodobých změnách na lokálním měřítku vegetačních ploch se skládá ze tří základních kroků. Prvním je výběr vhodných historických materiálů, druhým dohledání a návštěva starých vegetačních ploch v terénu, třetím zápis

složení vegetace co nejpodobnějším způsobem, jakým to udělal náš předchůdce. Obsah zápisů je naštěstí celkem standardizovaný a jednoduchý, ale u naprosté většiny historických vegetačních ploch bohužel neznáme jejich přesné umístění. Cílem totiž bylo zapsat druhové složení a málokdo se zabýval tím, že by v budoucnu někdo mohl chtít vegetační snímky opakovat a zjišťovat, co se s vegetací mezitím stalo. Nebyly k tomu ani tak dobré technické možnosti jako dnes – GPS lze běžně využívat teprve relativně odnedávna. Někdy však máme u historických vegetačních ploch k dispozici aspoň přibližnou lokalizaci, většinou pomocí map a slovních upřesnění. To je pro posouzení změny rozhodující, protože jinak je riziko šumu v datech příliš velké.

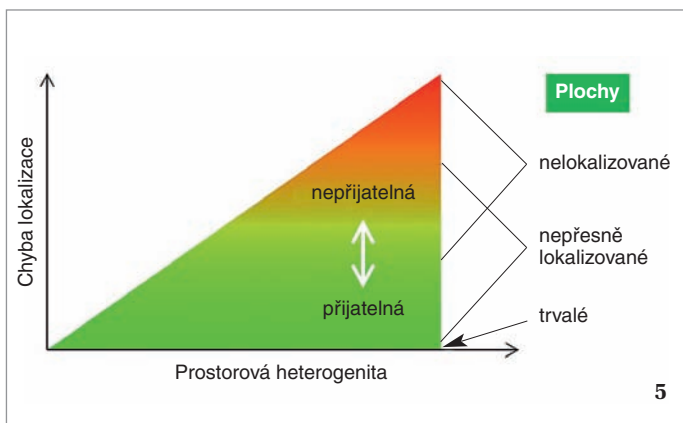
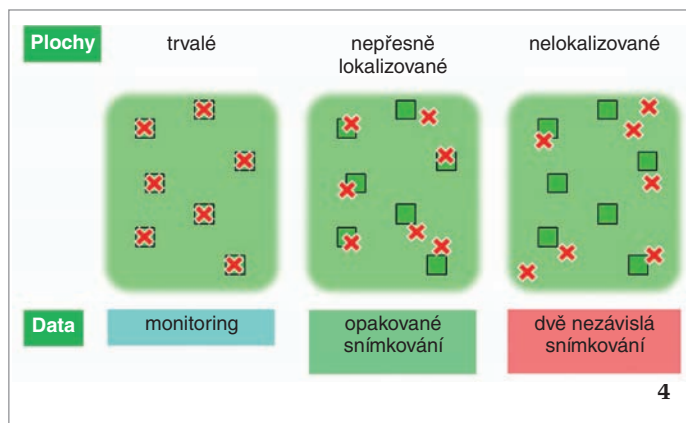
Tři možnosti, jak takové opakované vegetační plochy mohou vypadat, přibližuje obr. 4. Pokud se nechceme omezovat jen na pracně udržované trvalé plochy, pro posouzení dlouhodobých změn skutečně nezbyvá než počítat s možnou chybou danou nepřesnou lokalizací historických ploch. Pořád je to ale lepší než nevědět vůbec, kde se plochy nacházely. Vzápětí např. různé časové vrstvy z dnes stále intenzivněji budovaných ekologických databází není právě optimální. Nejistoty ohledně chyby dané nepřesnou lokalizací se však jednoduše nezbavíme, protože se nedá „od stolu“ rozhodnout, jak velkou chybu jsme udělali a zda to může zkreslit výsledky natolik, že jde spíše o chybu vlivem neznámého umístění než o skutečnou časovou změnu. Tuto nejistotu ilustruje obr. 5 a necháváme zcela na čtenářově úsudku, který typ ploch by ještě přijal jako dostatečně spolehlivý a který už raději ne. Avšak pro informace o složení vegetace před více desetiletími nám nezbyvá skoro nic jiného než vzít zaveděné nepřesně lokalizovanými plochami. Je proto dobré mít co nejvíce informací, kde zhruba plochy v terénu hledat, ačkoli plochy bez fyzického vymezení jako takové samozřejmě najít nemůžeme. Další ze zdrojů chyb může vznikat vlivem pozorovatele, tedy botanika, který vegetaci snímkuje. To je ale společné pro všechny typy dat zaznamenávaných subjektivně chybujícím jedincem. Obecně platí, že čím více pozorovatelů, tím vyšší bývá míra takto způsobené chyby.

Monitorování za použití trvalých ploch, kdy opakovaně sledujeme krátkodobější změny, a opakované snímkování historických vegetačních ploch, které bývá obvykle jen jednorázové, se dají dobře kombinovat.

2 Cyklické děje v přírodě jsou zřetelné zvláště u proměnných klimatu, protože jsou těsně spjaty s pravidelností astronomických cyklů. Průběhem klimatických proměnných se pak řídí cykly v živé přírodě. Graf zobrazuje průběh teplot v květnu 2015 (modře) a 2019 (červeně) uprostřed jedné z trvalých monitorovacích ploch, odkud pocházejí data o změnách lesní vegetace na obr. 6. Drobné body ukazují reálné teploty ve °C (svislá osa), naměřené v 10 cm nad zemí; tedy podmínky, které skutečně zažívají rostliny lesního podrostu. Jednotlivé výkyvy odpovídají denním oscilacím teplot. Silnější vytažené křivky spojují průměry teplot za 24 hodin. Průběh květnových teplot se mezi dvěma lety nápadně liší nejen v pravidelnosti a amplitudě oscilací, ale i trendech – v r. 2015 postupně klesaly, zatímco v r. 2019 celkově stoupaly. Pokud bychom si zobrazili i měření z ostatních let, viděli bychom opět jiné křivky (měření probíhají souvisle zatím od r. 2015).

3 Možné přístupy k zachycení časových změn v ekosystémech. Vegetační data ve smyslu záznamů společenstev živých rostlin přímo v terénu skýtají dva základní přístupy: monitoring a opakované vegetační snímkování. Liší se nejen metodicky a pozicí na časové ose, ale také přesností zachycení časové změny. Čím hlouběji jdeme do minulosti (směrem k fosilním datům), nebo naopak dopředu do budoucnosti (spolehnáme na predikci pomocí statistického modelování), tím menší přesnosti, a tedy i spolehlivosti data obecně dosahují a výsledky je třeba interpretovat s rostoucí opatrností. Opakované snímkování zahrnuje relativně jedinečnou časovou škálu řádu desítek let a je specifické tím, že zpracovává historická vegetační data zejména v podobě starých fytoecologických snímků. S využitím různých environmentálních proměnných je pak porovnává se současným stavem a odvozuje závěry o proběhlých změnách.

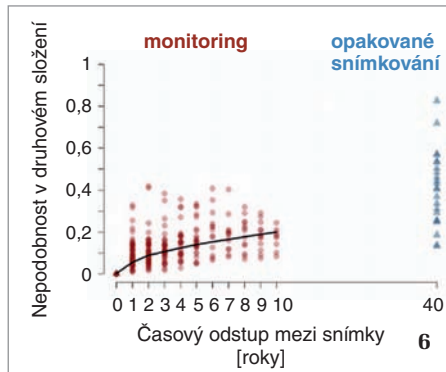
4 Pro zachycení dlouhodobé změny vegetace se často využívají různé typy ploch. Velmi důležitou roli přitom hraje, jak dobře jsme schopni naše plochy lokalizovat. Základní možnosti jsou trvalé plochy, na kterých je postaven klasický monitoring; trvalé plochy však nebývají starší než 10 nebo 20 let, protože jejich udržba vyžaduje určitou kontinuitu. Pokud chceme využít staré plochy, založené před více desetiletími,



může být rozhodující, zda je umíme aspoň přibližně lokalizovat. Použijeme-li pro odhad časové změny dva nezávislé soubory dat z vegetačních ploch, chyba daná odlišným umístěním vzájemně srovnávaných ploch může zcela překrýt skutečnou změnu (blíže na obr. 5). Zelená pole představují krajinu, jejíž rozloha se může pohybovat od menších lokalit až po globální měřítko. Vegetační plochy mají velikost obvykle od jednotek až po stovky metrů čtverečních. Vzdálenosti mezi nimi jsou tedy skoro vždy podstatně větší, než by naznačovala tato schémata.

5 Jak velkou chybu můžeme udělat, když nevíme přesně, kde hledat naše vegetační plochy? Chceme provést opakovaný záznam druhového složení, takže do časové změny se „míchá“ ještě zdánlivá změna daná tím, že záznam provedeme na jiném místě, s jiným druhovým složením. Velkou roli přitom hraje prostorová heterogenita vegetace – když je vegetace homogenní (všude rostou zhruba stejné druhy), nepřesnost v lokalizaci opakovaných ploch může být zanedbatelná. V heterogenní vegetaci, kde se mění složení a společenstva na malých vzdálenostech, můžeme udělat velkou chybu, když ani přibližně nevíme, kde plochy hledat. Neexistuje totiž jednoznačná hranice pro rozhodování, jaká nepřesnost je ještě přijatelná. Záleží na kombinaci nepřesnosti lokalizace, kterou většinou neznáme, a různorodosti vegetace, o jejímž vlivu bez bližšího prozkoumání také nemůžeme nic spolehlivě tvrdit. Tři typy opakovaných ploch odpovídají rozdělení na obr. 4. Upraveno podle: J. Kapfer a kol. (2017, obr. 4 a 5)

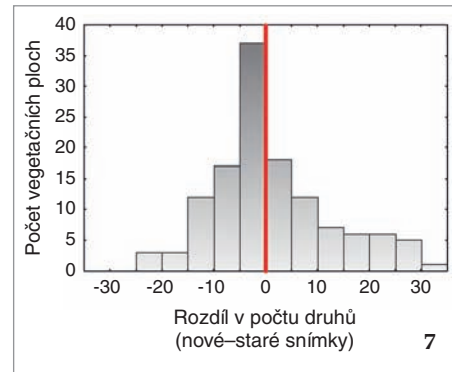
6 Srovnání změn lesní vegetace v národní přírodní rezervaci Děvín, chráněné krajinné oblasti Pálava, za použití 26 trvalých monitorovacích ploch a opakovaného snímkování 23 nepřesně lokalizovaných ploch, vyjádřené Morisitovým-Hornovým indexem. Oba typy jsme vybírali tak, aby byly ve stejných porostech a co nejbliž sobě. Byly založeny před 10 lety, druhové složení vegetace bylo poprvé zaznamenáno v r. 2008. Nepřesně lokalizované plochy z 50. let 20. století byly zopakovány v letech 2002–03 a změna v druhovém složení tedy ukazuje, co se stalo zhruba po 40 letech. Protože časový odstup je zatím poměrně malý, trvalé monitorovací plochy ukazují jednak menší odlišnosti mezi postupnými záznamy vegetace, jednak ale i postupný trend změn ve druhovém složení. Tento trend



nebyl vyvolán žádným zjevným faktorem, vegetace se jednoduše časem mění. Jak by to mohlo dopadnout, kdybychom vydrželi v pravidelném sledování dalších 30 let, ukazují plochy jednorázově zopakované po 40 letech. Je patrný velký rozptyl změn, ale zároveň celkově větší změna druhového složení vegetace. Rozptýlení může být částečně způsobeno nepřesností lokalizace, ale může mít i jiné „nechtěné“ příčiny, stručně popsané v textu. Upraveno podle: R. Hédli a M. Chudomelová (2020)

7 Studie z různých typů ekosystémů po celém světě ukazují, že změna lokální (alfa) diverzity osciluje kolem nuly. K úbytku druhů dochází proporcčně stejně jako k druhovému obohacení místních společenstev – např. v našem případě vegetačních ploch. Čím více dat a z větších území máme, tím spíše vychází statisticky neprůkazná změna, což může vypadat paradoxně vzhledem k tomu, že se očekává globální úbytek biodiverzity. Průměrné změny na úrovni menších území však bývají dosti variabilní. Zde histogram ukazuje rozložení změn v počtu druhů cévnatých rostlin lesního podrostu v Rychlebských horách. Využili jsme 129 nepřesně lokalizovaných ploch snímkaných v letech 1958–61 a zopakovali je v letech 2014–15. Kladné hodnoty na ose x znamenají přírůstek, záporné úbytek počtu druhů na jednotlivých plochách. Ačkoli se většina ploch mírně ochudila, v průměru počet druhů statisticky průkazně stoupl.

Příklad z listnatých lesů v národní přírodní rezervaci Děvín na Pálavě ukazuje obr. 6. Můžeme si tak ověřit, zda dlouhodobé změny zapadají do kontextu spolehlivěji zaznamenaných, na různé typy chyb méně náchylných, krátkodobějších změn zachycených monitoringem.



Nulová čistá změna diverzity – velké změny v druhovém složení

První opakované snímkování historických vegetačních ploch se objevila začátkem 80. let 20. století. Od té doby množství zopakovaných ploch značně narostlo. Kromě klasických fytoecologických snímků se využívají i jiné typy zopakovatelných záznamů, kombinují se různé typy ploch a časových měřítek. Vše, co nějakým způsobem vypovídá o změně dvou základních vlastností společenstev: druhového složení a biodiverzity. Studie nejrozumnějšího rozsahu, zejména však ty větší a shrnující data z mnoha desítek nebo i stovek lokalit, mají často jeden společný výsledek. Zjistily, že čistá změna biodiverzity se statisticky neliší od nuly. Stejná proporce ploch zaznamenala úbytek i nárůst diverzity a v průměru se nic neděje, biodiverzita zůstává dlouhodobě stejná.

To je ale divný paradox, řeknete si jistě – biodiverzita přece všude ubývá, tak jaká nulová čistá změna? Dosavadní studie však skutečně ukazují, a to nejen pro rostlinná společenstva, že tomu tak většinou je (Vellend 2017). Přesněji řečeno, jde o diverzitu na lokální úrovni (což je i měřítko úrovně vegetačních ploch), v ekologii zvanou alfa diverzita. Nejjednodušeji se její změna vyjadřuje jako rozdíl mezi počtem druhů v záznamu historickém a opakovaném. Nulová čistá změna alfa diverzity bývá tím výraznější, čím větší území a větší množství dat do analýzy vstupuje. Tedy čím více místních příběhů sesypeme dohromady a zprůměrujeme, tím více se stírá různorodost skládající celek. Když si však rozebereme změny v menším měřítku, třeba na úrovni jednoho lesa, malého pohoří nebo ostrova, vidíme posuny – někdy k úbytku, často ale i zvýšení alfa diverzity (obráz. 7).

Něco jiného ale zjistíme, když se podíváme, jak se mění prostorová různorodost ve složení společenstev. Vezmeme-li si naše

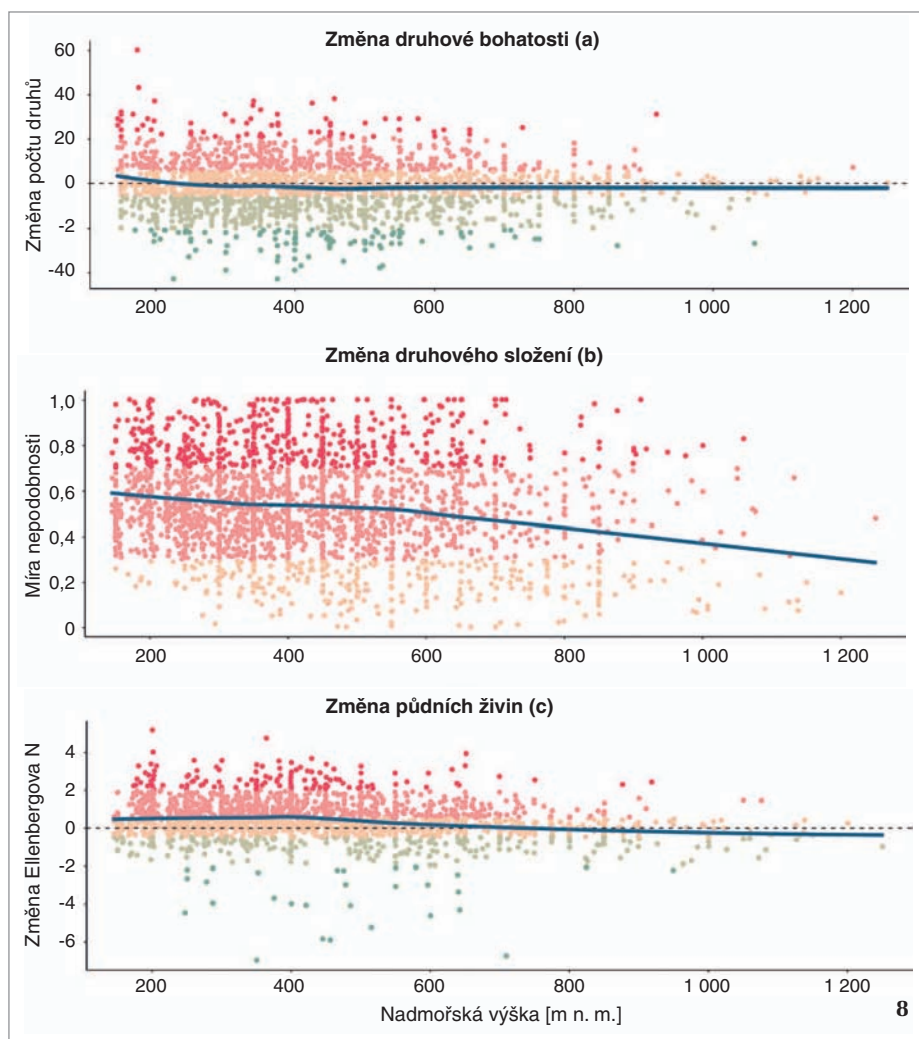
vegetační plochy, sledujeme, zda na všech rostou víceméně stejné druhy, nebo jestli se plochy mezi sebou druhovým složením liší a tvoří vysokou beta diverzitu (na rozdíl od alfa diverzity jde o relativní rozdíl-nost mezi plochami). Nemusí to souviset s počtem druhů. Bohužel to vypadá, že mnohé ekosystémy po celém světě procházejí procesem biotické homogenizace, dřívější jemné zrno se stírá a stejné druhy mají tendenci vyskytovat se všude. Jako vítězové globální soutěže o místo v nových společenstvech nahrazují původní místní druhy. Když uvážíme, jak člověk svou činností přírodu unifikuje a usnadňuje migraci druhů po celém světě, nemůže nás to příliš udivit. Homogenizace se přímo projevuje i na místní úrovni, nejde o abstraktní globální problém. Nemění-li se tedy počet druhů, mění se druhové složení, a to může mít nejrůznější příčiny, jak si ještě povíme dále.

Vše si jednoduše ilustrujeme na příkladu lesů České republiky. Vegetační snímky zopakované na bezmála 2 300 historických plochách v průměru po 50 letech dobře odrážejí výše popsané trendy. Průměrná změna počtu druhů na ploše (alfa diverzita) se pohybuje kolem nuly, se zhruba stejnými výchyly na obě strany. Tento trend je prakticky neměnný podél celého gradientu nadmořské výšky (obr. 8a). Druhové složení se v různé míře změnilo a většina místních společenstev na plochách prošla nezanedbatelným posunem; někdy se druhy dokonce úplně vyměnily (obr. 8b). Kdybychom se ptali, které změnami nejvíce profitovaly, pak zejména ty relativně náročné na půdní živiny – z čehož bychom mohli vyvodit, že živiny v lesních půdách zřejmě dlouhodobě přibýly (obr. 8c). Ostatní typy změn prostředí se v lesní vegetaci také jistě projeví, ale jen málokterá z nich tvoří výrazný celkový trend. Za povšimnutí stojí, že trend eutrofizace je patrný jen v nížinných lesích, vymezených nadmořskou výškou do 500 m, a patrně souvisí s intenzivnější změnou tamního druhového složení.

Řídící síly globální změny

Faktorům prostředí, které zapříčiňují změny v ekosystémech, se v ekologii říká *drivers*. Řídí směr změny a mohou ustavovat nová společenstva. Některé působí v celoplanetárním měřítku, protože jsou spojeny s globální činností člověka. Mohou být natolik významné, že je lze považovat za obecnou hrozbu pro biodiverzitu. Ačkoli se projevují globálně, jejich bezprostřední projevy jsou lokální a právě v místním měřítku se mohou projevovat velmi různorodě. Každý typ ekosystému, např. tundra, les nebo mokřad, navíc reaguje na různé *drivers* s odlišnou citlivostí. Co tedy můžeme považovat za hlavní řídící síly globální změny v biotických společenstvech?

● Změny ve využívání krajiny jsou asi nejzásadnějším a dlouhodobým faktorem. Sem patří i veškeré hospodaření zemědělského a lesnického typu a ve vodním prostředí včetně oceánů zejména rybářství. Kvůli zemědělství člověk začal měnit přírodní ekosystémy už před tisíci lety, takže v mnoha tradičních zemědělských regionech se dlouhodobě vyvíjely v koevoluci s lidskými společnostmi. Současné



ekosystémy v sobě nesou stopu dlouhodobého působení hospodaření, jehož důležitou funkcí jsou soustavné disturbance, v určité míře udržující vysokou biodiverzitu. Aktuální fáze antropocénu se vyznačuje intenzivním hospodařením a extrémním využíváním ekosystémů. Tato změna je poměrně náhlá a můžeme ji považovat za hlavní driver globální změny. Nejde jen o drastické odlesňování tropických pralesů nebo rozorávání stepí – i konvenční hospodaření za účelem produkce plodin má drtivé dopady na celosvětovou biodiverzitu.

● Změna klimatu naproti tomu představuje nastupující globální hrozbu, o jejíchž budoucích účincích panuje poměrně velká nejistota. Tento driver má mnoho podob a zdaleka nejde jen o postupně se ohřívající atmosféru. Jeho vliv se již projevuje v přirozeně chladných prostředích. Zásadní dopady změn klimatu můžeme v budoucnu očekávat v arktické tundře a horských ekosystémech, možná i v boreálních lesích (tajze). Méně drsné klima vede k tomu, že arktické oblasti jsou stále zelenější, vegetace tundry se stává vyšší a přibývají druhy s většími a ploššími listy (Bjorkman a kol. 2018). V lesích je nicméně situace podstatně méně dramatická a reakce lesních bylin překvapivě zaostává za rychlostí oteplování klimatu. Vysvětluje se to tím, že stromový baldachýn má stínící a zároveň ochlazující vliv (De Frenne a kol. 2013). Minimální pozornost byla však zatím věnována možným dopadům nedostatku vody na biodiverzitu společenstev lesních ekosystémů.

8 Dlouhodobá změna vegetace lesů v České republice odráží celosvětové trendy. Dva základní pohledy na měnící se společenstva jsou přes změnu v počtu druhů (obr. a) a druhové bohatosti (b). V průměru zůstává druhová bohatost stejná, linie trendu se podél gradientu nadmořské výšky neodchyluje od nulové linie čisté změny počtu druhů na ploše. Na jednotlivých plochách s vegetačními snímky opakovanými přibližně po 50 letech, znázorněnými pomocí bodů, však mohlo dojít k výraznému ochuzení (zelené odstíny) nebo obohacení (červené). Trend změn v druhovém složení ukazuje mírně klesající intenzitu směrem od nížin do hor, což by znamenalo, že k výraznější obměně došlo v nížinných. Může se na tom podílet i vliv větší zásoby druhů v nížinných lesích. Změna druhového složení mezi starým a opakovaným snímkem je vyjádřena Morisitovým-Hornovým indexem nepodobnosti. Nepřímou indikací o možných příčinách těchto změn poskytují Ellenbergovy indikační hodnoty (c). Jediný nápadnější trend ukazují hodnoty pro půdní živiny (N), které se dlouhodobě mezi starými a opakovanými snímky zvýšily, a to opět v nížinných lesích – v nadmořských výškách do 500 m. Pravděpodobně se zvýšilo zastoupení druhů náročnějších na živiny a plochy se tak jeví úživnější (červené odstíny), zatímco opačný proces postihl jen relativně malou část ploch (zelené). Orig. R. Hédli, není-li uvedeno jinak

● Atmosférické depozice jsou posledním z driverů globální změny, na který se zde stručně zaměříme. Míněny jsou hlavně depozice sloučenin dusíku (amoniak, dusitany a dusičnany), dostávající se do atmosféry především ze spalování fosilních paliv (uhlí a ropy). Účinek atmosférických depozic je dosti komplexní a my si ho zjednodušíme na eutrofizaci – zvyšování úživnosti prostředí. Ve zvýšené míře k němu dochází už po řadu desetiletí v hustě osídlených oblastech planety. Depozice dusíku působí jako plošné hnojení v koncentracích řádově desítek kilogramů na hektar. Za celkovou eutrofizaci prostředí nemohou jen atmosférické depozice, ale také hnojení v zemědělství. Kromě dusíku se do půdy přidávají velká množství fosforu, který k eutrofizaci dále přispívá, což ve vodních nádržích může vést k nárůstu toxických sinic. Dusík a fosfor jsou hlavní živiny a pro rostliny by jejich zvýšený přísun mohl být i příjemný. Velká část druhů se však adaptovala na nedostatek živin a jejich dlouhodobý nadbytek úplně mění při-

rozené prostředí. Některým druhům rostlin ale vyšší koncentrace dusíku vyhovují a šíří se proto i na stanoviště, kde by dříve nemohly růst. Atmosférické depozice jsou tedy patrně relativně nejvýznamnějším driverem globální změny pro ekosystémy temperátních lesů.

Na závěr se vraťme z úrovně celoplanetárních hrozeb do jednoho lesa v České republice (viz doplňující obr. na webu Živy). Hodonínská Důbrava patří k nejzajímavějším a biologicky nejcenějším lesním komplexům střední Evropy. Změny v druhovém složení a biodiverzitě rostlinných společenstev mají na svědomí zejména velké změny v hospodaření, přibyté živin v prostředí a nadměrné počty zvěře. Důbrava byla historicky využívána hodně různorodými způsoby, např. se zde pravidelně páslo. Opuštění tradičních způsobů hospodaření vede k expanzi lípy, která má výrazně stínící efekt, a to světlo- milné druhy rostlin nesnesou. Šíření lípy mohly podpořit přísuny dusíku z atmosférických depozic, které spolu s přemno-

ženým prasetem divokým vedou k vyšší úživnosti prostředí. To vyhovuje i některým invazním druhům rostlin.

Každá historie se odehrává na konkrétním místě a porovnání místních dějin s ději globálními nemusí být pouhým triviálním cvičením. Je dobré zvážit, že žádný z faktorů nepůsobí odděleně od ostatních, často se naopak vzájemně zesilují. Rekonstrukce nebo scénáře pravděpodobného vývoje se mohou více či méně lišit mezi lokalitami, ale budou mít i hodně společného na celoplanetární úrovni.

Tímto článkem uzavíráme šestidílný seriál o historické ekologii. Dlouhodobé interakce člověka a přírody byly představeny z několika různých pohledů. Záměrem bylo ukázat pestrost témat, kterými se ve svém výzkumu zabýváme. Věříme, že čtenáře články zaujaly a budou se k nim vracet.

Seznam použité literatury je uveden na webové stránce Živy. K dalšímu čtení např. Živa 2019, 5: 194–197.

Jitka Žurmanová, Barbara Elsnicová

K výuce

Fenotyp kosterních svalů – o čem vypovídají izoformy myozinu

Kosterní svaly zaujímají zhruba 60 % tělesné hmotnosti člověka a v těle máme 600 různých svalů. Jejich úlohou je především zajistit pohyb a správné držení těla, ale jsou i významným „termogenním orgánem“, protože přispívají k tvorbě tepla. Jistě jste zažili nekontrolovaný třes celého těla, který se spustil v reakci na chlad, tomuto jevu se říká třesová termogeneze. Vedle toho jsou svaly zásobárnou bílkovin, která může být využita v terminální fázi delšího hladovění (jinak organismus svalovinu chrání před zužitkováním jako energetický zdroj). V neposlední řadě stav svalů ovlivňuje zdraví a vzhled našeho těla. Stále častější sedavý způsob života negativně působí na zdravotní kondici lidské populace, obracíme tedy pozornost ke svalům, jejich typům a k zákonitostem, které je ovlivňují. Podle rychlosti kontrakce se svaly rozlišují na tonické s převahou pomalých svalových vláken a fázické s převahou rychlých, přičemž tato rychlost či pomalost souvisí i s rozdíly v metabolismu a struktuře jednotlivých typů vláken.

Svalový pohyb je v principu zajištěn v závislosti na nervové stimulaci. Po přenosu nervového vzruchu dojde v cytoplazmě svalových buněk ke zvýšení koncentrace vápenatých iontů, což vede ke svalovému stahu. Samotný stah je zprostředkován zasouváním tenkých a tlustých filament v sarkomerách, funkčních jednotkách svalu (obr. 1). Tenká filamenta jsou ukotvena v Z-linii a jejich hlavní součástí je bílkovina aktin, zatímco silná filamenta představují molekulární motory tvořené bílkovinou myozinem, které se po aktinu pohybují. Myozinová filamenta jsou tvořena dvěma molekulami myozinu, vzájemně propletených svými „ocásky“ a ukotvených ve

středu sarkomery (M-linie). Aktivní hlavíčka myozinu, tvořená jeho těžkými a lehkými řetězci, umožňuje posouvání filamenta na základě své enzymatické aktivity, využívající chemickou energii ve formě adenosintrifosfátu (ATP). Myozin tedy štěpí ATP a uvolněná energie slouží pro svalovou práci (obr. 2).

Energie pro svalovou činnost ve formě ATP je za fyziologických podmínek získávána v dýchacím řetězci mitochondrií oxidativní fosforylací – aerobně, nebo glykolýzou – anaerobně. Při mírné dlouhodobé zátěži, tedy např. během vytrvalostního tréninku, ale i při celodenní mírné aktivitě svalů nutné pro udržování postoje, a záro-

veň při dostatečném zásobení svalu kyslíkem, získávají svalové buňky ATP převážně aerobně. Anaerobní glykolýza je využívána hlavně při vysoké krátkodobé zátěži.

Nervová stimulace svalů

Fenotyp kosterních svalů je závislý na typu inervace a formuje se hned po narození, kdy působením gravitace dochází ke zvýšené aktivaci nervosvalových spojení. Vznikají dva základní typy nervové stimulace.

● Tonická stimulace svalů se podílí především na udržování postoje těla, stability těla v prostoru a pomalém pohybu. Aktivace tonických vláken svalu probíhá s nízkou frekvencí akčních potenciálů (vzruchů) na nervosvalovém spojení. Akční potenciály jsou elektrické stimuly, jejichž frekvence ovlivňuje hladinu iontů Ca^{2+} v cytoplazmě a tím míru aktivace svalu. U pomalé frekvence a stabilní stimulace je hladina iontů Ca^{2+} mírně zvýšena. Vytváří se pomalý typ nervosvalového spojení, který tonickou aktivitou dále formuje pomalé motorické jednotky (skupiny vláken inervované jedním neuronem). Vzniká pomalý fenotyp kosterního svalu, odolný k únavě (slow, fatigue resistant).

● Fázická stimulace probíhá zejména při rychlém pohybu svalů (fázi); střídají se periody vysoké frekvence akčních potenciálů s klidovou fází, což vede k výrazným výkyvům koncentrace Ca^{2+} v cytoplazmě. A právě hladina vápníku ovlivňuje signální dráhy, které potom v buňce stimulují tvorbu (expresi) vybraných svalových proteinů a tím mění vlastnosti svalu a jeho fenotyp. V závislosti na době trvání svalové zátěže se později rozlišují dva typy motorických jednotek, rychlé a střední. Rychlé motorické jednotky, které mají časově omezenou aktivitu s velmi vysokou frekvencí vzruchů, dávají vzniknout rychlému fenotypu svalu, který se snadno unaví (fast fatiguable). Střední motorické jednotky mají vzruchovou aktivitu poněkud nižší, avšak s delším trváním, a jsou základem rychlého svalového fenotypu, k únavě odolného (fast, fatigue resistant).