

# Historie, definice, hypotézy a budoucnost biologických invazí

Pro pochopení současného stavu každého oboru je užitečné nahlédnout do jeho historie; biologické invaze jsou v tomto ohledu poněkud speciální, protože jde o disciplínu relativně mladou, která za posledních 50 let prošla bouřlivým rozvojem. Zásluhy o založení oboru, téměř až s nálepkou otcovství, se přisuzují anglickému zoologovi Charlesi Eltonovi, který nejprve připravil v 50. letech 20. stol. sérii rozhlasových pořadů o invazních druzích pro britskou BBC a poté vydal v r. 1958 v londýnském nakladatelství Methuen přelomovou knihu s názvem *The ecology of invasions by animals and plants* – řada vůdčích osobností oboru ji dodnes považuje za historický milník. První zmínky o zavlékání organismů mimo místa jejich původního výskytu, doprovázené údivem, jak dobře se některým v nových územích daří, však nalezneme již o století dříve v dílech slovatných přírodovědců včetně Charlese Darwina – jak později uvidíme, na základě jeho úvah byla formulována jedna z důležitých a dodnes často testovaných hypotéz.

## Od přírodopisu k interdisciplinaritě

Jak šel čas, výzkum invazí se měnil a není bez zajímavosti si to připomenout. V Darwinově době šlo o klasickou „natural history“, tedy popisné zachycování pozorovaných skutečností a jejich interpretaci, pro něž se nabízí dnes již pozapomenutý termín přírodopis, samozřejmě se silným nádechem toho, čemu dnes říkáme biogeografie. Moderní ekologie nastoupila ve chvíli, kdy se do věci vložil Charles Elton (viz článek na str. CXVII–CXVIII kulérové přílohy tohoto čísla *Živa*); ten si jako první uvědomil hrozbu, kterou invaze již v té době představovaly, a upozornil na ni, což vzbudilo zájem ochrany přírody. Další zásadní změny přišly s postupnou globalizací vědy a vzrůstajícím vědomím, že

invaze, jejich dopady a management vyžadují zapojení a spolupráci celé řady disciplín, včetně ekonomiky, sociologie, politiky a dalších humanitně zaměřených oborů (obr. 1). Posledních zhruba 30 let je pak lemováno milníky, z nichž se sluší zmínit zejména program SCOPE (Scientific Committee on the Problems of the Environment) – jeden z jeho projektů byl zaměřen na biologické invaze, jako první se opíral o širokou mezinárodní spolupráci, přinesl řadu výstupů a na dlouhou dobu nastavil oborové standardy. Na začátku 90. let následovalo přijetí Úmluvy o biodiverzitě, která také nenechává invaze bez povšimnutí, byly založeny pravidelné, dodnes probíhající specializované konference (EMAPI v r. 1992, Neobiota

o 10 let později), v r. 1995 byl v Jižní Africe zahájen eradikační program Working for Water, v r. 1999 vydal prezident Bill Clinton známý dekret, který posílil výzkum ve Spojených státech amerických. O rok dříve začal vycházet časopis *Biological Invasions* a poslední, co bych zmínil, je založení Centra pro invazní biologii v jihoafrickém Stellenboschi v r. 2004, z něhož vyrostla v současné době zřejmě nejvýkonnější instituce svého druhu.

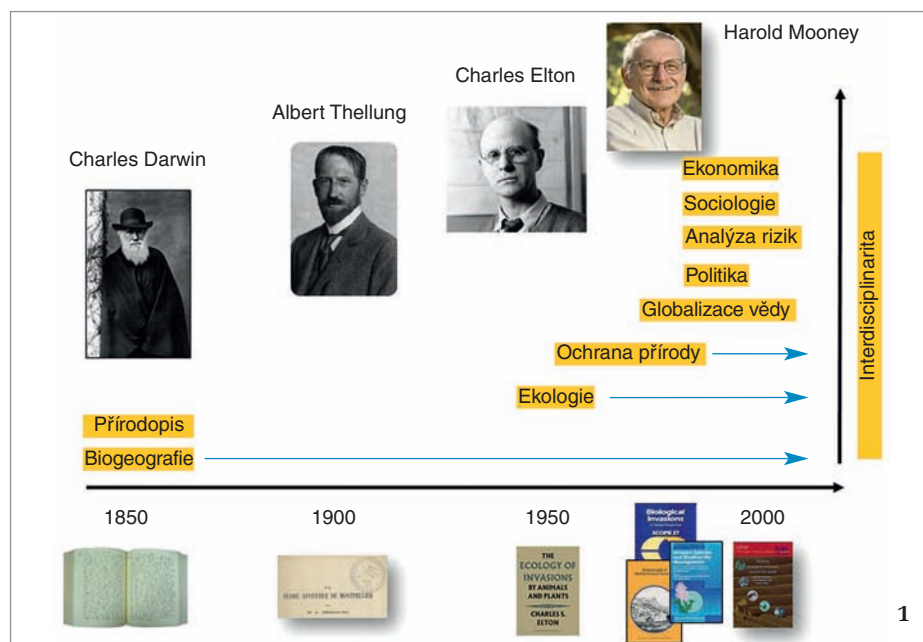
Každé období mělo prominentní osobnosti (obr. 1). Kromě pánů Darwina a Eltona bych rád připomněl také švýcarského botanika Alberta Thellunga (blíže na str. CXIX kuléru), na jehož vklad se často zapomíná – jako první na počátku 20. stol. vytvořil detailní a promyšlený systém klasifikace synantropních rostlin (člověka doprovázejících), mezi něž patří i nepůvodní druhy. S určitými modifikacemi, o které ho obohatila řada jeho následovníků (mimo jiné významný český botanik Josef Holub v 60. letech, viz např. *Živa* 2012, 4: LXXIII), se v části Evropy používá dodnes. Místo na piedestalu si pak zaslouží i stále velmi aktivní Harold Mooney, který byl iniciátorem a hnacím motorem programu SCOPE.

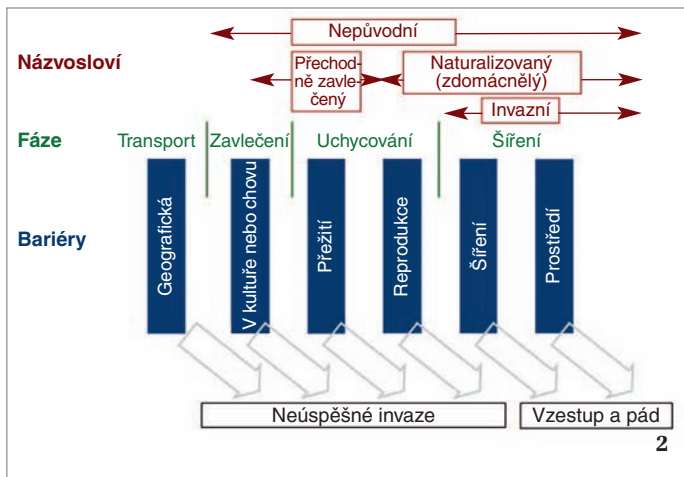
Důležitá věc, která z výše uvedeného vyplývá a kterou je třeba mít na paměti – dnes už problematika invazí zdaleka není pouze ekologickou disciplínou. V následujícím textu se nicméně podíváme na některé základní ekologické principy, neboť snaha o pochopení, jak invaze fungují a jaké mechanismy je řídí, stála od počátku v popředí zájmu všech, kdo se jimi zabývali.

## Invazní proces: kritéria hodnocení, definice a způsoby zavlékání

Přestože se na přelomu století začala prosazovat snaha hledat zákonitosti invazí platné pro širší okruh organismů a prostředí, obecný integrující rámec dlouho chyběl. Lepšímu porozumění a zobecnění bránilo především to, že biologové studující jednotlivé taxonomické skupiny a pracující v různém prostředí se soustředili většinou pouze na ně. To se týká zejména botaniků a zoologů studujících invazní obratlovce; obě skupiny vztahovaly svůj výzkum k jinému rámcovému popisu invazního procesu, což vedlo k nekonzistentní terminologii a různým definicím těchto konceptů. Botanici definovali své kategorie pomocí překonávaných bariér (Richardson a kol. 2000), zatímco zoologové kladli důraz na populace v různých fázích invaze. Až relativně nedávno byl navržen jednotný obecný rámec, který invazi popisuje jako proces, při němž druh musí překonat socioekonomické, geografické a ekologické bariéry, aby se dostal do dalšího stadia invaze, definovaného na základě populačně-ekologických kritérií (Blackburn a kol. 2011). Důležité je si uvědomit, že pro zjednodušení hovoříme většinou o druzích, ve skutečnosti jsou to ale populace, co invaduje – v rámci jednoho druhu a v různých podmínkách prostředí mohou mít různý status.

Ztráty při přechodech mezi stadii invazního procesu lze ilustrovat na příkladu nepůvodních druhů v květeně České republiky. Z přechodně zavlečených, které se u nás vyskytují díky průběžnému zplaňování či opakovanému zavlékání, a tvoří tedy





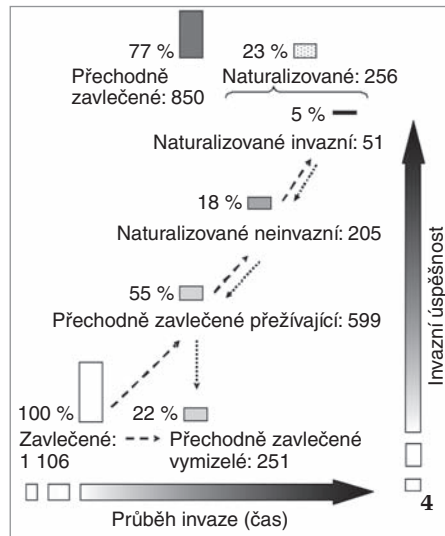
1 Vývoj přístupů ke studiu biologických invazí v průběhu 150 let, od prvních zmínek v díle Charlese Darwina po současnost (podrobnosti v textu). Orig. P. Pyšek

2 Zobecnění invazního procesu aplikovatelné na všechny organismy ve všech typech prostředí. Invazní proces si lze představit jako sérii stadií oddělených bariérami, které druh musí překonat, aby se dostal do stadia následujícího. Při každém přechodu dochází k určitým ztrátám, proto jen část z celkového počtu zavlečených druhů úspěšně zdomácní, nebo dokonce invaduje. V některých případech může druh po období vrcholného stadia invaze ustoupit a dále přežívat v podobě méně početných naturalizovaných populací (tzv. vzestup a pád, boom and bust). Upraveno podle: T. M. Blackburn a kol. (2011)

3 Původní porosty druhově pestrých severoamerických prérí byly nahrazeny evropským sverepem střešním (*Bromus tectorum*), protože na rozdíl od této trávy nebyly adaptovány na pastvu. V Severní Americe sice žila v holocénu velká stáda bizonů na Velkých planinách (Great Plains) v centrální části kontinentu, ale v oblastech, kde došlo k invazi, Intermountain West a California Central Valley, se bizon vyskytoval jen v malých izolovaných populacích, nebo vůbec. Na snímku invaze ve státě Idaho. Foto M. Hejda

4 Ztráty při přechodech mezi stadii invazního procesu, ilustrované na příkladu 1 106 nepůvodních druhů (neofytů) v květeně České republiky. Tento počet představuje 100 %. Pro každé stadium je uveden počet druhů, které daného stadia dosáhly, a výška sloupce odpovídá procentuálnímu podílu z celkového počátečního počtu. Přechodně zavlečené druhy jsou rozděleny na ty, které v území přežívají (71 % z celkového počtu přechodně zavlečených), a vymizelé (29 %). Naturalizované druhy jsou členěny na neinvazní, jež setrvávají v tomto stadiu (80 %), a ty, jimž se podařilo stát se invazními (20 %). Tečkované šipky znázorňují neúspěšné přechody do dalších stadií. Upraveno podle: P. Pyšek a kol. (2012)

stabilně se rozmnožující populace, zhruba 30 % vymizelo. V pokročilejších stadiích, kdy už jsou rostliny naturalizované, zhruba 80 % setrvává v tomto stadiu a pouze 20 % jich přešlo do stadia invaze (obr. 4).



Od popsaného průběhu invazního procesu se odvíjí terminologie. Ta je tradičně v invazní biologii jablkem sváru; dlouhou dobu se používalo neúnosné množství různých termínů. V rostlinných invazích přinesla určitý konsenzus až práce, která zavedla zmíněný systém bariér (Richardson a kol. 2000), a lze říci, že terminologie v ní navržená byla přijata velkou částí rostlinných ekologů studujících invaze po celém světě. I v české literatuře jsou některé termíny zažité a mají jednoznačný význam, používání jiných je nejednotné a vedou se o nich disputace i v anglické literatuře. Existuje zejména rozdíl mezi terminologií používanou v odborné ekologické literatuře a terminologií pro účely legislativy, např. v Úmluvě o biologické rozmanitosti (CBD) a v dokumentech vydaných Mezinárodním svazem ochrany přírody (IUCN), Radou Evropy a Evropskou komisí. Niž uvedená česká terminologie vychází z konvencí používaných v odborné mezinárodní ekologické literatuře (Pyšek a kol. 2008, v závorce odpovídající anglické termíny), zatímco předchozí návrh české terminologie (Mlíkovský a Stýblo 2006) se řídil hlavně terminologií v legislativě.

● Původní druh (native, indigenous) – druh, který v území vznikl v průběhu evoluce, nebo se do něj dostal bez přispění člověka z území, kde je původní.

● Zavlečený, nepůvodní druh (alien, exotic, non-native, non-indigenous) – druh, který se do území dostal v důsledku činnosti člověka z oblasti, kde je původní, nebo přirozenou cestou z území, v němž je ne-

původní. V češtině někdy používaný termín vetřelecký je nevhodný; jde o doslovný překlad jednoho z významů anglického alien, který bývá i v angličtině kritizován pro přílišné emoční zabarvení.

● Přechodně zavlečený druh (casual species) – jeho přežívání v území závisí na opakovaném přísunu propagulí v důsledku lidské činnosti; pokud se rozmnožuje mimo kulturu, pak pouze přechodně.

● Naturalizovaný druh (naturalized, established species, v češtině se používá i termín zdomácněný) – zavlečený druh, který se v území pravidelně rozmnožuje po dlouhou dobu a nezávisle na činnosti člověka. S termínem naturalized se lze setkat hlavně v botanické literatuře (ale používal ho již Ch. Darwin), zatímco established najdeme spíše v literatuře o invazích živočichů.

● Invazní druhy (invasive species) – tvoří podskupinu naturalizovaných druhů, které se v území rychle šíří na značné vzdálenosti od mateřských populací a zpravidla obsadí rozsáhlé území. Některé definice invazního druhu zahrnují jako nezbytné kritérium jeho negativní vliv – impakt. Naše definice vychází z ekologického hlediska, tedy schopnosti šíření – podle ní druh může být považován za invazní, aniž by vykazoval významný negativní impakt. Podle také často používané, prakticky zaměřené definice IUCN jsou za invazní považovány pouze druhy invadující na přirozených a polopřirozených stanovištích. Z ekologického hlediska však nehraje typ stanoviště roli, druh tudíž může být invazní, i když se vyskytuje pouze na člověkem vytvořených stanovištích. Někdy se setkáváme s termínem invazivní, z praktických důvodů a kvůli odlišení od homonymního termínu používaného v medicínských oborech je však vhodnější používat již ustálenou formu invazní (Pyšek a kol. 2008; viz také doporučení Ústavu pro jazyk český AV ČR, str. CXXV kuléru).

Kromě termínů, které popisují, nakolik proběhla invaze druhu úspěšně, je užitečné si připomenout i některé další v invazní biologii běžně používané – ty už se neodvzoují od úspěšnosti druhu v invazním procesu, ale vztahují se k tomu, jak výsledek invaze ovlivňuje čas, vlastnosti prostředí, způsob zavlékání a jeho intenzita.

● Čas od zavlečení (residence time) – čas uplynulý od zavlečení druhu do určitého území. V anglické literatuře se častěji setkáváme s termínem minimum residence time, který vyjadřuje, že u většiny druhů

neznáme reálný čas od zavlečení, a proto jej odvozujeme od nejstaršího záznamu.

- **Neobiota** – tento termín také souvisí s časem od zavlečení, označuje rostliny a živočichy zavlečené zhruba po r. 1500, kdy s rozvojem námořní dopravy začala výměna zboží mezi Starým a Novým světem. Organismy, které se dostaly do území dříve (v Evropě období od počátků neolitického zemědělství po konec středověku), se označují jako archeobiota; analogicky pro rostliny rozlišujeme archeofyty a neofyty.

- **Invadovanost (level of invasion)** – vlastnost společenstva, stanoviště, biotopu nebo území. Vyjadřuje, do jaké míry je systém invadován; měří se počtem, pokryvností či jinou charakteristikou nepůvodních druhů nebo jejich relativním zastoupením vzhledem k původním druhům.

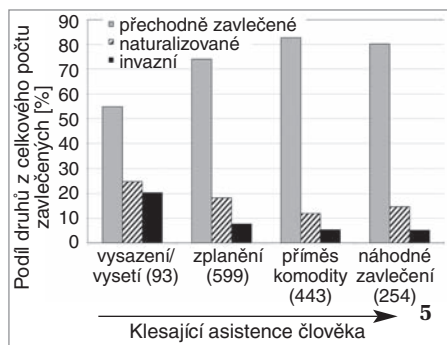
- **Invazibilita (invasibility)** je náchylnost společenstva, stanoviště, biotopu nebo území k invazi. Rozdíl v invadovanosti totiž mohou být způsobeny čistě rozdíly v počtu nepůvodních druhů, které se do systému dostanou; abychom podchytili, nakolik je náchylný nebo odolný vůči invazím, musíme zohlednit procesy migrace a extinkce. Mírou invazibility je, s jakou úspěšností ve společenstvu, biotopu či území nepůvodní druhy přežívají – čím lépe se jim to daří, tím větší je náchylnost k invazi, a tedy vyšší invazibilita.

- **Prísun propagulí (propagule pressure)** – množství rozmnožovacích částic nepůvodních druhů, které se do systému dostávají, a intenzita, s jakou se to děje. Přesnější vyjádření tohoto parametru je typické zejména pro ptačí invaze, kde často známe frekvenci introdukcí a počet jedinců připadajících na jednu introdukci. Se zvyšujícím se přísunem propagulí určitého druhu roste pravděpodobnost, že invaze bude úspěšná.

Klíčovým konceptem v invazní biologii je způsob zavlečení (invasion pathway). Způsoby zavlečení invazních organismů je vhodné klasifikovat na základě toho, zda druh sám je importovanou komoditou či s importem komodity zavlečení souvisí, nebo zda se do nového území dostane neúmyslnou činností člověka. Bylo navrženo schéma rozlišující 6 základních způsobů, jež umožňuje zahrnout do uceleného systému nepůvodní rostliny i živočichy v suchozemském, sladkovodním i mořském prostředí (Hulme a kol. 2008). U některých skupin organismů způsob zavlečení přímo ovlivňuje výsledek invaze, jak lze ilustrovat na středoevropské flóře. Rostlinné druhy zavlekané do České republiky různými způsoby se liší co do úspěšnosti – druhy introdukované úmyslně jako komodita (vysávané či vysazované do přírody, nebo zplahující z kultury) naturalizují snadněji než druhy zavlekané neúmyslně. Podíl naturalizovaných a invazních druhů mezi všemi druhy introdukovanými daným způsobem se snižuje s klesající mírou přímé asistence poskytované člověkem (obr. 5).

### Teorie a hypotézy vysvětlující invazivnost a invazibilitu

Invazní biologie v posledních desetiletích hledá obecná vysvětlení platná pro rostliny i živočichy. Procesy vedoucí k naturalizaci a invazi fungují v závislosti na biogeografickém kontextu a jsou výslednicí interakcí populačně-biologických, makro-



5 Vliv způsobu zavlečení na úspěšnost invaze. Zleva doprava klesá míra přispění člověka, od úmyslného vysazení nebo vysetí do krajiny přes zplanění z kultury, zavlečení jako příměs s komoditou až po zcela neúmyslnou introdukci. Stejným směrem klesá podíl druhů z celkového počtu zavlečených, které dosáhnou stadia naturalizace či invaze. Upraveno podle: P. Pyšek a kol. (2011)

ekologických a antropogenních faktorů. Hypotéz navržených k vysvětlení, proč jsou některé druhy invazní a některá společenstva náchylná k invazi, jsou doslova desítky, řada z nich je nicméně nadbytečná a představuje modifikace několika základních konceptů. Některé se zaměřují na druhovou úroveň, jiné se soustředí na invazibilitu společenstev, další se snaží oba pohledy integrovat. V následujícím textu ukážeme výčet konceptů, jež se ukázaly jako slibné a alespoň některé z nich byly proto často podrobovány více či méně důkladnému testování. Bedlivý čtenář jistě část z nich rozpozná v mechanismech stojících za procesy, o nichž pojednává toto číslo. Zájemce o podrobnější informace s příslušnou dokumentací a literaturou odkazují na webových stránkách [www.hi-knowledge.org](http://www.hi-knowledge.org) berlínské skupiny ekologů z Leibnizova ústavu Freie Universität. V obecné rovině platí, že pro hypotézy formulované na základě interakcí invadujících druhů s prostředím (invazní kolaps, nové zbraně, únik před nepřáteli) se podaří častěji najít empirickou podporu než pro ty, které problematiku nahlížejí spíše z jedné strany, tedy buď přes invazivnost druhů (pravidlo desetiny, vzestup a pád), nebo invazibilitu stanovišť (biotická rezistence, stanovištní filtrování).

- **Darwinova naturalizační hypotéza** (Darwin's naturalization hypothesis) říká, že invaze nepůvodních druhů bude úspěšnější v oblastech, ve kterých žije málo domácích druhů jim příbuzných, a obtížnější tam, kde je takových druhů hodně. Od ní je odvozena hypotéza omezující podobnost (Limiting similarity), která představuje ekologicky formulovanou modifikaci této fylogenetické hypotézy – nepůvodní druhy budou tím úspěšnější, čím více se svými vlastnostmi liší od domácích druhů v invadovaném společenstvu. Na stejném principu je založena teorie volné niky (Empty niche), jež předpokládá, že se nepůvodní druhy lépe prosadí ve společenstvech s větší nabídkou neobsazených nik.

- **Stanovištní filtrování (Habitat filtering)** – zavlečené druhy, které jsou lépe připraveny na podmínky v novém území, budou úspěšnější; tento koncept znamená vlastně

opak Darwinovy naturalizační hypotézy, neboť čím lépe je nový druh přizpůsoben tamním podmínkám, tím bude podobnější druhům domácím.

- **Vzestup a pád (Boom and bust)** – nepůvodní druh, který se na počátku invaze rychle rozšíří a převládne v obsazených společenstvech, může později ustoupit nebo dokonce vymizet. Příčiny tohoto jevu nejsou vždy úplně dobře známy, může jít o kompetici s domácími druhy poté, co se na přítomnost invazního druhu adaptovaly, což se týká i škůdců a nepřátel. V našich podmínkách se jako častý příklad uvádí vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*), jehož populace v posledních desetiletích minulého století začaly ustupovat, nebo vývoj početnosti ondatry pižmové (*Ondatra zibethicus*; viz článek na str. 277–279).

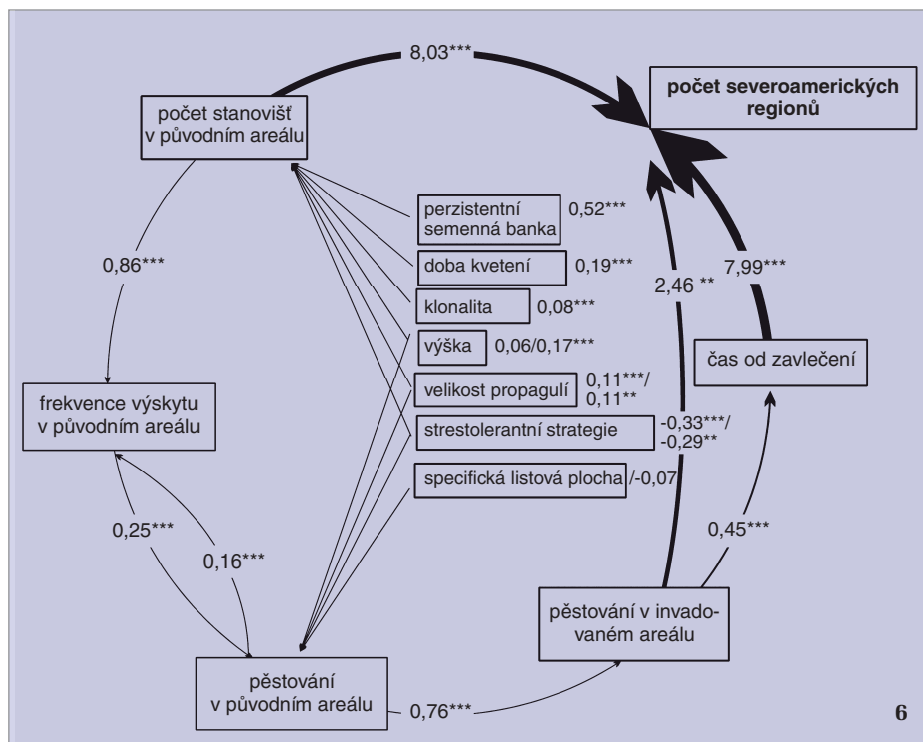
- **Hypotéza úniku před nepřáteli (Enemy release hypothesis)** – okruh hypotéz založených na představě, že příčinou úspěšné invaze je absence škůdců, patogenů, predátorů či herbivorů, kteří omezovali populaci invazního druhu v jeho domácím areálu, zatímco v novém území chybějí. Patří sem známá hypotéza evoluce zvýšené kompetiční schopnosti (Evolution of Increased Competitive Ability, EICA), která postuluje, že poté, co se nepůvodní rostlina zbavila přirozených nepřátel, může investovat více zdrojů do růstu a reprodukce namísto do obrany před nepřáteli, a tím se zvyšují její šance v kompetici s domácími druhy; hypotéza předpokládá, že tyto změny jsou geneticky podmíněny. EICA se stala jednou z nejčastěji testovaných hypotéz, výsledky nejsou ale úplně jednoznačné – jako u většiny hypotéz pracujících s živými organismy...

- **Pravidlo desetiny (Tens rule)** – do následného stadia invazního procesu se dostane zhruba desetina druhů; správnější je použít matematicky odvozený interval 5–20 %, kterému skutečně řada datových souborů odpovídá. Přejechody, pro něž bylo pravidlo definováno, jsou tři – od introdukce do kultury nebo zajetí po zplanění či únik, ze stadia přechodného zavlečení po naturalizaci a mezi naturalizací a stavem, kdy druh začne mít ekonomický impact.

- **Hypotéza biotické odolnosti (Biotic resistance hypothesis)** – ekosystém nebo společenstvo s vysokou biodiverzitou je odolnější vůči invazi. S touto hypotézou jako první přišel Ch. Elton a platí pro malé prostorové měřítko na úrovni společenstev, kde se populace dostávají do kompetičních interakcí. Na makroekologické škále naopak platí, že čím bohatší je systém nebo území na původní druhy, tím více bude mít i druhů nepůvodních, protože diverzita obou skupin je určována vnějšími faktory prostředí, nikoli vzájemnými interakcemi.

- **Teorie kolísající dostupnosti zdrojů (Theory of fluctuating resource availability)** předpokládá, že stanoviště, na kterém jsou k dispozici volné zdroje, je náchylnější k invazi a nepůvodní druhy do společenstev, jež taková stanoviště hostí, pronikají snáze. Množství volných zdrojů přitom kolísá v čase, v závislosti na intenzitě a dynamice jejich přísunu (třeba disturbancemi) a spotřebou.

- **Invazní kolaps (Invasional meltdown)** se vztahuje k situaci, kdy přítomnost ne-



6

původního druhu v ekosystému usnadňuje invazi dalších druhů a zvyšuje pravděpodobnost jejich uchycení a následného impaktu. Příkladem může být třeba invaze dřeviny voskovníku makaronického (*Morella faya*) na lávových příkrovech Havajských ostrovů, který fixací vzdušného dusíku umožnil kolonizaci nehostinného substrátu dalšími druhy, nebo rozšiřování plodů nepůvodní rostliny introdukovanými ptáky.

● **Nové zbraně (Novel weapons)** – druh disponující vlastností, která v invadovaném společenstvu chybí, se ocitá ve výhodě, pokud díky této vlastnosti potlačuje původní druhy. Příkladem mohou být invaze jednoletých eurasijských trav, např. sveřepu střešního (*Bromus tectorum*, viz obr. 3) v severoamerických prériích s trsnatými travami a bylinami, které nebyly adaptovány na přítomnost spásání skotem, rovněž introdukovaným. Hypotéza nových zbraní se tak v tomto případě kombinuje s invazním kolapsem – zde k němu skutečně došlo, neboť statisíce kilometrů čtverečních prérií byly přeměněny na porosty jednoletých trav; jde o jednu z nejničivějších rostlinných invazí vůbec.

### Vlastnosti druhů a jejich interakce s ostatními faktory

Hledání biologických a ekologických vlastností invazních druhů je odjakživa oblíbeným tématem – a není divu, pokud bychom totiž takové vlastnosti našli, můžeme předpovědět, které druhy se mohou po introdukci stát invazními, a podle toho třeba povolit, či nepovolit jejich dovoz. Řada vlastností se v literatuře objevuje pravidelně – u rostlin zahrnují výšku, rychlý prostorový růst spojený s vegetativním klonálním rozrůstáním, velkou plodnost, vyšší účinnost a rychlost fotosyntézy, rezistenci vůči herbivorii, účinné šíření, delší dobu kvetení, klíčení v širokém rozmezí podmínek nebo lepší přežívání semenáčků. Žádný druh nemá všechny vyjmenované vlastnosti, koneckoncov je ani nepotřebuje;

6 Analýza cest popisující pravděpodobnost naturalizace středoevropských rostlinných druhů v Severní Americe. Šířka a směr šipek odpovídají síle vlivu jednotlivých faktorů. Koeficienty za označením vlastností vyjadřují vliv na počet stanovišť, ve kterých se druh vyskytuje v původním areálu, a na pravděpodobnost pěstování, \* značí míru průkaznosti efektu. Upraveno podle: P. Pyšek a kol. (2015)

ekologové již dávno opustili představu, že najdou jednu univerzálně platnou vlastnost, je však zjevné, že mohutný vzrůst a rychlý růst hraje v úspěšnosti většiny rostlinných invazí velmi důležitou úlohu. K lepšímu pochopení invazivnosti rostlinných druhů však v poslední době přispívá také podrobné studium vlastností, které byly donedávna opomíjeny – zčásti proto, že jsme neměli k dispozici vhodné data – např. schopnost vytvářet semennou banku nebo velikost genomu, kterým jsou v tomto čísle *Živy* věnovány samostatné příspěvky (str. 225–226 a 231–232).

Složitosť interakcí druhových vlastností s ostatními faktory dokumentuje práce, ve které jsme sledovali osud středoevropských druhů zavlečených do Severní Ameriky (obr. 6). Pravděpodobnost jejich naturalizace a následného šíření, vyjádřená počtem tamních států, z nichž je druh udáván jako zdomácnělý, je vyšší u druhů zavlečených dříve (rolí tedy hraje čas od zavlečení) a těch, které se v oblasti původního rozšíření vyskytují v širším rozmezí stanovištních typů (tedy šíře stanovištní niky). K úspěšné naturalizaci vedle toho přispívá i několik biologických vlastností (schopnost tvořit přetrvávající plodní banku semen, kvést po dlouhé období v roce a rychle růst), byť nepřímo – prostřednictvím ovlivňování zmíněné habitatové niky a toho, jestli je druh v domácím areálu pěstován (zde se nám do hry dostává přísun propagulí). Vliv biologických vlastností na pravděpodobnost naturalizace byl však řádově

nižší než efekt výše zmíněných klíčových faktorů (Pyšek a kol. 2015).

Jednou ze základních představ invazní ekologie je, že úspěšným invazním druhům se v místě zavlečení daří lépe než doma – jak jsme si ukázali, zbaví se nepřátel, jsou schopny lépe využít zdroje a mnohdy mají vlastnosti, které jsou v invadovaném společenstvu nové. Naše meta-analýza publikovaných údajů o demografickém chování 53 druhů rostlin a živočichů považovaných v různých částech světa za silně invazní ukázala, že pokud hodnotíme všechny druhy dohromady, tento předpoklad se potvrdí (invazní druhy jsou s vysokou statistickou pravděpodobností plodnější, větší a hojnější v invadovaném areálu než v oblasti původního rozšíření). Teprve pohled na variabilitu v datovém souboru však odhalil, že zhruba polovina z 26 rostlinných a 27 živočišných druhů vykazuje více méně stejné hodnoty demografických parametrů v obou areálech (Parker a kol. 2013). To lze považovat za pádný důkaz, že invazivnost některých biologických druhů jde na vrub ekologických a genetických změn, ke kterým po invazi v novém prostředí dochází, zatímco jiným druhům k úspěšné invazi stačí, že se chovají stejně jako v domácím areálu.

### Budoucnost invazní vědy: témata pro příští desetiletí

Na podzim 2016 proběhl v anglické Cambridge workshop, na němž 17 ekologů z 8 zemí formulovalo témata a výzvy čekající na invazní biologii v příštích desetiletích. Šlo o tzv. horizon scanning, jenž v současnosti provádí řada oborů. Mezi 14 témat, na kterých se nakonec skupina shodla, se dostaly např. cílené zásahy do genomu organismů (potenciální využití revoluční metody CRISPR-Cas9 v invazích, které již začalo; o metodě podrobně v *Živě* 2017, 2: 70–72 a XLVII–XLIX nebo 4: 58–62), využití environmentální eDNA k monitorování, změny v zemědělských postupech, epigenetické adaptace (o epigenetice např. v *Živě* 2014, 6: 269–270), vliv půdních organismů na průběh invazí, problematika objevujících se invazních mikrobiálních patogenů, mezikontinentální obchod a s ním spojené mezinárodní smlouvy, globalizace Arktidy, invazní rizika spojená s hrozícími geopolitickými konflikty, využití občanské vědy ke včasnému rozpoznání začínajících invazí, sociální a kulturní odpor k managementu některých živočišných druhů, řešení konfliktů různých zájmových skupin nebo popírání invazí jako problému či dokonce fenoménu (Ricciardi a kol. 2017).

Nepřehlédněme ještě jednu skutečnost, prostřednictvím které se tak trochu vrátíme na začátek tohoto pojednání, a sice že zhruba polovina témat se týká ekologie a biotechnologií, zatímco druhá spadá pod obory sociopolitické. Vzhledem k této interdisciplinaritě se dnes začíná v angličtině používat spíše termín invasion science, tedy invazní věda. Je pravděpodobné, že její budoucnost se bude zčásti ubírat směrem vymezeným těmito tématy.

Seznam použité literatury uvádíme na webové stránce *Živy*.