

srovnání s AP, jehož amplituda je během šíření konstantní, amplituda VP se vzdáleností klesá. Intenzita VP se mění v závislosti na intenzitě podnětu. VP na rozdíl od AP mohou přecházet i do buněk, s nimiž nemají cytoplazmatické spojení přes plazmodezmy nebo lýkovou část cévního svazku. Podle jedné z hypotéz se VP šíří jako hydraulická vlna. Za normálních podmínek se v xylému nachází díky výparu vody přes průduchy negativní hydrostatický tlak. Ten je poškozením narušen a vodní sloupec v xylému při kontaktu s atmosférickým tlakem pak vyvolává zpětnou hydraulickou vlnu, která na své cestě ovlivňuje propustnost iontových kanálů. VP se proto mohou šířit na delší vzdálenosti než AP. Jejich iontový mechanismus není v současné době tak dobře popsán jako v případě AP, má se však za to, že se na něm podílejí zejména toky H⁺, ale pravděpodobně i jiných iontů. Postupuje většinou pomaleji než AP, přesto stále mnohem rychleji než chemické signály, např. hormony. Alternativní hypotézou je šíření VP prostřednictvím chemické látky z místa poškození, která na své dráze ovlivňuje propustnost iontových kanálů.

VP ovlivňují fotosyntézu podobným způsobem jako AP, ale na výrazně delší vzdálenosti. Třeba popálení nebo mechanické poškození listů (např. ožírání listů citlivky stydlivé) vyvolá šíření VP celou rostlinou a působí tak na fotosyntézu a otevřenost průduchů v sousedních listech (Koziolek

a kol. 2004; obr. 5). Pro srovnání dotyk, který navozuje tvorbu AP ve floému, nezasahuje sousední listy ani mezofylové buňky a nepůsobí ani na jejich fotosyntézu. Tvorba VP v reakci na popálení a inhibici fotosyntézy spolu se zavíráním průduchů se však vyskytuje i v běžných rostlinách, jako jsou např. lilek rajče (*Solanum lycopersicum*) a tabák virginský (*Nicotiana tabacum*) nebo dokonce v dřevinách rodu topol (*Populus*; Lautner a kol. 2005). Kromě inhibice fotosyntézy se k dalším zajímavým odpovědím, které VP vyvolávají ve vzdálených listech, řadí akumulace kyseliny abscisové (ABA) a kyseliny jasmonové (JA). Hromadění obou fytohormonů může inhibovat fotosyntézu a uzavírat průduchy i po odeznění VP (Hlaváčková a kol. 2006). Produkce těchto fytohormonů bývá v rostlinách často způsobena stresovým podnětem. Jejich akumulaci může vyvolat dokonce vnější elektrický proud, což jasně dokazuje signalizační úlohu VP. Dnes je již dobře popsán receptor i ligand signální dráhy JA (Fonseca a kol. 2009). Není zcela jasné, jestli se JA tvoří v poraněném listu z lipidů poškozených membrán a pak je transportovaná hydraulickou vlnou do jiných listů, nebo zda vzniká v jiných listech v odpovědi na VP, případně na přítomnost jiné chemické látky šířící se hydraulickou vlnou. V každém případě kyselina jasmonová s navázanou aminokyselinou izoleucinem (JA-Ile) po vazbě na receptor v cílovém místě spouští signální dráhu, která

vede k expresi mnoha různých enzymů katalyzujících tvorbu sekundárních metabolitů na ochranu proti herbivorům (nikotin, vinblastin, proteázové inhibitory PIN2 atd.). Tímto způsobem se mohou vzdálené listy připravit na příchod herbivorního hmyzu, který již začal s ožíráním na jiném listu. Methylací JA navíc vzniká prchavý metyljasmonát, který může informovat o přítomnosti herbivorů sousední rostliny. Nejnovější studie S. A. R. Mousaviho a kolektivu autorů (2013) prokazatelně dokládá spoluúčast receptorů příbuzných glutamátovým receptorům živočichů při šíření elektrické vlny v rostlinách.

Elektrické signály sehrávají skutečně významnou úlohu v rostlinách, ačkoli v klasických učebnicích fyziologie rostlin jim ani zdaleka není věnována taková pozornost jako třeba fytohormonům. Mnohé z těchto signálů mají jasný význam a funkci – např. chytání hmyzu, sekrece trávicí tekutiny, otvírání průduchů v odpovědi na dostupnost vody kořenům, obranné reakce atd. V řadě případů však nejsou význam a funkce ještě zcela objasněny.

Použitou literaturu najdete na webu Živy.

Tento příspěvek, stejně jako výzkum elektrických signálů v rostlinách byl podpořen grantem VEGA 1/0520/12 poskytnutým Ministerstvom školstva Slovenskej republiky a grantem MŠMT České republiky CZ.1.07/2.3.00/20.0057.

Jan Kaštovský, Tomáš Hauer, Jan Mareš, Olga Skácelová

Vetřelci ve vodě aneb invazní řasy a sinice

Invaze organismů do biotopů dosud jimi neobývaných vzbuzují pozornost od chvíle, kdy začaly ovlivňovat hospodářskou produkci, později se přidalo i vnímání škod, které tyto agresivní druhy páchají na původní biotě. Za většinou dosud známých invazí stojí člověk, dokonce se často v případě vlastní definice invazivity organismů mluví o nutnosti přímého lidského vlivu. Odmyslíme-li si změnu klimatu, u níž není zcela jasné, do jaké míry je antropogenní záležitostí, bývá to většinou zemědělství, zahradnictví a doprava, které zakládají příčiny invazí. Vysazování nepůvodních druhů ve vzdálených oblastech s absencí jejich přirozených nepřátel, tj. predátorů, ale i parazitů a konkurentů, zavinilo nejedno problematické masivní rozšíření.

Nemusí jít vždy o tolik probírané australské králiky – např. vysazované produkční řasy, jako je *Undaria pinnatifida* pocházející z Japonska, Koreje a Číny a prodávaná pod jménem wakame, často unikají z akvakultury a šíří se v několika mořích. Nejčastěji šíří lidmi nechtěně introdukce v současnosti souvisejí s námořní dopravou. Nákladní lodě s nevyužitou přepravní kapacitou používají vodu jako balastní zátěž pro sta-

bilizaci plavidla. V přístavu např. ve východní Asii částečně naloží lodní prostor a kvůli vyvážení naplní prázdné nádrže vodou. V druhém, a často velmi vzdáleném přístavu (např. v některém z velkých středomořských přístavů, jako je Neapol nebo Marseille), kde se loď naloží na plnou kapacitu, balastní vodu vypustí zpět do moře – mluvíme zde o objemech v tisících litrů. Balastní voda obsahuje množství

černých pasažérů – mořských rostlin a živočichů, kteří tak celkem komfortně podnikají cesty z kontinentu na kontinent. Již byly zaznamenány desítky nejrůznějších invazí tohoto typu po celém světě (např. slávička mnohotvárná – *Dreissena polymorpha* nebo ryba *Champsodon nudivittis* z čeledi ropuškovití – *Champsodontidae*). V r. 2004 byla Mezinárodní námořní organizací při OSN přijata konvence o kontrole a nakládání s balastní vodou a sedimenty (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments), jejímž hlavním cílem je v nejvyšší možné míře omezit šíření nepůvodních organismů námořní dopravou.

Invaze řas a sinic do sladkých vod se sledují výrazně méně pozorně než třeba invaze rostlin. Je to logické, jde většinou o mikroorganismy a jejich příchod není na první pohled tak dobře patrný. To ovšem neznamená, že nemůžou škodit, a to někdy hodně. V celosvětovém měřítku lze šíření řasových vetřelců pozorovat především v mořích, kde jsou to často makroskopicky viditelné druhy. Mezi algology je už notoricky znám příběh invaze zelené tropické asi 10 cm velké řasy rodu lazucha *Caulerpa taxifolia* do Středozemního moře (už jsme o ní psali i v Živě v r. 2006, 2: 60–62). Kupodivu její rozšíření nezavinila balastní voda. Celý příběh začal nevinně: v monackém mořském akváriu tuto řasu pěstovali z esteticko-výchovných důvodů, vypadá jako větvička tisu (proto *taxifolia*). Při čištění akvárií se ale s odpadní vodou dostala *C. taxifolia* do moře, kde by kvůli nízkým zimním teplotám teoreticky neměla vydržet. Jenže přežila, přestože se od

té doby rozmnožuje pouze nepohlavně. Po roce bylo shledáno mírně zábavným, že 1 m² této řasy žije na dně moře pod akváriem. Nicméně humor všechny záhy přešel, populace *C. taxifolia* se rozšířila velkou rychlostí na mnoho dalších míst, zejména po západním Středomoří. Dnes podle posledních zjistitelných údajů tvoří porosty na více než 10 tisících ha šelfu. Když jste jeli na dovolené trajektem na libovolný chorvatský ostrov, možná jste si všimli podivného „zatykače“, velkého plakátu začínajícího slovem Wanted a obsahujícího právě fotografie *C. taxifolia* (a její příbuzné *C. racemosa*, která se chová podobně, jen se sem dostala Suezským průplavem z Indického oceánu), kde jsou potápěči nabádáni, aby jakýkoli nález této řasy neprodleně hlásili příslušným úřadům, které se pokusí o její likvidaci. Zamezit dalšímu šíření těchto řas není jednoduché, oba druhy se rozmnožují i svými úlomky, takže případně „vypletí“ mořského dna je nutno provádět extrémně opatrně. Jako nejužitečnější likvidační metoda se prozatím ukazuje zakrytí celého porostu černou fólií. Vyhladovíme tak řasu k smrti – nedostatek světla snižuje až zastaví fotosyntézu, což po nějaké době naruší její celkovou výživu. Metoda je to sice účinná, ale pracná a zdoluhavá, nicméně lepší není k dispozici. Do vodního ekosystému však přináší kyslíkový deficit, přičemž voda může začít nevlídně zapáchat.

Nejdramatičtější příklad invaze sladkovodních řas pochází z Nového Zélandu. Jinak velmi estetická rozsivka *Didymosphenia geminata* (obr. 2), původně zřejmě poklidně žijící v horských potocích a řekách Eurasie, je typická mohutnou slizovou stopkou, kterou přisedá k podkladu a v koloniích tak tvoří velké množství slizu. Tím vzniká slizká a hnědavá kompaktní masa pokrývající říční dno. V novozélandském případě se zprvu takto rozšířila pouze na jedné řece, odkud ale vzápětí vyrazila do dalších povodí prostřednictvím přetahování rybářských lodí z řeky na řeku. Dnes už jsou u sjezdových ramp do řek umístěny tabule nabádající k důkladnému čištění (až sterilizaci) lodí. Rozsivce nepřilíší láskyplně přezdírají Didymo a za tabulemi jsou vidět řeky, jejichž dno je někde kompletně pokryto až několik centimetrů vysokým sliznatým kobercem. Jistě není třeba zdůrazňovat, že původní obyvatelé těchto toků v takovém prostředí nepřežijí.

Situace v České republice

Výskyt nepůvodních sinic a řas byl dosud v ČR studován spíše výjimečně. K dispozici je pouze několik prací s velmi omezeným rozsahem informací o nepůvodních druzích. Tento fakt ostře kontrastuje se znalostmi o rozšíření nepůvodních cévnatých rostlin, které jsou intenzivně sledovány (viz také Živa 2011, 1: 10–14). Jako dobrý příklad lze uvést bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*; např. Živa 2007, 4: 153–157) nebo netýkavku žláznatou (*Impatiens glandulifera*).

Ve srovnání s Novým Zélandem nebo Středozezemním mořem u nás však není situace s expanzí nepůvodních druhů sinic a řas podobným způsobem vážná – ale co není, může být, koneckonců i v České republice se *Didymosphenia geminata* již



objevila (viz dále v textu). Porovnáním algologických záznamů od konce 19. stol. s dnešní nálezovou situací jsme spolu s kolegy vytvořili seznam nepůvodních a expanzivních řas a sinic na území ČR (Kaštovský a kol. 2010). Kromě nepůvodních, tedy organismů pocházejících z úplně jiných oblastí/států, zde máme i takové druhy, které se jako vzácnější na našem území v minulosti vyskytovaly, nicméně se v současnosti intenzivně šíří – těm říkáme expanzivní. Seznam dnes obsahuje 10 druhů sinic (*Cyanobacteria* neboli *Cyanophyta*), 10 rozsivek (*Bacillariophyceae*), čtyři zelené řasy (*Chlorophyta* v širším slova smyslu) a jednu obrněnku (*Dinophyta*).

Nejméně nepůvodních zástupců v naší flóře, pouze jednoho, mají obrněnky. Je jím *Peridiniopsis kevei*, popsany z řeky Tisy v Maďarsku. U nás byl poprvé zaznamenán v r. 2007 na Vranovské přehradě, v r. 2009 pak na nádrži Orlík. Zejména na Vranově se vyskytoval ve značné biomase, od té doby je ale jeho výskyt jen sporadický.

Skupinou s více zástupci jsou zelené řasy v širším pojetí. Nejhojnější z nich je *Pediastrum simplex* (obr. 3), kokální řasa ozdobného tvaru s původně pantropickým rozšířením. U nás se považuje spíše za taxon expanzivní než invazní. Záznamy o jeho výskytu na území ČR pocházejí již z konce 19. a začátku 20. stol. Tou dobou byl však druh pokládán za velmi vzácný. Tato situace trvala do konce 50. let minulého stol., kdy se projevil masivní výskyt na Máchově jezeře. Od té doby se významně rozšířila a do současnosti byla zjištěna na více než 500 lokalit na území celého státu a objevuje se i jako dominanta letního fytoplanktonu v rybnících a pískovnách. Druhá velmi rozšířená řasa krásivka *Staurastrum manfeldtii* (přísně taxonomicky vzato komplex druhů) pochází ze severní Evropy. Objevila se u nás až v 70. letech a je schopna vytvořit zejména ve vodách středně bohatých na živiny, třeba ve vodárenských nádržích, poměrně značnou biomasu. Výskyt dalších dvou druhů nepůvodních řas je spíše nahodilý. První z nich je dekorativní koloniální bičíkovec *Pleodorina indica* (obr. 4). Jak patrně z druhového jména, byl popsán z Indie. U nás se objevil v r. 2005 na řece Malší v Českých Budějovicích, kde vytvořil výrazný vodní květ (viz také např. Živa 2002, 5: 198–200 a 2003, 1: 9–11). Od té doby už sice nebyla

1 Sinice *Gloeotrichia echinulata* ze severovýchodních oblastí. Foto J. Duras

2 *Didymosphenia geminata* – na pohled zajímavá, ale na nepůvodních lokalitách nebezpečná rozsivka (*Bacillariophyceae*) – kde dosáhne masivního rozvoje, vytlačí ostatní organismy dna toku.

3 Zelená řasa *Pediastrum simplex* (*Chlorophyta*) není u nás nepůvodní, ale dříve byla velmi vzácná, zatímco dnes představuje řasový plevel. Snímky J. Kaštovského, pokud není uvedeno jinak

4 Exotická zelená řasa *Pleodorina indica* z tropických a subtropických oblastí. Foto R. Kopp

5 Zelená řasa *Ulva flexuosa* je v ČR původní na vnitrozemských slaniscích. V současnosti se hojně vyskytuje i v průmyslově znečištěných vodách a příkopech kolem silnic v zimních měsících sypaných solí. Foto O. Skácelová

podobná nadprodukce *P. indica* nikde pozorována, ale druh se začal porůznu vyskytovat v Čechách i na Moravě. Další neobvyklou expanzivní zelenou řasou je *Ulva flexuosa*, tvořící makroskopické stélky (až desítky cm dlouhé), obvykle střevovitého vzezření (obr. 5). Vyskytuje se v litorálu rybníků nebo přisedá na březích drobných toků. Původně byla známa pod jménem *Enteromorpha intestinalis* neboli česky střevotvarka střevovitá. Tradičně se objevovala v zasolených rybnících jižní Moravy (lednicko-valtická oblast, např. Nesyt) a v minerálních vodách Soosu – není tedy nepůvodním druhem. Zhruba od 80. let se však šíří i na další lokality, zpravidla drobné nádrže silně ovlivněné člověkem a výpusti rybníků, nebo meliorační kanály s vysokým obsahem rozpuštěných solí. V některých letech za příznivých podmínek dokáže tvořit až masivní nárosty pokrývající velké plochy, vzdáleně připomínající obrázky z Letních olympijských her v Číně r. 2008, kdy se nešťastní pořadatelé bezradně brodili v tunách zelených řas stejného rodu.

Na dalším stupni pomyslného žebříčku skupin obsahujících druhy s invazním chováním na území ČR jsou rozsivky. Z nich za nepůvodní a potenciálně invazní považujeme 9 taxonů: z brakických vod pocházející *Actinocyclus normanii* f. *subsalsus* a *Navicula schroeteri*, severskou a alpin-



skou *Didymosphenia geminata*, *Cycolostephanos delicatus* z Povolží, tropickou *Discostella woltereckii* a několik druhů známých ze sladkých vod především severozápadní Evropy (sever Německa, Nizozemsko, Irsko atd.), které byly dříve známy jen ze severnějších oblastí Evropy, jako jsou *Fragilaria reicheltii*, *Frustulia weinholdii*, *Skeletonema potamos* a *Staurisirella berlinensis*. Nejznámější a nejvýraznější z uvedených je *D. geminata*. Mezi oblasti jejího přirozeného výskytu patří severské země, Faerské ostrovy a vysokohorská jezera v Alpách. U nás byla poprvé objevena v r. 2001 v řece Morávce v Moravskoslezských Beskydech, kde tvoří výrazné nárosty. Odtud se rozšířila do nižších poloh v povodí Bečvy a Odry, občasný výskyt byl opakovaně hlášen z úpatí Jeseníků, z jižních Čech a Krkonoš. Šíření dalších druhů rozsivky není tak výrazné a nepřináší s sebou takové problémy jako *D. geminata*, která na lokalitách svého masivního rozvoje zcela vytlačí ostatní obyvatelé dna toku. Zejména z hlediska možností dalšího vývoje invazí u nás je zajímavá situace okolo rozsivky *Actinocyclus normanii* f. *subsalsus*. Její rozvoj v ČR, dosahující někdy i značné biomasy, se dává do přímé souvislosti s eutrofizací povrchových vod a zvláště se solením sliniv, jde totiž o poměrně slanomilný druh. Vyskytoval se hojně především na jižní

Moravě v 80. a v první polovině 90. let 20. stol., načež z nejasných příčin ustoupil a dnes ho najdeme ve výrazně menším množství pouze v západních Čechách – teoreticky blíž jeho holandské domovině.

Poslední významnou skupinu nepůvodních druhů představují sinice. Tyto fotosyntetické bakterie jsou proslulé zejména tvorbou toxických vodních květů v planktonu stojatých vod v teplých letních měsících. Za pravděpodobně nepůvodní druhy u nás považujeme *Anabaena bergii*, *Cuspidothrix issatschenkoii* a *Sphaerospermopsis aphanizomenoides* původně se vyskytující v Kaspické oblasti, pantropický *Cylindrospermopsis raciborskii*, mediteránní a subtropickou *Raphidiopsis mediterranea*, a několik druhů ze severských oblastí (nejčastěji Skandinávie) – *Dolichospermum compactum*, *Geitleribactron periphyticum*, *Gloeo-trichia echinulata*, *Planktothrix rubescens* a *Synechococcus capitatus*. Za zmínku stojí především dvě vláknité planktonní sinice – *C. raciborskii* a *C. issatschenkoii*. Obě mohou produkovat silné jedy (hepatotoxin cylindrospermopsin, neurotoxin anatoxin-a) a v současnosti jsou poměrně běžnou součástí našich vodních květů, zejména v rybnících velmi bohatých na živiny. Naštěstí voda v těchto nádržích ke koupání příliš nevybízí a koncentrace toxinů nebývají příliš vysoké. Skutečně zdraví nebezpečné by zřejmě mohly být pouze při

konzumaci většího množství vody obsahující vodní květ. Zajímavá je také původně skandinávská sinice *G. echinulata* (obr. 1), která se u nás vyskytuje velmi sporadicky v planktonu nádrží (Lipno, rybník Hnačov v okrese Klatovy). Ve vodním sloupci tvoří bizarní kolonie tvaru ježatých kuliček viditelných pouhým okem, o průměru až 5 mm, vznikající spojením stovek malých sinicových vláken vycházejících ze středu kuličky do všech stran. Ne všechny nepůvodní sinice však potkáte jen v létě v živinami obohacených koupalištích. Např. drobné jednobuněčné druhy *S. capitatus* a *G. periphyticum* mají přesně takovou velikost, že mohou ucpávat vodárenské filtry.

Základní otázkou v případě těchto „organismů na pochodu“ je, proč se daly do pohybu a proč právě teď. V souvislosti s řasami se občas hledal viník na straně globálních klimatických změn (a lepší vysvětlení patrně neexistuje). Jestli tomu tak ale doopravdy je, pak tato skutečnost pouze demonstruje, že nejde o tolik mediálně populární zjednodušení celého problému na globální oteplování. Je pravda, že mnoho velmi výrazných invazních druhů pochází z tropů (např. toxická *Cylindrospermopsis raciborskii* nebo *Pleodorina indica*), jenže minimálně stejné množství invazních druhů k nám přišlo ze severu, ze Střední Asie nebo i západní Evropy.

Hlubavého čtenáře napadne, jak si můžeme být jisti tím, že se u nás vyjmenované organismy nevyskytovaly dříve a pouze se pro jejich nepatrné rozměry o nich nevědělo. Více než polovina v tomto článku uvedených druhů se však jednoduše pozná, a proto není pravděpodobné, že by dosud byly přehlíženy. A všechny blíže zmíněné druhy, tedy ty potenciálně nebezpečné, patří do této skupiny. Některé další mohly být zaměňovány za druhy jiné, případně přehlíženy kvůli své nenápadnosti, nicméně vzhledem k pečlivosti starších generací českých algologů je i tahle možnost nepravděpodobná.

Počet zmíněných druhů snad může vyvolat ve čtenáři obavy. Ty jsou ale celkem liché, protože u nás zatím velké škody způsobené invazními a expanzivními sinicemi a řasami nehrozí. Je nicméně potřebné sledovat jejich šíření, aby se daly mírnit případné následky masivního rozvoje, které mohou představovat přímé ohrožení obyvatel či ekosystémů.

