

Bioluminiscence u brouků a její evoluce

K 200. výročí narození Charlese Darwina

Světélkování (bioluminiscence) je zajímavý jev, se kterým se můžeme setkat u různých organismů od bakterií, hub, medúz, po hmyz nebo ryby. Některé organismy produkují světlo samy, kdežto jiné k tomu využívají symbioticky žijící druhy. Mezi nejznámější příklady světélkujících živočichů patří světluškovití brouci (*Lampyridae*), které jejich schopnost bioluminiscence dostala i do pohádek jako tzv. svatojánské broučky. Kromě světlušek je schopností bioluminiscence vybavena i řada dalších brouků převážně z jejich širšího příbuzenstva – z nadčeledi *Elateroidea*, kam patří např. i kovaříci nebo páteříčci.

Schopnost bioluminiscence, tj. produkce světla s pomocí chemické reakce uvnitř těla využívá řada organismů. Je k tomu potřeba dvou chemických látek. Jednak je nutná přítomnost luciferinu – tukovité látky, která během chemické reakce produkuje světlo, a dále enzymu luciferázy. Luciferáza pak za přítomnosti kyslíku katalyzuje chemickou reakci, při níž se luciferin oxiduje na oxiluciferin, který již dále není aktivní. Průběh reakce doprovází uvolňování studeného světla. Luciferin jedinec získává buď s potravou, nebo vnitřní syntézou.

Světélkování u hmyzu

Většina suchozemských organismů se schopností bioluminiscence patří mezi hmyz. Tito světélkující zástupci představují více než 2 000 hmyzích druhů roz-

šířených převážně v tropech. Kromě řádu brouků (*Coleoptera*), kam patří většina světélkujícího hmyzu, se schopnost bioluminiscence u této skupiny vyskytuje vzácně, např. u drobných much čeledi bedlobytkovitých (*Keroplastidae* a *Mycetophilidae*). Na rozdíl od brouků u nich ale bioluminiscence není jevem příliš rozšířeným, neboť u dvoukřídlého hmyzu (*Diptera*) se s ní setkáváme pouze u asi 10 druhů. U již zmíněných bedlobytek světélkují převážně jejich drobné larvy, což jsou všeobecně známí původci červivosti hub živící se plodnicemi.

U brouků je bioluminiscence nejlépe prostudována u celosvětově rozšířených světlušek (*Lampyridae*). Vyskytuje se ale i u čeledi *Phengodidae* (Amerika), *Rhagophthalmidae* (Asie) a u některých amerických zástupců kovaříkovitých (čeleď *Ela-*

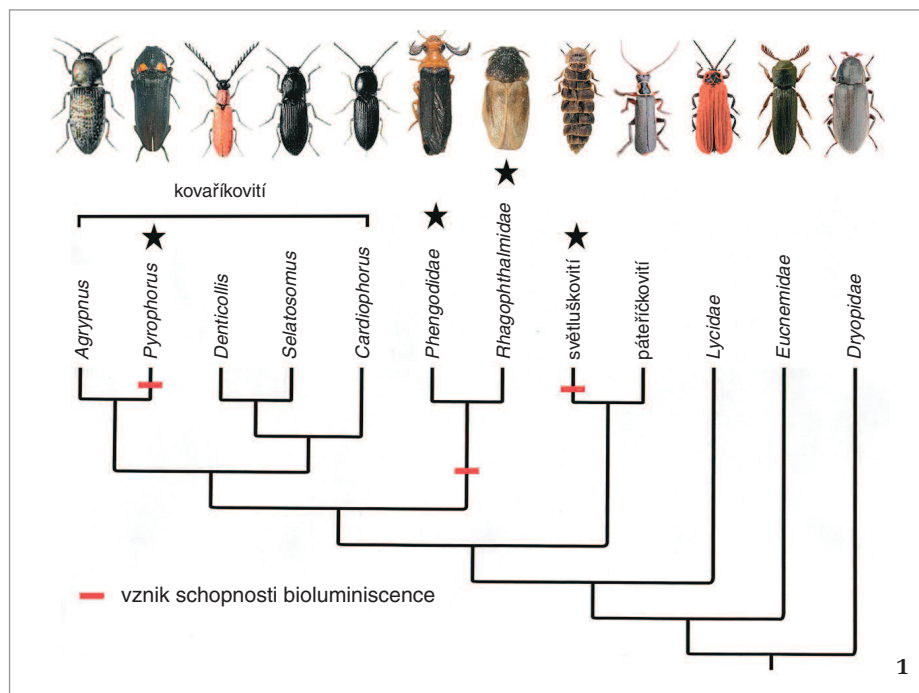
teridae). Zatímco u světlušek a čeledi *Phengodidae* a *Rhagophthalmidae* se s bioluminiscencí setkáváme u všech druhů alespoň v larválním stadiu (tj. tuto schopnost mají všichni zástupci čeledi), u kovaříků je světélkování omezeno na některé izolované linie, jako jsou tribus *Pyrophorini* a *Hapsodrilini*, u nichž mají silné světelné orgány larvy i dospělci.

Funkce bioluminiscence u larev a dospělců se liší

Největší pozornost byla dosud věnována světélkování světlušek pravděpodobně proto, že jsou celosvětově rozšířeny a často využívají světelné signály např. při vyhledávání sexuálního partnera. Zajímavé je, že schopnost vydávat světlo mají larvy všech světlušek, ale ne všichni dospělci (např. dospělci jedné převážně asijské podčeledi *Ototretinae* buď nesvítí vůbec, nebo jen velmi slabě).

Funkce bioluminiscence u larev byla dlouho předmětem diskuzí, neboť larvy světlušek se nerozmnožují, a tudíž nemohou světélkování využívat k sexuálním projevům jako dospělci. Jednou z nejrozšířenějších teorií je hypotéza, že larvy světlušek používají světélkování jako výstražný (aposematický) projev – tedy ze stejného důvodu, proč má vosa žlutočerné pruhy na těle nebo okáči oka na křídlech. Navíc bylo zjištěno, že světluškovití obsahují nechtutné, často hořké, steroidní látky – tzv. lucibufaginy. Bioluminiscence pak slouží k tomu, že u predátora, který již dříve získal nepříjemnou chuťovou zkušenost s larvami světlušek, dochází k významnému zpoždění útoku na světélkující kořist. Ideální (pro světlušky) je, pokud by se predátor naučil larvy světlušek vůbec nelovit, ale i každá vteřina navíc, kterou světluška (či jiný světélkující zástupce) získá díky jeho zaváhání, pro ni obvykle znamená záchranu života. Světlo si tedy predátor spojí s nejdlostí či nechutností. Výstražná funkce bioluminiscence světlušek byla z predátorů prokázána např. u ropuch nebo u myši (De Cock a Matthysen 2003, Underwood a kol. 1997).

Další možnost využití bioluminiscence je příležitostné lákání kořisti. Největší pozornost byla ale věnována studiu funkce této schopnosti při pohlavním výběru, zejména při vyhledávání partnera a sexuálních projevech. Světelné signály různých druhů se obvykle liší vlnovou délkou emitovaného světla i frekvencí světelných záblesků. Zatímco naše nejhojnější světluška svítílka trpytivá (*Lamprohiza splendida*, obr. 3) i další středoevropské druhy světlušek svítí za letu vytrvale, v jižní Evropě a zejména pak v Americe se můžeme setkat s druhy, které vysílají světelné záblesky. Podle těchto charakteristik produkovaného světla pak samice rozlišují mezi samci. Jsou schopny např. podle vlnové délky emitovaného světla a frek-



1 Příbuzenské vztahy brouků hlavních větví nadčeledi *Elateroidea* určené na základě analýzy molekulárních dat s vyznačením nezávislého vzniku bioluminiscence ve třech vývojových (fylogenetických) větvích. Hvězdičky označují světélkující vývojové linie. Orig. M. Bocáková



2 Samice naší největší světlušky větší (*Lampyris noctiluca*). K bioluminiscenční reakci dochází v bělavých koncových člancích zadečku.

3 Světélkující samec svítilky třpytivé (*Lamprohiza splendidula*), našeho nejhojnějšího zástupce světluškovitých. Bioluminiscence u dospělců slouží především k vyhledávání sexuálního partnera.

4 Kukla mediteránní světlušky *Nyctophila reichii* – bioluminiscence larev a kulek světluškovitých má výstražnou funkci.

5 Dospělec světlušky *N. reichii*. Snímky S. Krejčíka

vence záblesků poznat samce téhož druhu nebo i v rámci druhu mohou upřednostňovat samce s určitým typem světla či záblesků. Evoluce těchto znaků je tedy pod silným tlakem pohlavního výběru. U některých druhů mohou samice upřednostňovat vyšší frekvenci záblesků, a to i když experimentálně přesahuje frekvence, s nimiž se můžeme setkat v přírodě – příkladem mohou být samice americké světlušky *Photinus consimilis*. Je to jev obdobný situaci známé např. z oblasti evoluce akustických signálů, kdy v průběhu evoluce dochází ke zvyšování jejich frekvence. Podobně u evoluce sekundárních pohlavních znaků se struktury podléhající sexuálnímu výběru (např. parohy jeleňa) většinou zvětšují.

Jsou světélkující brouci příbuzní?

Pokud se týká světélkujících amerických kovaříků, o jejich zařazení do kovaříkovitých brouků nikdo nepochyboval, ale příbuznost ke světluškovitým žádný autor nepředpokládal. U dalších světélkujících brouků (světlušky, *Phengodidae* a *Rhagophthalmidae*) se vědci dlouho domnívali, že tyto skupiny jsou si blízké příbuzné a často je považovali za sesterské. Bioluminiscence je totiž jev velmi nápadný a poměrně komplexní, proto u něj autoři nepředpokládali vícenásobný vznik. Navíc tyto světélkující brouci vykazují řadu morfologických podobností, protože mají na rozdíl od většiny ostatních brouků měkké tělo (mají méně sklerotizovanou kutikulu; samicím světlušek chybí krovky, takže připomínají larvy). To bylo obvykle považováno za další společný odvozený znak, který by větev světlušky +



Phengodidae + *Rhagophthalmidae* mohli podpořit.

Analýzy morfologických znaků byly ale kontroverzní. Entomologové proto s napětím očekávali výsledky zpracování analýz DNA. Ty nedávno překvapivě ukázaly, že světélkující čeledi *Phengodidae* + *Rhagophthalmidae* jsou spíše příbuzní jim dosti nepodobným kovaříkovitým broukům než světluškám. Tím byla současně podpořena hypotéza, že schopnost bioluminiscence vznikla u různých skupin elateroidních brouků nezávisle, paralelně v několika vývojových větvích.

Posléze se našlo i několik dalších znaků, které teorii vícenásobného vzniku bioluminiscence u nadčeledi *Elateroidea* podporují. Jsou to např. strukturní a biochemické odlišnosti ve stavbě enzymu luciferázy, kdy se luciferáza světlušek ve srovnání s čeledí *Phengodidae* liší asi z 50 % ve složení jejich aminokyselin, kdežto rozdíl uvnitř jednotlivých čeledí jsou výrazně nižší. Dále se světlušky a *Phengodidae* vyznačují rozdíly v utváření světelných orgánů: u světlušek se tyto orgány nacházejí na koncových zadečkových člancích (7.–8. článek) a obvykle je zaujímají celé. Naopak světelné orgány *Phengodidae* představují jeden orgán vyzářující červené světlo na hlavě a 11 párů na hrudních a zadečkových člancích. Obě skupiny se výrazně liší i ve vlnových délkách produkovaného světla (538–582 nm

u světluškovitých a 536–623 nm u *Phengodidae* – Viviani 2002), takže pouze *Phengodidae* produkují světlo v červené části spektra. Ukázalo se tedy, že považovat přítomnost svítících orgánů a schopnost bioluminiscence za společné znaky těchto skupin bylo povrchní a při podrobné analýze tato hypotéza nebyla potvrzena.

Proč všichni světélkující brouci patří do jedné nadčeledi?

To je jistě zajímavá otázka. Částečně nám na ni může odpovědět evoluce genu pro luciferázu – enzym nezbytný k průběhu oxidace luciferinu na oxiluciferin. Bylo zjištěno, že gen, který kóduje luciferázu u světlušek, je u ostatního hmyzu (např. u octomilky rodu *Drosophila*) homologický s genem pro syntézu mastných kyselin. Ten tedy předchází v evoluci genu pro luciferázu. Potvrzuje to i skutečnost, že nedávno byla prokázána syntetická aktivita ve vztahu k mastným kyselinám i u luciferázy světlušek. Pravděpodobně se tedy v průběhu evoluce stavba genu pro syntézu mastných kyselin u elateroidních brouků přiblížila genu pro luciferázu natolik, že nejspíš došlo k paralelnímu vývoji bioluminiscenčních větví u různých skupin elateroidních brouků (obr. 1) včetně vlastních kovaříků nebo světlušek. Nejnovější analýzy genu pro luciferázu to potvrzují (Oba a kol. 2008, Day a kol. 2009).