

OVLIVŇUJE SVĚTELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ TAKÉ ROSTLINY?

... ANEB PROBLEMATIKA SVĚTELNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ OČIMA ROSTLINNÉHO BIOLOGA

HANA KONRÁDOVÁ

RNDr. HANA KONRÁDOVÁ, Ph. D.
Působí na Katedře experimentální botaniky Přírodovědecké fakulty UK, kde se zabývá studiem regulace morfogenetických procesů s důrazem na úlohu sacharidového metabolismu a fyziologií stresu. Vyučuje předmět Fotomorfogeneze. Aktivně působí v pracovních skupinách řešících světelné znečištění.

Fyziologické reakce rostlin na světlo a interakce mezi rostlinami a jinými organismy se vyvíjely po miliony let za stabilního režimu 24hodinových cyklů světla a tmy (mimo rovníkové oblasti) za pravidelných sezónních změn v délce dne a noci. Podobně jako ostatní organismy, i rostliny jsou těmto změnám dokonale přizpůsobeny a světlo u nich hraje zásadní roli upravující denní i sezónní vzorce chování. V důsledku technologického pokroku i rostoucí lidské populace stále přibývá míst, která jsou v noci vystavena nočnímu rušivému světlu (někdy označovanému jako ALAN podle anglického Artificial Light At Night). Pro účely tohoto článku bude pojem světelné znečištění použit pro negativní dopady umělého světla v noci.

SVĚTLO V NOCI = ŠPATNÉ SVĚTLO / DEZINFORMACE

Rychlé šíření umělého osvětlení způsobilo nebývalé narušení přirozených světelných cyklů. V nočním prostředí se umělé světlo liší intenzitou v rozmezí několik řádů - od přímého osvětlení městské a příměstské vegetace, až po slabou, ale téměř všude přítomnou „zář oblohy“ (z angl. skyglow¹), šířící se v obrovském okruhu od přesvětlených urbanizovaných oblastí. Pokud tedy nebude k problematice světelného znečištění přistupováno plošně, cenná a malá území není možné před jeho účinky efektivně chránit. Dochází k nebývalé erozi přirozeně tmavého nočního prostředí, které spočívá v pozvolném stírání rozdílu mezi dnem a nocí, a tím je narušováno pevné

ukotvení organismů v čase a prostoru, za které vděčí stabilitě zemské rotace a pozice Země vůči Slunci.

Jednoznačné hodnocení dopadu světelného znečištění na rostliny může být zdánlivě ztíženo komplexností vztahu rostlina – světlo. Pro rostliny totiž světlo zajišťuje jednak zdroj energie (která je fixována do organických sloučenin fotosyntézou), ale také je současně nejdůležitějším zdrojem informací o průběhu dne či vegetačního období. Nízké hladiny ozáření způsobené světelným znečištěním většinou neposkytují dostatek energie, aby mohla být významně stimulována fotosyntéza (a bylo tedy možné uvažovat o nějakém „přilepšení“ ve smyslu výživy), naproti tomu informační funkce světla je silně narušována již při nízkých ozářeních a tím je ovlivňováno správné fungování procesů závislých na této funkci světla. V následujících odstavcích se na některé publikované příklady narušení takových procesů působením ALAN podíváme detailněji (viz Obr. 1).

INFORMAČNÍ ROLE SVĚTLA PŘI VÝVOJI ROSTLIN

Světelné podmínky - kvalita světla, hladina ozáření (kvantita), směr a fotoperioda² - mají různé regulační role v mnoha klíčových procesech rostlin (jmenujme např. klíčení semen, vývoj semenáčů, fotosyntézu, děje řízené fotoperiodicky či pomocí cirkadiánní rytmicity). Důležitost informační funkce světla pro rostliny je zřejmá už z existence pěti skupin známých fotoreceptorů, které

¹ Skyglow: difúzní jas noční oblohy, vznikající odrazem světla od atmosféry, drobných částic a zejména od mraků.

² Fotoperioda: délka světla v 24hodinovém cyklu.

zprostředkovávají vnímání světelných podmínek v červené, modré a ultrafialové části spektra.

PŘÍMÝ VLIV SVĚTELNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ

Světelné znečištění je největším nebezpečím pro správnou synchronizaci přirozených rytmů rostlin s vnějším prostředím. Tyto rytmy jsou řízeny vnitřními biologickými hodinami, které jsou synchronizovány pravidelným střídáním světla a tmy. Stále častěji se v odborné literatuře objevují práce, které popisují, jak umělé světlo v nočním prostředí ovlivňuje správný nástup fenologických fází, tedy jednotlivých pravidelně se opakujících životních projevů, jako je např. rašení pupenů, žloutnutí listů, jejich opad apod. První práce tohoto typu se objevily už ve 30. letech 20. století. Příklady takového narušení jsou nejlépe zřetelné u městské zeleně – v průběhu podzimu dávají kratší dny citlivým druhům stromů signál, že je čas se připravovat se na opad listů a příchod nízkých teplot – přeskupit zdroje tak, aby byly rostliny co nejlépe chráněny před blížícími se mrazivými zimními teplotami. V blízkosti svítidel veřejného osvětlení ale můžeme pozorovat, jaký dopad má na zdravotní stav stromu, pokud je informace o zkracujících se dnech falešně zkrácena – nedostatečná příprava na zimu vede k zámru celých větví. Podobně je narušena akumulace ochranných látek, které chrání před poškozením citlivé meristémy v pupenech. Na jaře je problém podobný

– falešná informace o „dostatečně“ dlouhém dni vede k časnějšímu rašení pupenů vystavených v této citlivé fázi vývoje riziku jarních mrazíků. Co to udělá se zdravotním stavem takového jedince? Přestože dlouhodobé účinky změněných světelných podmínek nebyly dosud dostatečně prozkoumány, jisté je, že ztráta zdrojů (látky, které rostlina ztratila předčasným opadem starého listoví či zničením části mladých výhonů) způsobuje na strom sice malý, ale opakovaný tlak. To se může projevit sníženým růstem ve srovnání se stromy stejného druhu rostoucími v přirozeně osvětleném prostředí. Je pravděpodobné, že většímu riziku dramatického zhoršení celkového stavu budou vystaveny stromy v lokalitě, kde již existují další abiotické stresové faktory, jejichž účinky se mohou vzájemně prohlubovat (v městech typicky zhoršená kvalita ovzduší, omezená dostupnost vody, zvýšené teploty), a takové jedinci budou náchylnější i k nejrozličnějším chorobám. Mezi další uváděné efekty světelného znečištění patří změny v nástupu fotoperiodicky řízených reakcí. Uvádí se, že až 80 % kvetoucích rostlin je citlivých k fotoperiodě (zjednodušeně řečeno změnu ve svém vývojovém programu uskuteční, když je den dostatečně krátký, nebo naopak dostatečně dlouhý). Jejich kvetení, rašení pupenů a opad listů tímto způsobem směřují do správné fáze sezóny. Rostliny, u nichž je kvetení řízeno délkou dne, se liší v požadavku na tuto délku – některé jsou ke kvetení stimulovány dlouhými dny (dlouho-

denní rostliny), jiné krátkými (krátkodenní). Proto ani účinky světelného znečištění na jednotlivé rostliny nejsou stejného typu. Předpokládá se, že efekt světelného znečištění se projevuje výrazněji u rostlin krátkodenních. Novozélandská dřevina železnatec (*Metrosideros excelsa*) kvete hojněji v blízkosti svítidel veřejného osvětlení než v mezerách mezi nimi, což může znamenat pro rostlinu extrémní energetickou zátěž. V USA již byly popsány i první efekty na zemědělské plodiny – intenzivní reflektorové osvětlení narušilo normální vývoj rostlin sóji na okolních polích, v jiných pozorováních rostliny kukuřice a sóji poté, co byla na komunikaci vedle pole nainstalována nová výkonnější svítidla, rostly sice rychleji, ale nepřecházely správně do generativní fáze, čímž došlo ke snížení výnosu.

U volně žijících druhů účinky zatím zůstávají spíše bez povšimnutí, v experimentálním systému ale již bylo zjištěno, že např. štirovník (*Lotus pedunculatus*), produkuje až o 25 % méně květů, pokud je v noci vystaven umělému světlu simulujícímu veřejné osvětlení. Rozdílná reakce různých druhů má logický dopad i na stabilitu ekosystému, který je ohrožen posuny v druhovém složení, k čemuž se dostaneme později.

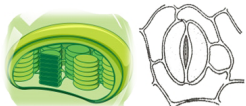
Co se týče vlivu na další světlem ovlivňované procesy, předpokládá se narušení denního chodu hospodaření s fotoasimiláty (sacharidy) syntetizovanými v listech během dne a rozváděnými do dalších částí rostliny během noci. Další pozorované efekty se týkají narušení denní (cirkadiální) rytmicity některých důležitých funkcí souvisejících s výměnou plynů a hospodařením s vodou, jako je např. otevírání a zavírání průduchů. Cirkadiální rytmicity se také podílí na regulaci některých významných enzymatických systémů. Například světlo v noci dramaticky snížilo klíčivost rýže, a to díky redukci aktivity α -amylázy, enzymu, který zodpovídá za štěpení škrobu při klíčení. Ukazuje se dále, že temná perioda je u rostlin podobně jako u jiných organismů určena k zotavení ze stresu včetně zneškodňování některých nebezpečných látek jako jsou reaktivní formy kyslíku (ROS). Právě efektivita takových fyziologických reakcí sloužících k tzv. nočnímu zotavení může být významně snížena. Jako příklad lze uvést vliv nočního osvětlení (ekvivalentní přibližně expozici vegetace při běžném pouličním osvětlení) na působení troposférického ozonu – nebezpečné látky produkované

Důsledky světelného znečištění pro rostliny

(různá kvalita / kvantita světla v noci)

400 450 500 550 600 650 700 750 nm

Změny v hustotě, velikosti a vodivosti průduchů, narušení hospodaření s vodou



Změny v ultrastruktuře chloroplastů, snížení rychlosti fotosyntézy

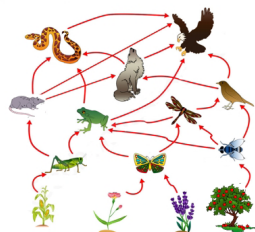


Změny ve stavbě listů, opoždění senescence a opadu

Narušený správný nástup kvetení včetně jeho intenzity, rytmicity otevírání květů, výnosy / plodnost, vztahy s opylovači, parazity a herbivory, posuny v potravních řetězcích a narušení ekosystémových služeb



Posuny nástupu fenologických fází (opad, rašení), opožděný nástup (či předčasná ztráta) mrazuvzdornosti



Narušené noční zotavování včetně odstraňování reaktivních forem kyslíku, narušení regenerace procesů, poruchy přerozdělování asimilátů

Schematické shrnutí nejvýznamnějších důsledků vlivu světelného znečištění na fyziologické a ekologické funkce vyšších rostlin.

fotochemickými reakcemi oxidů dusíku a uhlovodíků a související s automobilovým provozem. Experimenty se třemi druhy jetele ukázaly, že po vystavení nízkým hladinám světla v noci se významně zvýšilo poškození listů experimentálně aplikovaným ozonem. Také liliovník tulipánokvětý vystavený podobným hladinám nočního světla reagoval akumulací nebezpečných ROS (peroxid vodíku, superoxidové radikály).

NEPŘÍMÝ VLIV SVĚTELNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ

Ukazuje se, že kromě přímých účinků umělé světlo v noci pravděpodobně ovlivňuje interakce mezi rostlinami navzájem i mezi rostlinami a jinými organismy. V rámci čtyřleté britské studie travních porostů bylo zjištěno, že vystavení polopřirozené louky nočnímu světlu o intenzitách i vlnových délkách charakteristických pro pouliční osvětlení vedlo k významným změnám: došlo ke snížení populace jednoho druhu trávy, zatímco další dva druhy reagovaly podpořením svého růstu. Tyto i další podobné výsledky naznačují, že musíme brát v úvahu i možné změny ve složení populací včetně možného zvýhodnění problematických, například zavlečených druhů.

Z hlediska rostlin jako součástí ekosystémů

nelze opomenout fakt, že umělé světlo v noci ovlivňuje fyziologický stav, chování a ekologické vztahy býložravců a opylovačů. Podle švýcarské studie narušilo vztahy s opylovači, konkrétně snížilo počet návštěv nočních opylovačů o 62 %. Toto mělo za následek pokles produkce semen o 13 % (rostliny byly opylovány i denními opylovači). Někteří motýli vykazují silnou synchronizaci svého časného vývoje s jarním rašením hostitelských stromů, nicméně světelné znečištění může tuto synchronizaci narušit. Významný vliv světelného znečištění na hmyz je nad rámec tohoto zamyšlení věnovaného rostlinám. Ukazuje se dále, že pokud je studována i oblast, která sousedí s územím zasaženým světelným znečištěním, ale sama již zvýšené hodnoty nočního jasu nemá, i tam je fungování ekosystému modifikováno. Proto světelné znečištění může dále narušovat komplikované a mnohastupňové potravní vztahy a kaskádovým efektem ovlivnit i organismy, které na světelné znečištění přímo citlivé nejsou.

Závěrem: Lze se pokusit navrhnout nějaké řešení k snížení dopadů světelného znečištění na rostliny? U rostlin je situace komplikována existencí více typů receptorů, signalizaci u rostlin tedy narušuje více složek barevného spektra. Optimální je

proto zhasínat či alespoň tlumit a vhodně směřovat každé noční světlo, které není bezprostředně potřeba. Vzhledem k rozsáhlým a dosud ne zcela prozkoumaným dopadům umělého světla v noci je vhodné dodržovat opatření ke snížení světelného znečištění, myslet na efektivitu šíření tohoto typu znečištění na velké vzdálenosti a dbát na šetrné osvětlení se správnými parametry i mimo nejcennější chráněná území. Je nutné zdůrazňovat, že tma v noci je pro rostliny neméně důležitá jako světlo ve dne. Je potěšitelné, že v poslední době se světelnému znečištění věnuje rostoucí pozornost. Bude-li účinně omezováno – a to i pokud by hnacím faktorem mělo být především lidské zdraví – prospěje to rostlinám i celým ekosystémům.

Další příklady včetně odkazů na primární literaturu lze nalézt v přehledových článcích Bennie et al. 2016 a Singhal et al. 2019.



LITERATURA:

Bennie J., Davies T.W., Cruse D., Gaston K.J. (2016): Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, 104(3): 611–620.

Singhal R.K., Kumar M., Bose B. (2019) Eco-physiological Responses of Artificial Night Light Pollution in Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66(2): 190–202.