

Ultrafialový svět rostlin

I. Jak vzniká zbarvení – od nositele k interpretovi

Zrak je z hlediska získávání informací o okolním světě bezpochyby naším nejdůležitějším smyslem. Svět však nemusí být vždy takový, jak se na první pohled jeví nám. Existuje mnoho živočichů, kteří se na něj dívají poněkud jinak. V minulých letech jsme v *Živě* věnovali dva články (2012, 1: 25–28 a 2013, 2: 79–81) otázkám citlivosti zraku různých, především bezobratlých na ultrafialové (UV) světlo. Zejména na příkladu motýlů jsme ukázali možné uplatnění ultrafialových kreseb na jejich tělech při komunikaci s dalšími organismy, ať už s příslušníky stejného druhu, nebo se zástupci rozdílných taxonů. Ale využívání UV signálů není vyhrazeno pouze pro živočichy. Naopak, řada známých druhů rostlin se po zohlednění této běžně neviditelné části světelného spektra může ukázat doslova v jiném světě. Vzhledem k tomu, že v *Živě* dosud nebyla významná ultrafialových zraků u rostlin věnována větší pozornost, rozhodl jsem se předložit čtenářům v seriálu tří článků alespoň několik zajímavých fotografií našich nejběžnějších rostlin. Zároveň se pokusím nastínit otázky principu zbarvení rostlin a živočichů, metodiku UV fotografie včetně jejího vývoje a v neposlední řadě význam UV vzorů pro komunikaci mezi rostlinou a opylovačem.

Zrak a odhalování jeho hranic

Na omezení lidských smyslů při zkoumání přírody upozornil zřejmě jako první britský polyhistor, politik, bankéř a přírodovědec Sir John Lubbock (1834–1913), který rovněž prokázal, že někteří živočichové mohou vnímat část světelného spektra neviditelnou lidskému oku. Lubbock, od r. 1900 známý jako Lord Avebury, se od 70. let 19. stol. zabýval studiem smyslů hmyzu, především blanokřídlých (Hymenoptera). V knize *Mravenci, včely a vosy* (1882) představil výsledky svých rozsáhlých experimentů a mimo jiné publikoval názor, že mravenci a zřejmě i další zástupci blanokřídlých jsou vnímaví k ultrafialovému světlu, tedy záření o vlnových délkách pod fialovou hranicí námi viditelného světelného spektra (viz již citovaný článek v *Živě* 2012, 1). Podobně se vyjádřil o zraku drobného koryše hrotnatky (*Daph-*

nia). Lubbockovy výsledky vzbudily kritické reakce, resp. přímo pochybnosti o schopnosti zkoumaných živočichů barvy vůbec rozeznávat, což ho pouze přimělo zopakovat experimenty v mnohem propracovanější podobě a obhájit svá tvrzení před odbornou veřejností. Obával se, že poznatky získané behaviorálními pokusy nebudou nikdy možné s naprostou jistotou prokázat, avšak moderní metody zkoumání očních fotoreceptorů mu v jistém směru daly za pravdu. Ukázaly např., že hrotnatka disponuje tetrachromatickým zrakem – nacházíme u ní čtyři odlišné typy očních fotoreceptorů s různou spektrální citlivostí, a jeden z nich je skutečně citlivý na paprsky z UV oblasti (Kelber a Osorio 2010).

Sir Lubbock na základě výsledků nepředpokládal pouze citlivost organismů na UV paprsky. Tušil rovněž, že ultrafialová část spektra hraje roli při zbarvení

živočichů a rostlin. Přítomnost UV složky ve zbarvení různých květů předvídal podle svých pozorování i německý přírodovědec Paul Knuth (1854–1900), který však stejně jako Lubbock nemohl tuto domněnku empiricky doložit. Na vyřešení problému se muselo čekat dalších téměř 40 let, kdy americký entomolog Frank Eugene Lutz (1879–1943) jako první dokázal tyto dosud nepozorovatelné vzory trvale zachytit pomocí tzv. dírkové komory (podrobněji v příštím čísle *Živy*). Svou částečně neviditelnou podobu mu nejprve odhalily právě květy rostlin. Později přišli na řadu motýli jakožto první zástupci živočišné říše (Lutz 1933). Hranice zraku živočichů i využívání ultrafialové složky pro zbarvení jejich tělních povrchů byly od té doby podrobeny intenzivnímu zkoumání a citlivost zraku na paprsky UV části spektra byla opakovaně prokázána u mnoha bezobratlých (drobní koryši, pavouci, motýli nebo blanokřídlí) i u nejrůznějších zástupců všech tříd obratlovců. Pro zkoumání citlivosti zraku obratlovců na UV světlo se stal přelomovým r. 1972, kdy byla taková schopnost experimentálně prokázána u holuba domácího, jihoamerického kolibříka ametystouchého (*Colibri serrirostris*) a ropuchy obecné (*Bufo bufo*). Později byla citlivost na UV část spektra objevena také u ryb, některých plazů, mnoha ptáků, ale i několika druhů letounů a hlodavců coby zástupců savců (Pecháček 2012). Pro nás bude v následujícím textu podstatný fakt, že mnozí z běžných opylovačů rostlin jsou citliví právě na UV světlo a zbarvení květů tuto schopnost nepochybně odráží.

Stručná podstata zraku

Pro snadnější pochopení uvedených jevů si popíšeme základní principy spojené se zrakem. Zároveň si představíme některé dále užívané pojmy.

Zrak zprostředkují fotoreceptory, často tzv. světločivné buňky. Zjednodušeně řečeno, jde o buňky umožňující zachytit dopadající fotony a spustit reakci, která končí nervovým vzruchem. Ten může být nervovou soustavou interpretován jako počítetek světla, barvy, obrysu apod. U živočichů se v průběhu historického vývoje vyvinuly specializované zrakové orgány – světločivné skvrny, ocelli, složené oči u hmyzu nebo komorové oči u hlavonožců a obratlovců (podrobněji o evoluci a stavbě očí v *Živě* 2009, 5: 219–222).

Funkci fotoreceptorů lze stručně vysvětlit na příkladu lidského oka. Člověk disponuje dvěma typy světločivných buněk, umístěnými na sítnici komorového oka. První typ představují tyčinky, umožňující vnímat intenzitu světla, ale nedovolují roz-



1 a 2 Květ orseje jarní (*Ficaria verna*) zachycený pouze ve viditelném světle (přibližně v rozmezí 400–700 nm, obr. 1) a v ultrafialové části spektra (pod 400 nm, obr. 2) zviditelněně pro náš zrak. (Způsob získávání UV fotografie a interpretaci výsledků přiblížíme v příštím díle seriálu.)

3 a 4 Samec žlutáčka řešetlákového (*Gonepteryx rhamni*) ve viditelném světle (obr. 3) a jeho ultrafialová podoba (4), která dává jasně vyniknout UV-reflektantním vzorům na předních křídlech. Snímky P. Pecháčka



lišovat barvy. Funkce tyčinek je založena na sledu reakcí, jejichž základ tvoří rozpad pigmentu rhodopsinu (zrakový purpur). Druhý typ buněk – čípky – nám za dobrých světelných podmínek poskytují schopnost barevného vidění. U člověka rozlišujeme tři druhy čípků, které se liší v citlivosti (absorpčním maximu) na světlo určitých vlnových délek – modrý, zelený a červený typ (budeme o nich mluvit ještě příště). Stejně jako u ostatních fotoreceptorů i tyto buňky se vyznačují přítomností určitého očního pigmentu. U čípků sestává z chromoforu (látky absorbující elektromagnetické záření) a opsinu (protein z rodiny GPCR – receptorů spážených s G proteinem). Další námi vnímané barvy vznikají kombinací vzruchů z těchto tří typů čípků. Popsaný způsob vidění zpravidla nazýváme trichromatický a mezi savci ho kromě některých vačnatců najdeme už jen u člověka a jiných denních primátů. Ostatní savci mají zrak obvykle dichromatický pomocí dvou typů čípků. Pro srovnání, ptáci obvykle disponují čtyřmi typy čípků (tetrachromatický zrak), podobně jako mnozí plazi, obojživelníci a ryby. Zda je živočich schopen vnímat UV paprsky, záleží na tom, zda disponuje fotoreceptory citlivými právě na světlo z této oblasti spektra. U hmyzu (zvláště u opylivačů) bývají poměrně běžné, výjimkou nejsou ani u různých dalších živočichů.

Čtenář může namítnout, že opylivačů s komorovým okem není ani zdaleka tolik jako těch s okem složeným, které nacházíme mezi různými druhy hmyzu. To je jistě pravda, stejně jako fakt, že v tomto textu je opylivačem myšlen většinou právě hmyz (mezi opylivače s komorovým okem patří např. kolibříci, strdimilové, netopýři a kaloni). Kromě toho komorové a složené oči představují dva velmi rozdílné zrakové orgány, které se liší stavbou, vývojem a optickými i biochemickými vlastnostmi. Na druhou stranu však můžeme mezi oběma typy najít mnoho podobností. Jednou z nich je samotný princip vnímání dopadajícího světla, založený na přítomnosti určitých typů očních pigmentů ve světločivných buňkách, ať už jde o buňky na sítnici komorového oka, nebo v omatidíích oka složeného. Uvedli jsme, že obratlovci většinou disponují 2–4 typy barevných fotoreceptorů. Naproti tomu u hmyzu nacházíme daleko větší diverzitu: známe druhy jak s jediným, tak s mnoha rozdílnými fotoreceptory (Briscoe a Chittka 2001).

Pro další informace o zraku a podstatě vzniku určitých zbarvení nejen u ptáků doporučuji článek M. Šulce a M. Honzy Svět očima zvířat aneb jak ptáci vnímají barvy (Živa 2014, 4: 180–183). O zraku a jeho evoluci se přehledně dočtete také

v knize N. Lana Vývoj života (Knihy Zlín, 2011).

Chemie versus fyzika

Abychom si udělali ucelenější představu nejen o zbarvení květů rostlin a zároveň lépe pochopili, co fotografie v UV světle ukazují, krátce si připomeneme podstatu vzniku zbarvení tělních povrchů zvířat i rostlin. Obecně lze zbarvení organismů rozdělit do dvou kategorií: zprostředkované pigmenty a strukturální. Jako pigmenty označujeme látky, které absorbují světelné paprsky určitých vlnových délek. Výsledná barva absorbována není – nebo jen minimálně – a odráží se od povrchu objektu. Je obecně známo, že bílou barvu vidíme, když povrch odráží světlo všech vlnových délek, a černou, jsou-li paprsky celého spektra absorbovány.

Barvy strukturální se zakládají na odrazu světla od mikroskopických struktur na povrchu organismu. Oproti pigmentům, které často způsobují značný rozptyl světla a menší výraznost barvy, mohou strukturální typy zbarvení odrážet světlo pouze určité vlnové délky. Vzniká pak mnohem intenzivnější barva. Tento fenomén běžně nacházíme např. u motýlů (Živa 2012, 6: 300–301), často právě ve spojitosti s UV vzory. Strukturální podstatu má mimo jiné známá iridescence – jev, při němž je světlo různých vlnových délek (barev) odráženo různými směry a pozorovaná barva se proto mění s úhlem pohledu.

Zbarvení založená na pigmentech se pro svou podstatu někdy nazývají též chemická, kdežto druhou kategorií, vycházející z optických jevů, můžeme nazývat fyzikální. U rostlin i živočichů nacházíme oba typy zbarvení v jejich nejrůznějších podobách a často v kombinaci. Povrchy, které by např. beze zbytku absorbovaly světlo určité vlnové délky, jsou spíše vzácné – pozorované zbarvení je dáno poměrem pohlceného a odraženého záření. To platí samozřejmě i pro UV část světelného spektra. UV paprsky jsou přítomné ve slunečním světle dopadajícím na zemský povrch a většina objektů ho do určité míry odráží nebo absorbují. Ale jen některé povrchy ho dokáží pohlcovat nebo odrážet se zvýšenou intenzitou, a být tak nápadné pro okolí. Dodejme, že z hlediska strukturálních barev byli živočichové ve srovnání s rostlinami prozkoumanými nesrovnatelně důkladněji, ale principy vzniku takových zbarvení jsou v obou případech obdobné (Glover a Whitney 2010).

První ukázka: orseje

Vhodným příkladem rostlin, u nichž se na zbarvení květů podílejí pigmenty i opticky aktivní mikrostruktury, jsou některé

zástupci čeledi pryskyřníkovitých (*Ranunculaceae*). Z těch nejběžnějších jmenujme orseje jarní (*Ficaria verna*, obr. 1 a 2) a pryskyřník prudký (*Ranunculus acris*).

Snímky zachycující barevný vzhled květů orseje ve viditelné a UV části spektra. Základní žlutá barva je dána přítomností pigmentů absorbujících světlo ostatních vlnových délek vyjma žluté – resp. žlutá je pohlcována nejméně a odráží se od povrchu. V ultrafialové oblasti naopak uvidíme jasný rozdíl mezi středem a okrajem květu. Střed je výrazně UV-absorpční, kdežto okraje květních lístků UV světlo odrážejí. Vzniká tak zajímavý kontrast, zřejmě dobře viditelný pro opylivače, kterému pak může sloužit jako ukazatel ke středu květu. Výrazná odrazivost květu v UV oblasti v tomto případě vychází ze zvláštní struktury pokožky, která navíc neodráží pouze UV světlo, ale i další vlnové délky, čímž umocňuje zřetelný zářivě žlutý lesk květů orseje (i pryskyřníku). Na povrchu květu orseje je při bližším pohledu patrný rozdíl ve struktuře mezi hladkou a lesklou částí (v UV spektru doslova svítí) oproti hrubší a matnější části blíže ke středu květu (UV paprsky absorbuje). Strukturálním zbarvením pryskyřníku se na příkladu p. plazivého (*R. repens*) zevrubně zabývá práce Silvie Vignolini a kol. (2012).

Malá odbočka k motýlům

V souvislosti s přítomností jak pigmentového, tak strukturálního zbarvení na povrchu organismu si můžeme pro srovnání připomenout žlutáčka řešetlákového (*Gonepteryx rhamni*, viz Živa 2013, 2: 79–81), jehož samci se lidskému oku jeví jednolitě žlutí. Při zahrnutí UV části spektra se však ke žluté barvě křídel přidávají plošky nápadně reflektující UV světlo, navíc ohraničené UV-absorpční plochou (obr. 3 a 4). Opět tak vzniká kontrastní vzor, který není patrný ve viditelné oblasti spektra.

Poznámka na závěr

Jistě jste si povšimli zajímavých paralel mezi základními principy zraku živočichů a jejich zbarvením. V obou případech např. hovoříme o významné roli různých pigmentů zachycujících světlo určitých vlnových délek. Zde pouze prozradím, že nejde o náhodu, a doporučím zásadní příspěvek J. Brejchy v knize Krása a zvíře (editovali O. Dadejík, F. Jaroš a M. Kaplický, Dokořán, Praha 2014, str. 109–124), který podrobně pojednává o úzce provázané evoluci zbarvení organismů s jejich zrakovým aparátem.

Možná vás napadá, zda název článku nebyl zavádějící, protože ultrafialových snímků květů zde bylo přece jen málo. V dalších dílech seriálu tomu bude právě naopak a věřím, že díky základnímu úvodu do principů zraku a zbarvení povrchu organismů budou příště předložené fotografie zajímavější a umožní udělat si o daném fenoménu bližší představu. Také se dozvíte více o historii, metodice záznamu „neviditelných“ barev a o našem vlastním postupu při fotografování UV vzorů.

Článek vznikl za podpory projektů Grantové agentury Univerzity Karlovy v Praze (GA UK 764313 a 571213).

Použitá literatura uvedena na webu Živa.