



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 opylovačů) bývají poměrně běžné, výjimkou nejsou ani u různých dalších živočichů.

Čtenář může namítnout, že opylovačů 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 opylovačem myšlen většinou právě hmyz (mezi opylovače 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 (Kniha 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 iridiscence – 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, vycházejí 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 prozkoumání 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 opylovače, 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 Živy.