

Příběhy z elektronového mikroskopu

4. Krása motýlích křídel

Motýli patří bezesporu k nejnápadněji zbarveným skupinám hmyzu. Těžko bychom hledali člověka, jehož by nezaujala krása motýlích křídel; v celé své nepřeborné paletě barev a ornamentů inspirovala mnohokrát známé umělce v jejich tvořivé činnosti. Motýli se pro svůj křehký vzhled a život spojený s rostlinami stali symbolem volnosti, svobody a harmonického sepětí s přírodou. Při neobratném polapení motýla se ale přesvědčíme, jak je tato krása zranitelná a pomíjivá. Co je vlastně její podstatou? Již dlouho je zřejmé, že původcem jsou prostým okem neviditelné drobné útvary pokrývající křídla – šupinky, jejichž vzhled a uspořádání nám prozradí až pohled do mikroskopu. Šupinky jsou charakteristickým, i když ne výlučným znakem motýlů – vědecký entomologický název *Lepidoptera* v doslovném překladu znamená krásnokřídli.

Podívejme se nyní na motýlí šupinky blíže. Pokud se začneme zajímat o jejich původ, zjistíme, že to jsou vlastně modifikované chloupky (makrotrichie), u hmyzu běžně rozšířené útvary pokrývající různé části tělního povrchu. V závislosti na funkcích, které naplňují, mají rozmanitý vzhled. Většinou jsou ploché nebo chloupkovité a pokrývají nejen křídla, ale i ostatní části motýlího těla. Na křídlech jsou zpravidla uspořádány podobně jako tašky na střeše, ale ve dvou částečně se překrývajících vrstvách nad sebou. Pokryvnost je různá, u nejhustěji vybavených křídel dosahuje až 600 šupinek na mm². Známe ale i druhy motýlů se zcela průhlednými křídly bez šupinek. Ukotvení šupinky pomocí krátké stopky v křídelní membráně je poměrně volné, šupinky se proto s postupujícím věkem motýla otírají. Jeho vzhled

tedy se stáří, v případě, že se toho vůbec dožije, upadá do stavu úplné opotřebovanosti. Vnější a vnitřní struktura šupinek je dost složitá a značně se odlišuje u jednotlivých skupin motýlů. U vývojově původnějších druhů jsou šupinky plné, u odvozenějších čeledí je jejich vnitřek dutý a vyplněný vzduchem. Obě vrstvy šupinek – poměrně hladká spodní a rozmanitá svrchní – jsou propojeny pilířovitými sloupky zajišťujícími stabilitu vnitřních prostor. Právě přítomnost vzduchových dutin podporuje jednu z teorií původní funkce šupinek sloužících jako sběrače a výměníky tepla. U vývojově primitivních druhů mají plné šupinky proto nižší termoizolační kapacitu ve srovnání s dutými, vzduchem naplněnými u vývojově pokročilejších motýlů. Šupinky rovněž kladně ovlivňují obtékání vzduchu kolem

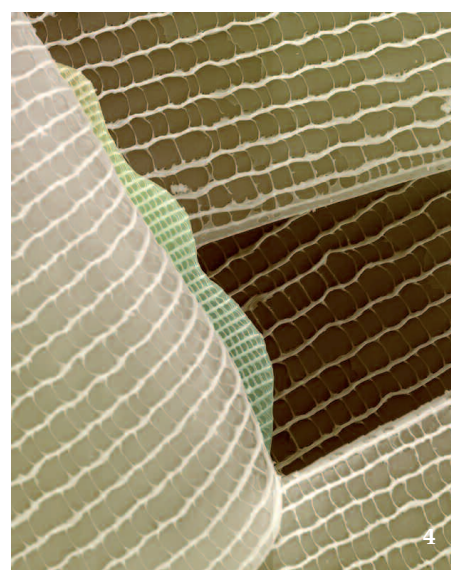
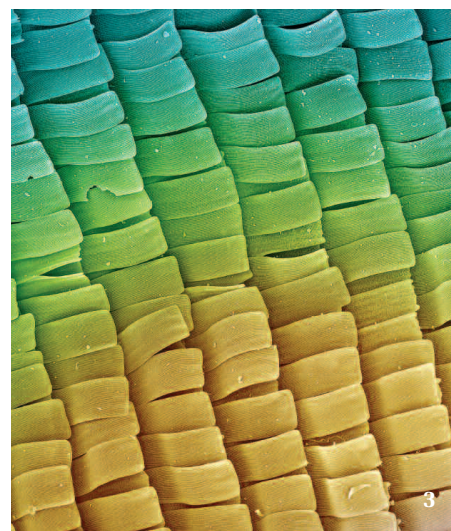
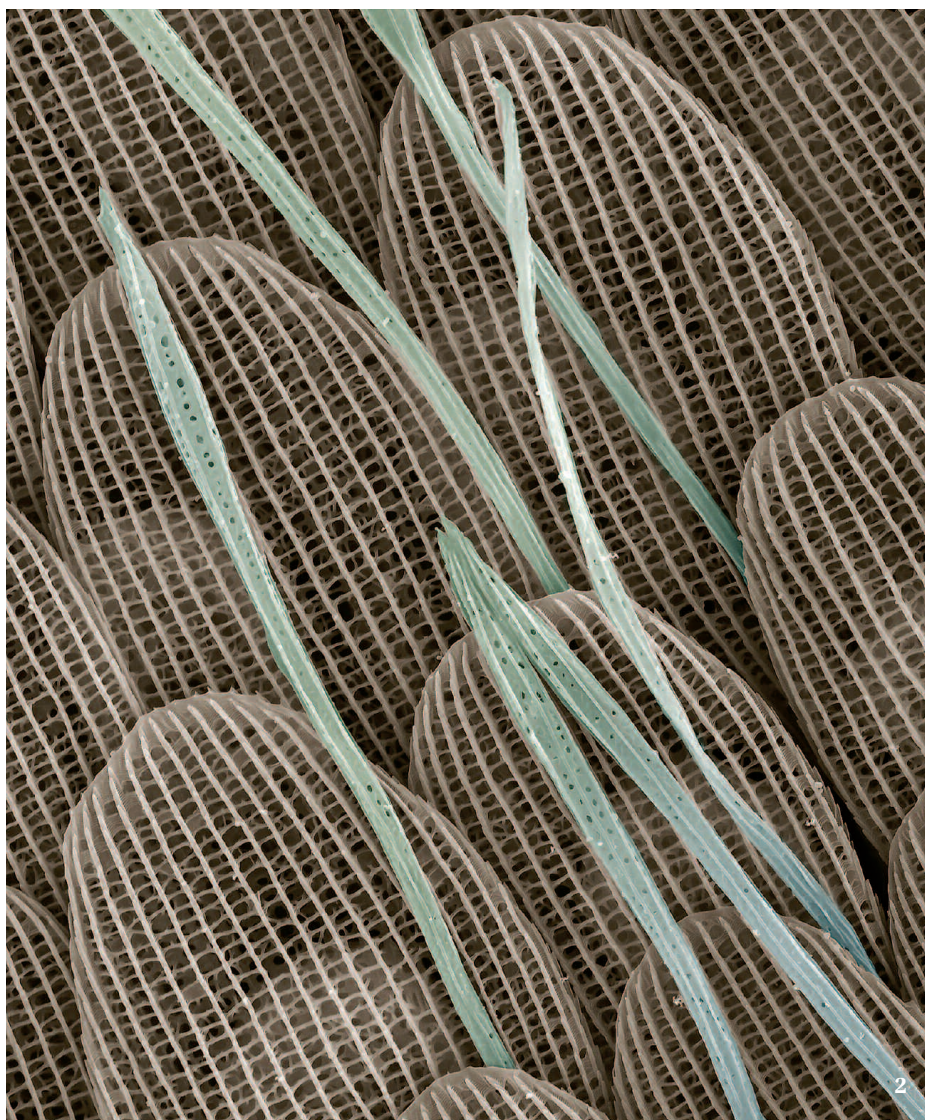
těla za letu. Ale tím nejpodstatnějším, čím se vyznačují, je jejich barevnost podmíněná buď obsaženými pigmenty, nebo fyzikálně optickými jevy. Hlavními aktéry jsou světelné paprsky vyvolávající na šupinkách škálu barevných efektů (tzv. strukturální zbarvení). Strukturální a pigmentové šupinky se vyskytují téměř u všech druhů motýlů a ve vzájemné součinnosti tak mohou dosáhnout barevnosti v širokém rozsahu jak ve viditelném, tak i neviditelném (ultrafialovém) světelném spektru.

Pigmentové šupinky patří většinou k plochému typu a obsahují různé druhy pigmentů rozmanitého původu. Některé z nich pocházejí ze živných rostlin housenek – jako odpadní metabolické produkty přešly v nezměněném stavu do těla dospělce. Základní pigmenty podmiňující zbarvení šupinek jsou černé, červené, žluté a bílé. Vzájemné uspořádání a poměrný počet různých zbarvených šupinek a množství v nich obsažených pigmentů vyvolávají navíc iluzi vjemu dalších barev, jako je např. oranžová nebo hnědá. Jemné rozdíly v hustotě a pigmentaci šupinek způsobují další světelné efekty jako texturu nebo stínování, a mohou tak motýlím křídům propůjčovat dojem prostorového uspořádání. Asi nejvíce rozšířeným pigmentem, tvořícím jakési barevné pozadí nebo clonu, je melanin. Motýli využívají významné schopnosti melaninu přeměnit až 99,9 % energie ultrafialového záření v teplo, čímž se nejen chrání před škodlivými účinky záření, ale ohřívají hemolymfu, která proudí k létacím svalům a zahřívá je na požadovanou teplotu umožňující motýlu vzletnout. Zcela unikátní původ mají pigmenty bělásků a neotropických helikon (podčeleď *Heliconiinae* patřící mezi babočky). Jde o tzv. pteriny – heterocyklické sloučeniny, deriváty kyseliny močové – odpadního produktu látkové výměny, přecházející z housenek v podobě bílého pigmentu do křídla dospělce. Tento pigment je navíc jedovatý a chrání tak motýla před predátory.

Strukturální zbarvení je na rozdíl od pigmentového založeno na optických jevech (lomu, rozptylu, ohybu, interferenci a odrazu světelných paprsků), na větším a vnitřním povrchu šupinek, jejichž základem jsou pravidelně uspořádané nanostruktury mající charakter tzv. fotonického krystalu. Ve fotonických krystalech se mohou světelné vlny šířit jinak než v běžných materiálech, což se při vhodných parametrech nanostruktur projeví selektivním potlačením, nebo zvýrazněním určitých složek viditelného světla (jak v procházejícím, tak v odraženém světle), a v důsledku toho i působivými barevnými efekty. V přírodě se vyskytují u různých organismů a nedají vědcům spát již přes 100 let. Např. zářivě blankytná modř lícni strany otakárka *Papilio ulysses* (viz obr. 8) vzniká tím, že pouze paprsky o vlnové délce modrého světla jsou na fotonické mřížce šupinky odraženy zpět do prostoru. Stříbrné lesky perleťovců jsou zase



1 Zadní křídlo otakárka fenyklového (*Papilio machaon*) s dobře viditelnými šupinkami různých barev, které tvoří vlastní ornamentaci motýla. Foto M. Černý



2 Detail voničkového orgánu monarchy rodu *Parantica* (babočkovití – *Nymphalidae*) se štíhlými perforovanými pachovými šupinkami zvanými androkonie (zvýrazněny modrozeleně) a s plochými podkladovými šupinkami se síťovitou skulpturou, tzv. evaporatoriemi (v odstínech hnědé). Tento mechanismus slouží k rozmnožování motýlů – samečci androkonii vylučují feromony, které se postupně odpařují na evaporatoriích a vábí samičky. Kolorovaná fotografie ze skenovacího elektronového mikroskopu (SEM), zvětšení 1 500×

3 Detail křídla komety zářivé (*Chrysidia rhipheus*, *Uranidae*). Barevné efekty v celém rozsahu světelného spektra jsou vyvolány difrakcí a interferencí světla na šupinkách pokrývajících křídla. SEM, zvětšení 40×

4 Detail povrchové skulptury difrakční šupinky u komety zářivé. Výrazné interferenční jevy pozorované na křídlech těchto motýlů souvisí s pravidelným periodickým uspořádáním vnitřní struktury šupinek. Vnější vrstva je znázorněna v odstínech hnědé, vnitřní v odstínech zelené. SEM, zvětšení 1 100×

5, 6 a 7 Šupinky na křídle běláška řeřichového (*Anthocharis cardamines*). SEM, zvětšení 40×, 700× a 1 500×

8 Strukturální šupinky otakárka *P. ulysses* selektivně odrážejí modrou složku světelného spektra.

Odhalené černé podkladové šupinky s melaninem ilustrují postupnou erozi modrých šupinek vnější vrstvy. Motýl tak časem ztratí svůj modrý zářivý lesk. Fotografie vznikla metodou Extended Depth of Field, viz text k obr. na 1. str. obálky. Zvětšení 100×

9 Detail podkladové šupinky spodní vrstvy otakárka *P. ulysses*. SEM, zvětšení 3 700×. Snímky P. J. Juračky, pokud není uvedeno jinak

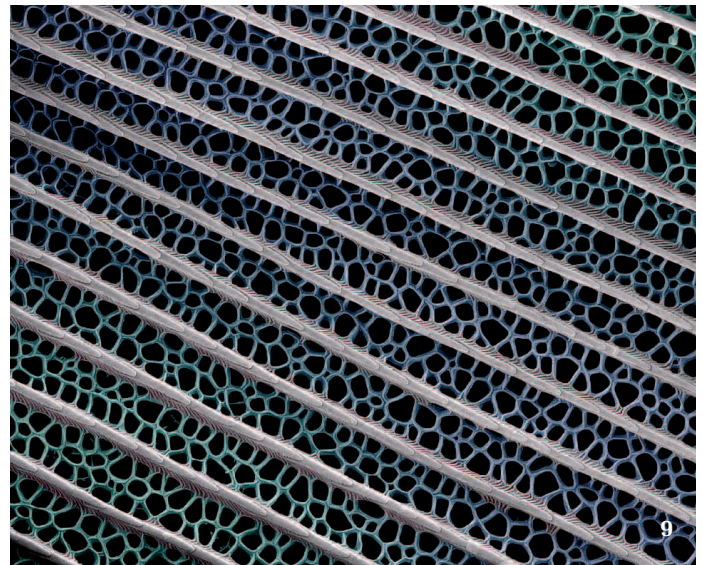
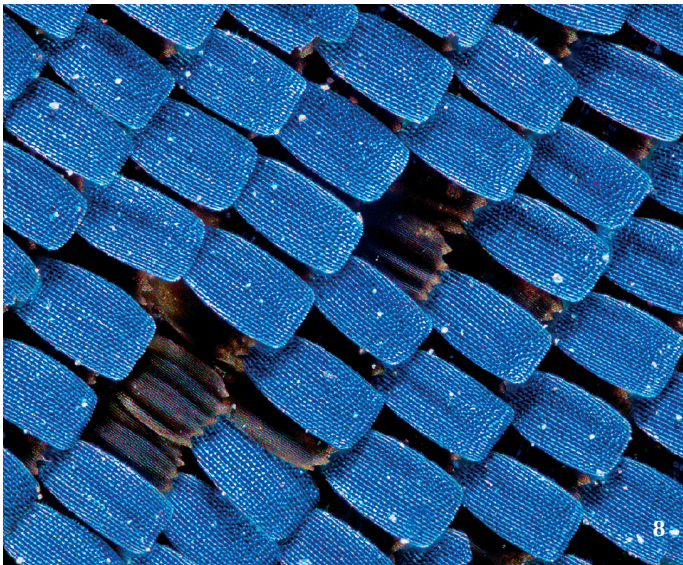
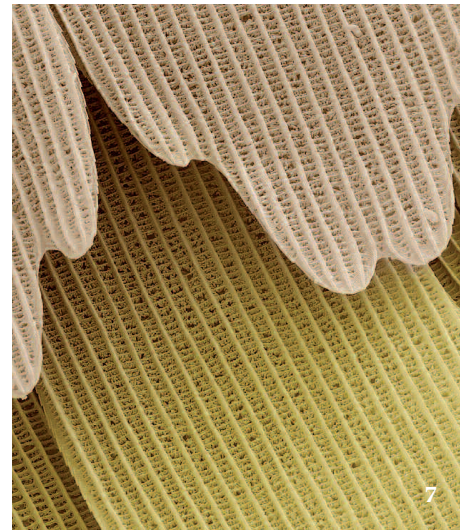
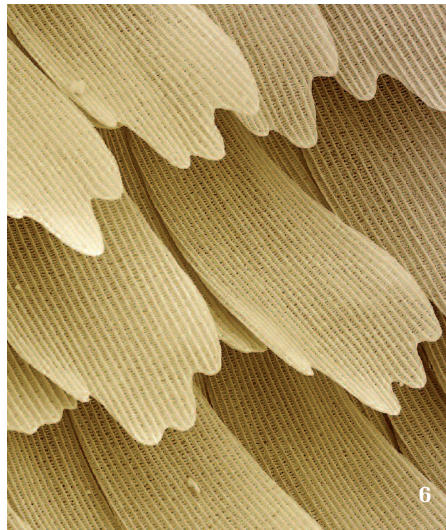
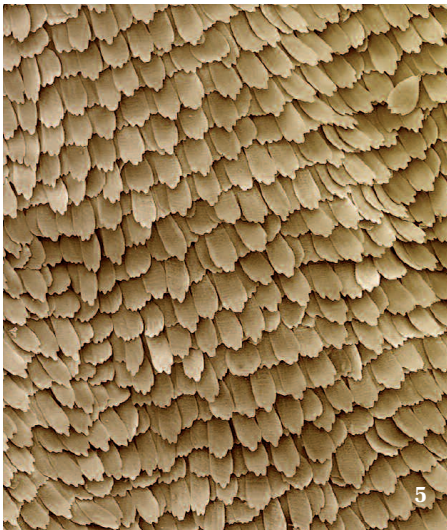
výsledkem přímého zrcadlového odrazu světelných paprsků na zcela hladkém povrchu šupinek. U komety zářivé (*Chrysidia rhipheus*) se zářivě kovový lesk v celém barevném spektru mění s úhlem dopadu světelných paprsků na speciálně prohnutých šupinkách uspořádaných do souběžných baterií (obr. 3).

Naprosto odlišnou funkci a zpravidla také vzhled mají tzv. voničkové šupinky (androkonie), jež se vyskytují převážně u samců. To bezpochyby naznačuje jejich souvislost s rozmnožováním motýlů. Voničkové šupinky se nevyskytují izolovaně, ale bývají soustředěny na určitých částech křídla, kde vytvářejí spolu s plochými šupinkami fungujícími jako odpařovací plošky (evaporatoria) voničkové orgány (obr. 2). Voničkové šupinky jsou duté, opatřené drobnými otvory, kudy se uvolňují feromony vylučované z vácíkových žlázek na jejich bázi. Ovšem ne vždy se

voničkové orgány nacházejí pouze na křídlech. Např. někteří monarchové nebo babočky rodu *Ithoma* mají vychlípitelné štětečky na konci zadečku nebo dlouhé chlupy na koncovém záhybu zadního křídla. A u některých otakárků, helikon, martínáčů, bourovců a bekyní se voničkové orgány v podobě pachových vábniček nalézají poblíž pohlavního otvoru samic.

Různobarevné šupinky na křídlech a těle motýlů skládají také rozmanité ornamenty. Zdánlivě nepřehledné množství variací kreseb a kombinací barev může působit chaoticky, ale ve skutečnosti skrývá dědičně podmíněný a vnějším prostředím ovlivňovaný řád. Během svého krátkého života musí každý motýl čelit na jedné straně stálému ohrožení ze strany predátorů, zároveň však musí splnit svůj nejdůležitější životní úkol – najít pohlavního partnera, spářit se a zajistit pokračování rodové linie. Existenční dilema se stalo hlavním hybným činitelem evoluce motýlů a v něm právě šupinky převzaly rozhodující roli. Ale to už je jiný příběh.

Pokud vás článek zaujal, dovolujeme si vás pozvat na výstavu Krása motýlích křídel, která se bude konat od 4. srpna do 28. října 2011 v nové budově Národního muzea v Praze. Na této unikátní výstavě lze vidět nejen velkoformátové fotografie z tohoto článku, ale i mnohé další, týkající se života motýlů.



Vyšlo v Nakladatelství Academia

Miloslav Studnička: S botanikem v tropech 1–2–3

V edici Mimo – přírodní vědy nedávno vyšlo trojsvazkové, mnoha fotografiemi vybavené populárně vědecké dílo sestavené z povídek podle skutečnosti zažívané na badatelských expedicích do tropů Brazílie, Nikaraguy, Venezuely a jižního Mexika.

Vypravěčem je geobotanik i pracovník význačné české botanické zahrady (zároveň také člen redakční rady Živy, kterého čtenáři tohoto časopisu již velmi dobře znají z mnoha publikovaných článků) v jedné osobě, tedy člověk žijící doslova pospolu s rostlinami, nyní poznávanými v dalekých zemích a popisovanými v přírodním prostředí. M. Studnička je také žákem tzv. Jeníkovy geobotanické školy připravující botaniky pro terénní výzkum

vegetace světa, tedy rostlinných společenstev, jejich vlastností a ekologických vztahů. Prof. Jan Jeník poskytl ke knihám komentář, umístěný uvnitř pouzdra.

Poezie expedičního bádání je zvláštní, radosti a strasti botanika vzbuzují u jiných úsměv, ale vše je popsáno bez fabulace, zato s mnoha faktografickými odbornými poznámkami ke každé povídce; že by literatura faktu? Autor se ale považuje spíše za věcně vyprávějího aktéra různých spanilých dobrodružství v přírodě, jimž se ovšem snaží v náročných podmínkách tropů spíše vyhybat. První provedení v samizdatových sešitech určené jen pro přátele dopadlo jako hodně ošoupané rodokapsy. Kež se líbí i bohatě ilustrované vydání v originálním dárkovém provede-



ní. Mimochodem, obálky jsou z čistě bambusové celulózy a grafiku tvořil Jan Franta.

Academia, Praha 2011, 440 str.
Doporučená cena 950 Kč