

PODSTATA BARVOMĚNY CHAMELEONŮ A JINÝCH ŽIVOČICHŮ

PRINCIPLES OF CHAMELEON AND OTHER ANIMALS' COLOR-CHANGING

Kristýna Šebková, Přírodovědné gymnázium PRIGO, Mojmírovců 42, Ostrava-
-Mariánské Hory sebkova@prigo.cz

Abstract

Animal color change is a remarkable phenomenon that is passed on in genes from generation to generation. Generally, it is used to mask predators, communicate, or express mood. Different animals can change color in a few milliseconds to hours and everything is controlled by the hormonal or nervous system. The most significant cells for coloring are chromophores, melanophores, or leucophores. The most perfect color-changing animals are chameleons and cephalopods.

Klíčová slova

chromatofory, melanofory, barvoměna, pigmenty, odraz světla

Keywords

chromatophores, melanophores, color change, pigments, reflex

Úvod

Změna barvy je v přírodě velmi častým jevem. Živočichové se naučili splynout s prostředím a chránit se tak před predátory. Ve výuce se obvykle zmiňu-

jí pouze chromatocyty, tedy buňky, které obsahují pigmenty, ale již se příliš nevysvětlují mechanismy, kterými ke změně barvy dochází, a jak se liší u jednotlivých skupin živočichů. Článek jsem vytvořila proto, že se žáci ve 2. ročníku středních škol učí

jak o hlavonožcích, tak o plazech, a spousta z nich má doma jako domácího mazlíčka chameleona a o podstatě jeho barvoměny neuvažuje. V textu jsou použity dva pojmy: chromatocyty a chromatofory. Termín chromatofory se používá u studenokrevných živočichů a termín chromatocyty pro buňky s pigmentem u savců a ptáků.

Podstata barvoměny

Rychlá změna barvy je pozoruhodný přírodní jev, který se vyvinul u obratlovců, například u některých ryb, obojživelníků či plazů, ale i u bezobratlých živočichů, jako jsou korýši či hlavonožci. Barvoměna je dána geneticky a živočichové se ji nemohou naučit během života. Pro tuto evoluci existují dvě hlavní vysvětlení. Prvním je přirozený výběr pro kryptické zbarvení (homochromie), tedy maskování, snahu splynout s prostředím a být neviditelným, a druhým je výběr nápadných sociálních znaků, které maximalizují zařazení do stejného druhu, a tedy jejich komunikaci, a minimalizují vystavení se predátorům (Stuart-Fox, Moussalli, 2008). Všeobecně slouží barvoměna živočichům k rychlému ukrytí, ke komunikaci a k vyjádření svého naladění. To vše zvyšuje jejich šanci na přežití, nalezení partnera a rozmnožování. Je způsobena pigmenty, které se nachází ve specializovaných buňkách zvaných chromatofory. Nachází se v epidermis, ale i hlubších částech kůže a v jiných tělních tkáních. Buňky s pigmentem byly poprvé popsány v roce 1819 italským vědcem Sangiovannim. Nazval je *chromoforo*, což je odvozenina z řeckého slova *khroma*, tedy barva, a *phoros*, tedy nesoucí (Florej, 1969).

U většiny živočichů dochází k morfologické barvoměně, která souvisí se změnami ročních období. Jedná se o pomalé změny zbarvení, které jsou způsobeny změnou počtu, typu či distribuce chromatoforů nebo změnou typu či množství pigmentu (Sugimoto, 2002). U živočichů, jako jsou

například hlavonožci a chameleoni, může docházet k velmi rychlým a krátkodobým změnám zbarvení v rádech milisekund nebo sekund. Umožňuje to přesun granulí pigmentu uvnitř chromatoforů působením různých podnětů, jako je světlo nebo teplo. Jedná se o fyziologickou barvoměnu, která je řízena hormonálně či nervově. Tuto barvoměnu poprvé popsal Aristoteles ve svém díle *Historia Animalium* (Stuart-Fox, Moussalli, 2008). Mnoho studií o mechanismech barvoměny bylo prováděno na afrických chameleonech, *Chamaeleo pumilus* a *Chamaeleo vulgaris*. U chameleonů jde především o vyjádření nálady, duševního rozpoložení a maskování proti nepříteli, jelikož jsou velmi pomalí. Mladí chameleoni jsou zeleně zbarvení, aby co nejlépe splynuli s listy stromů. Je-li chameleon rozrušený, zbarví se žlutou nebo červenou barvou, což je signál, aby se od něj ostatní drželi dál. Pokud chce samec zaujmout samičku, mění se jeho barva z hnědé na nachovou a světle modrou (Stuart-Fox, Moussalli, 2008).

Proces barvoměny chameleonů a také jiných plazů lze popsat na základě stavby a vlastností jejich pokožky a povrchových podkožkových tkání. Vlastní pokožka je průhledná a pod ní se nachází tři vrstvy buněk, tzv. chromatocytů. Svrchní vrstva obsahuje žluté xantofory a červené erytrofory, jejichž zbarvení je závislé na vlnových délkách pohlcovaných soustavami pterinosomů obsahujících pteridin a karotenoidní granule. Prostřední vrstva obsahuje modré iridiofory a bílé leukofory. Iridiofory obsahují množství reflektujících destiček, a tudíž dobře odráží světlo. Velikost, povrch, orientace, počet a vzájemná vzdálenost destiček určují, jakou barvu iridiofory vytvoří. Nejspodnější vrstva obsahuje černé melanofory s výběžky, které mohou měnit svou velikost, a podle potřeby se vsunují do obou vrstev nad nimi. Buňky jsou řízeny autonomním nervovým systémem a stahují se a rozpínají podle intenzity stimulace (Kuriyama et al., 2006).



Obr. 1 Chameleon (*Chamaeleo*), Sharp, J. J. (2014), Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flap-necked_chameleon_\(Chamaeleo_dilepis\)_female.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flap-necked_chameleon_(Chamaeleo_dilepis)_female.jpg) Na str. 44 barevně.

U ryb, obojživelníků a plazů je změna barvy umožněna přemístováním pigmentových granulí uvnitř chromatoforu. Tento proces se nazývá fyziologická barvoměna. Nejtmavší a nejviditelnější pigment je melanin, tudíž se tento jev sleduje především

na melanoforech. Většina těchto živočichů má tenkou škáru a ploché dermální chromatofory vytvářející velkou plochu. Ploché dermální melanofory často překrývají jiné chromatofory, a pokud je pigment rozptýlen v buňce (disperze), jeví se pokožka tma-

vá. Pokud se ale pigment melanoforů nahromadí ve středu buňky (agregace), je pigment jiných chromatoforů vystaven světlu a pokožka tak získá jejich odstín. Živočichové se silnou škárou jako dospělí plazi či obojživelníci mají tři vrstvy chromatoforů. Při agregaci melaninu se pokožka jeví zelená, protože iridiofory odráží světlo, které pak přechází přes xantofory. Pokud je pigment rozptýlený (disperze), světlo se neodráží a pokožka se jeví tmavá. Jedinci si uvědomují zbarvení svého okolí zrakem, což vyvolá produkci hormonů řídících přesun pigmentů. Mezi hormony způsobující disperzi patří melanokortiny (hypofýza) a mezi hormony způsobující agregaci melatonin (epifýza) a melanin koncentrující hormon (MCH) produkovaný hypotalamem (Fujii, 2000).

Agregace a disperze pigmentů

V rámci buněk se rozlišují dva možné pohyby pigmentů, agregace a disperze, které jsou způsobovány změnami iontových nábojů chromatoforů.

Při disperzi dochází k centrifugálnímu (odstředivému) přesunu granulí pigmentu do buněčných výběžků. Signální dráhy jsou závislé na cyklickém adenosin monofosfátu (cAMP). Látka způsobující disperzi se naváže na receptor chromatoforu, což aktivuje adenylcyklázu a dojde ke zvýšení hladiny cAMP. Tento vzestup aktivuje proteinkinázu A (PKA), která následně fosforyluje granule vázající protein. Ten se oddělí od cytoskeletu a volné granule jsou kinesinem přeneseny do okrajových částí buňky. U obojživelníků a plazů se vyskytuje ještě jedna signální dráha. Pokud se naváže na receptor látka způsobující disperzi, aktivuje se fosfolipáza C a zvýší se hladina Ca^{2+} v chromatoforu. Tím se aktivuje proteinkináza C (PKC), která následně fosforyluje granule vázající protein (Nery, Castrucci, 1997).

Při agregaci dochází k centripetálnímu (dostředivému) přesunu granulí pigmentu do perinukleární oblasti buňky. Po aktivaci receptoru spřaženého s G-proteinem dojde k inhibici adenylcyklázy a následnému snížení hladiny cAMP a aktivaci proteinkinázy A (PKA). Specifická fosfatáza defosforyluje granule pigmentu vázající protein a umožní tak dyneinu transportovat granule do středu buňky, kde se nahromadí kolem jádra. U koryšů a kostnatých ryb je agregace závislá také na obsahu vápníku v chromatoforech. Na chromatofory kostnatých ryb se naváže katecholaminy a dojde ke zvýšení cytoplazmatického Ca^{2+} , což je signálem pro aktivaci PKC (Nery, Castrucci, 1997).

Řízení a translokace pigmentů

Řízení a translokace pigmentů je pod hormonální či nervovou kontrolou nebo se jedná o kombinovanou kontrolu. Mezi již zmíněné hormony regulující translokaci patří melanokortiny, melatonin a melanin koncentrující hormon (MCH). Jsou produkovány hypofýzou, epifýzou a hypotalamem, ale také parakrinně buňkami kůže. Na povrchu melanoforů aktivují receptory spřažené s G-proteiny a tím se signál transdukuje do buňky. Melanokortiny způsobují disperzi a melatonin a MCH agregaci pigmentu.

Nejedná se však o jediné hormony, které se na regulaci podílejí. Středním lalokem hypofýzy je produkován peptidický hormon, kterým je melanofory stimulující hormon (MSH) neboli melanotropin či intermedin. Způsobuje rychlou disperzi pigmentů v melanoforech při fyziologické barvoměně a stimuluje proliferaci a melanisaci (pigmentování) melanoforů při barvoměně morfologické. Opačný účinek má melanin koncentrující hormon (MCH), který způsobuje agregaci pigmentů. Někteří vědci se domnívají, že existují

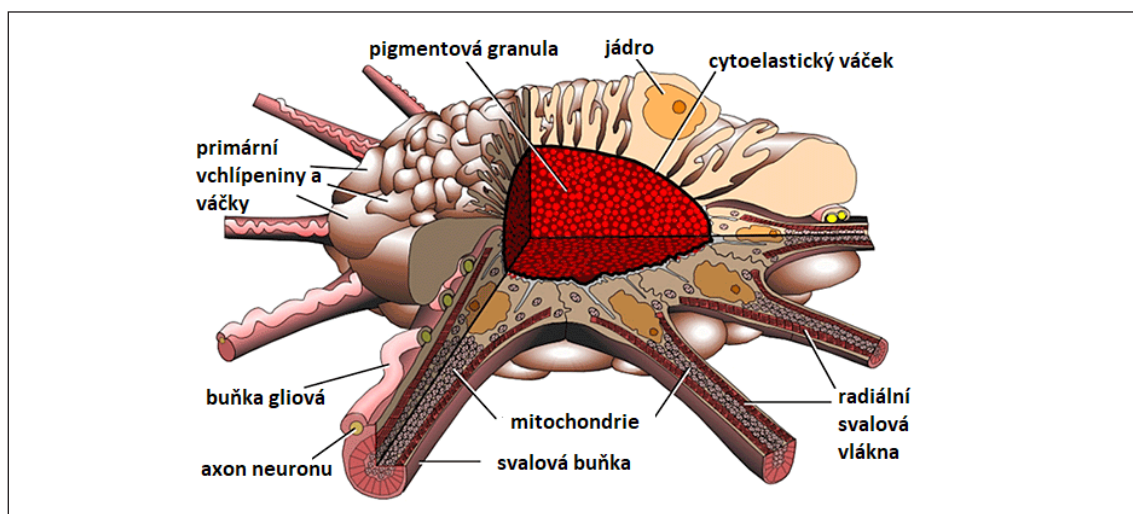
dva typy MCH receptorů. První zprostředkovává agregaci pigmentů při fyziologických koncentracích MCH a druhý zprostředkovává disperzi pigmentu, ale pouze při vysokých koncentracích MCH a za přítomnosti Ca^{2+} iontů (Fujii, 2000).

Řízení nervovým systémem je oproti endokrinnímu mnohem rychlejší. Živočichové získávají svým okem obraz, který se jako informace přeneše do CNS, kde je okamžitě zpracována a odeslána přes přímá nervová zakončení k chromatoforům (Fujii, 2000).

Barvoměna u hlavonožců

Hlavonožci bývají označováni jako chameleoni oceánu. Jejich chromatofory tvoří jakýsi komplexní orgán a nejsou kontrolovány hromadně. Jsou řízeny několika laloky mozku. Optický lalok například získává vizuální informace, na základě kterých vybírá vzorování těla. Každý chromatofor má elastický váček, který obsahuje pigment a který je obklopený příčně pruhovanými svaly. Každý sval má své nervy a glie. Při podráždění se sval

stáhne a chromatofor se tím rozšíří. Při uvolnění energie nahromaděná v elastickém váčku chromatofor opět stáhne. Chromatofory obsahují různé barevný pigment a jsou v pokožce rozloženy tak, aby se nepřekrývaly a zároveň mohly spolupracovat s vrstvami pod nimi. Specifická nervová vlákna inervují skupinu chromatoforů uvnitř pevné morfologické struktury, která vytváří fyziologické jednotky, a ty se projevují jako viditelná chromatoforová pole. Chromatofory jsou nezávislé na jiných svalech těla, tudíž signalizace nespolupracuje s jinými motorickými jednotkami a živočich se tak může během barvoměny pohybovat (Messenger, 2001; Florey, 1969). Velmi zajímavé je také to, že hlavonožci dokonale napodobují prostředí, i přes to, že jsou barvoslepi. Většina hlavonožců a jejich predátorů má pouze monochromatické vidění a mohou tak detekovat pouze modré světlo. V kůži hlavonožců jsou ještě buňky zvané leukofory, které obsahují bezbarvou bílkovinu, která odráží světlo a přizpůsobuje se jeho intenzitě. Funguje jako zrcadlo, bez ohledu na vlnovou délku světla a úhel, pod kterým světlo dopadá. Pokud na ni posvítíme bílým světlem, jeví se jako bílá, pokud modrým, zbarví se modře (Pazdera, 2011).



Obr. 2 Chromatoforový orgán hlavonožců. (Cloney, R. A. and E. Florey. 1968. Ultrastructure of cephalopod chromatophore organs. Zeits. für Zellforsch. 89: 250-280. Dostupné z: http://tolweb.org/accessory/Cephalopod_Chromatophore?acc_id=2038), Na str. 48 barevně.

Barvoměna u plžů

Zajímavá je i změna barvy a povrchové struktury mořských nahožábrych plžů. Živí se mořskými korálky či houbovci (*Porifera*) a jejich pigmenty si ukládají ve své pokožce nebo ve vychlípeninách střeva. Pokud dojde ke změně prostředí, změní se jejich potrava a tím i barva a zároveň struktura. Příkladem takového plže může být *Trippa (Atagema)* sp. nebo *Marionia* sp.

Závěr

V přírodě neexistují pouze rychlé změny zbarvení, ale také změny pomalejší a sezónní. Jedná se o barvoměnu morfologickou, při které se reverzibilně mění počet chromatoforů a množství me-

laninu. Příkladem může být zbarvení podle fyzikálních faktorů prostředí, patologických stavů či třecí zbarvení u ryb. Během tření se na regulaci zbarvení podílejí zejména pohlavní hormony, které způsobují pestřejší zbarvení samců (Sugimoto, 2002). Příkladem sezónní změny zbarvení je změna zbarvení těla hmyzu s měnícím se prostředím během roku. Například ploštice mění na zimu své zbarvení z jasně zelené na hnědou a na jaře se opět přebarvují (Hanel, Hanelová, 2012).

Článek shrnuje informace o barvoměně různých živočichů. Využitelný je v seminářích ze zoologie či běžných hodinách biologie. Žáci si mohou přinést do výuky své chameleony a pozorovat je pod lupou a zapisovat si změny, které pozorují.

Literatura

- FUJII, R. (2000): *The regulation of motile activity in fish chromatophores*. Pigment Cell Res 13: 300-319. Dostupné z: onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0749.2000.130502.x/pdf
- FLOREY, E. (1969): *Ultrastructure and Function of Cephalopod Chromatophores*. Department of Zoology, University of Washington, Seattle, Washington. Dostupné z: <https://watermark.silverchair.com>
- HANEL, L., HANELOVÁ, J. (2012): *Poznámka k sezónní homochromii kněžice trávozelené*. Časopis Živa, Academia, Praha. Dostupné z: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/poznámka-k-sezonnii-homochromii-knezice-travozelene.pdf>
- KURIYAMA, T., MIYAJI, K., SUGIMOTO, M., HASEGAWA, M. (2006): *Ultrastructure of the dermal chromatophores in a lizard (Scincidae: Plestiodon latiscutatus) with conspicuous body and tail coloration*. Zool Sci 23: 793-799. Dostupné z: www.bioone.org/doi/pdf/10.2108/zsj.23.793
- PAZDERA, J. (2011): *Kamufláž barvoslepých hlavonožců*. Dostupné z: <http://www.osel.cz/5716-kamuflaz-barvoslepych-hlavonozcu.html>
- MESENTER, J. B. (2001): *Cephalopod chromatophores: neurobiology and natural history*. Biol. Rev. 76: 473-528. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1017/S1464793101005772/pdf>
- NERY, L. E., CASTRUCCI, A. M. (1977): *Pigment cell signaling for physiological color change*. Comp.Biochem.Physiol. 118: 1135-114. Dostupné z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300962997000455#
- STUART-FOX, D., MOUSSALLI, A. (2008): *Selection for Social Signalling Drives the Evolution of Chameleon Colour Change*. PLoS Biol 6 (1): e25. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060025>
- SUGIMOTO, M. (2002): *Morphological color changes in fish: regulation of pigment cell density and morphology*. Microscopy Research and Technique 58, 496-503 <https://doi.org/10.1002/jemt.10168>