

Biologický korespondenční seminář



Biozvěst

Ročník 7

Série 3 – řešení

Milé řešitelky, milí řešitelé,

doufáme, že Vám přišlo řešení úloh 3. série 7. ročníku poučné a zároveň Vás bavilo. Jak moc jste se shodli s autory si můžete ověřit na následujících řádcích.

Přejeme příjemné čtení!
autoři Biozvěsta

Úloha 1: Rostlina jako (ne)dobytná pevnost

Autor: Marek Kasner

Počet bodů: 17

Rostliny jakožto přisedlé (tzv. sesilní) organismy se potýkají s různými problémy, které představují mimo jiné i ostatní organismy snažící se využít jejich těla. Pokud rostlina neobsahuje různé jedovaté látky, případně nemá trny a jiné ochranné morfologické struktury, mohli bychom ji milně považovat za bezbrannou. Pokud jste herbivor, tak máte možná pravdu. Pokud jste ale patogen a snažíte se dostat dovnitř rostlinných pletiv a buněk, tak vězte, že vás čeká nesnadná cesta. Rostlina se dokáže bránit dost urputně a při boji proti cizím uchvatitelům neváhá jít přes mrtvolu.

1. Abychom si lépe představili, jak se rostlina brání proti patogenům, je dobré si uvědomit, že se jejich obrana v určitých aspektech liší od imunitního systému např. nás lidí (obratlovců). Jaké jsou tedy tyto zásadní obecné rozdíly imunitních systémů? Jmenujte alespoň dva.

Na rozdíl od imunity obratlovců rostliny nemají žádné mobilní imunitní buňky, které v případě obratlovčí imunity představují např. makrofágy, granulocyty nebo lymfocyty. Každá buňka se musí a dokáže bránit zcela sama. Druhý rozdíl spočívá především v tom, že rostlina postrádá adaptivní imunitu a netvoří specifickou odpověď vůči patogenu v jiných pletivech (ale dokáže v ještě neinfikovaném pletivu ustavit poměrně obecnou obrannou reakci). Rostlina kóduje svým genomem pouze tzv. R-bílkoviny, které slouží k rozpoznání struktur konkrétního patogenu. Nejsou ale schopné se přizpůsobit novému patogenu tím, že by tvořily protilátky proti novému patogenu. V rostlině neexistují žádné paměťové buňky, díky kterým by poté v rostlinném těle vznikla rychlejší a silnější sekundární imunitní odpověď.

celkem 2 body
za každý správný rozdíl 1 bod

2. Patogenů existuje nespočetné množství druhů a můžeme s velkou pravděpodobností prohlásit, že každý rostlinný druh je napadán minimálně jedním druhem patogenu.

a. Jak byste definovali patogen?

Patogen je biologický činitel, který způsobuje onemocnění.

b. Z jakých vyšších taxonomických skupin většinou patogeny rostlin pochází? Jmenujte alespoň čtyři a u každého uveďte příklad jednoho zástupce (druhu nebo rodu).

Příklady nejdůležitějších skupin a zástupců (může být mnoho možností):

houby (Fungi): rez travní (*Puccinia graminis*)

bakterie (Bacteria): *Phytoplasma*

viry: TMV (virus tabákové mozaiky)

řasovky (Oomycota): plíseň bramborová (*Phytophthora infestans*)

celkem 5 bodů
za definici 1 bod
za každou skupinu 0,5 bodu
za každého zástupce 0,5 bodu

3. Nyní již víme, co rostlinu může potenciálně napadnout. Většina skupin využívá pro vniknutí do rostlinných buněk a pletiv specializované struktury. Jedna skupina se ale do buněk sama o sobě dostat nemůže.

a. O jakou skupinu patogenů se jedná a proč nemohou do rostlinné buňky vniknout samostatně?

b. Jak tedy do buněk pronikají? Popište alespoň jeden způsob.

Jedná se o viry, které nedokážou překonat buněčnou stěnu buňky, a protože se aktivně nepohybují, musí být do buněk přeneseny pomocí vektorů. Těmi jsou typicky někteří zástupci hmyzu, kteří se živí rostlinnými šťávami z buněk, floému nebo xylému, jako jsou často např. mšice (Aphidoidea), křísi (Auchenorrhyncha) nebo molice (Aleyrodidae) a další. Nabodnutím těchto struktur, nasátím obsahu infikovaných buněk a následným přesunem na další rostlinu šíří virové infekce. Přenos může být také zapříčiněn mechanickým poškozením (např. kdybychom poškodili nakaženou rostlinu motykou a poté s ní poškodili jinou zdravou rostlinu). Další možný způsob přenosu je z mateřské rostliny na potomka pomocí infekce semen. Po vyklíčení je rostlina již rovnou infikována.

*celkem 3 body**1 bod za skupinu patogenů**1 bod za vysvětlení**1 bod za způsoby vniknutí do buněk***4. První obrannou linií rostliny je mechanická bariéra na povrchu pokožkové (epidermální) vrstvy.****a. O jaké dvě struktury těchto buněk se hlavně jedná?****b. Jaká látka, která je nejvíce v jedné ze struktur zastoupena, zaručuje buňkám pevnost?****c. Existuje nějaké místo, kterým je možno tuto obranu obejít a dostat se přes epidermis hned do hlubších vrstev pletiv?**

Mechanickou bariéru rostlinných buněk tvoří buněčná stěna, pevnost jí propůjčuje celulóza, která je nejzastoupenějším polysacharidem živých buněk, které mohou být napadeny. Povrch rostlinné pokožkové buňky také chrání vrstva kutikuly. A ano, takové jedno slabé místo v obraně epidermis existuje. Představuje ho otevřený průduch, kterým se poměrně běžně dostávají různé patogeny vcelku (např. v případě bakterií), nebo jejich částí (třeba houbová hyfa) přímo do mezofylové části listu.

*celkem 2 body**0,5 bodu za buněčnou stěnu**0,5 bodu za kutikulu**0,5 bodu za celulózu**0,5 bodu za průduch***5. Při pokračování v cestě za živinovým bohatstvím skrytým v buňkách musí patogen nejdřív interagovat s cytoplazmatickou membránou buňky. Ta ale pomocí různých receptorů rozpoznává jako otisky prstů molekuly specifické pro různé patogenní organismy. Těm se říká obecně PAMPs (Pathogen-associated Molecular Patterns). Po rozpoznání se spustí různé ochranné reakce. Popište, podle čeho by rostlina poznala, že se jedná o houbový patogen a jakou látku by v obranné reakci konkrétně proti ní použila (při obranné reakci dojde mj. i k zesílení buněčné stěny).**

Rostlina by pravděpodobně rozpoznala houbu díky přítomnosti chitinu v její buněčné stěně (konkrétně díky receptoru CERK1). Na obranu začne mj. produkovat a exocytovat váčky s chitinázou, enzymem, který štěpí chitin.

*celkem 1 bod**0,5 bodu za chitin**0,5 bodu za chitinázu***6. Chránit se dříve, než se něco stane se na první pohled může jevit jako výhodné. Štěstí přeci přejí připraveným. Nebo ne? Zkuste zdůvodnit, proč rostlina neprodukuje ochranné látky dřív, než patogen začne vnikat do buňky. Napište alespoň jeden důvod. Mohlo by vám pomoci si zjistit, co se v takové buňce vlastně po vniku patogenu děje.**

Nejjednodušším důvodem, proč k obranné reakci dochází až po kontaktu s patogenem je fakt, že syntéza obranných látek je poměrně energeticky i stavebním materiálem náročná. Některé produkované látky – jako např. ROS (Reactive Oxygen Species, kyslíkové radikály), jsou nebezpečné i pro vlastní rostlinnou buňku. Při obranných reakcích často také odumírá postupně rostlinný obsah. Předtím se navíc zaslepují plasmodesmata a zesiluje buněčná stěna, takže by došlo ke komuniční izolaci buňky v rámci rostlinného těla a buňka logicky dlouho sama o sobě nepřežije.

*celkem 1 bod***7. V přírodě se s podobným jevem setkáte poměrně často, i když symptomy mohou být zaměnitelné a laboratorní vybavení na chemický rozbor asi většina nenosí. V množství případů se ale jedná o jev, který se budete snažit rozklíčovat zde. Na listech se objevily zaschlé oblasti, které jsou nepravidelně rozmístěny na listu. Po rozboru jiného listu bylo zjištěno zvýšené množství kyseliny salicylové, ale jinak se rostlina jeví jako zdravá a bez známek infekce jakýmkoliv patogenem. Co se v rostlině odehrálo? Vysvětlete popsané jevy a jejich důsledky.**

V rostlině došlo k neúspěšnému pokusu o infekci patogenem. Rostlině se podařilo vyvolat tzv. hypersenzitivní reakci, která způsobila programovanou buněčnou smrt napadených buněk, aby zabránila šíření patogenu do zbytku rostliny. To jsou ty zaschlé oblasti na listu. Kyselina salicylová je po infekci a hypersenzitivní reakci produkována proto, že jako hormon vede ve zbytku rostliny k zvýšené poměrně obecné zvýšené obranyschopnosti buněk k infekci. Rostlina získala systémovou rezistenci (SAR; systemic acquired resistance) po několika dalších dnech.

*celkem 3 body**1 bod za hypersenzitivní reakci**1 bod za systémově získanou rezistenci**0,5 bodu za vysvětlení hypersenzitivní reakce**0,5 bodu za vysvětlení systémově získané rezistence*

Úloha 2: Na vážkách

Autor: Vojtěch Waldhauser

Počet bodů: 14

Vážky (Insecta: Odonata) jsou starobyklý řád, pohybující se na naší planetě téměř 300 milionů let, tedy od období permu, přibuzné řády se objevily již v karbonu. I přes to se ale dnes jedná o jednu z nejlépe adaptovaných skupin hmyzu. Na světě žije téměř 5000 druhů, ale i když se toto číslo zdá být vysoké, oproti ostatním hmyzím řádům je to jen zlomek. Díky své velikosti a pestrým barvám jsou často cílem fotografů..

1. Vážky jsou často ochránářsky významné organismy, některé patří mezi tzv. deštníkové druhy. Co to znamená? A jaké druhy vážek, žijící v ČR, mezi ně patří?

Deštníkové druhy jsou takové organismy, jejichž ochranou se zároveň chrání celá lokalita. Často se jedná o druhy atraktivní i pro laickou veřejnost kvůli efektivnější popularizaci ochrany. Mezi vážkami se jedná třeba o klínatku rohatou (*Ophiogomphus cecilia*) nebo vážku jasnokvrnnou (*Leucorrhinia pectoralis*).

celkem 1 bod
za definici deštníkového druhu 0,5 bodu
za uvedení alespoň jednoho druhu 0,5 bodu

2. Morfologicky a velikostně jsou vážky opravdu rozmanité, najdeme mezi nimi jak obry, tak trpaslíky. Uveďte největšího a nejmenšího zástupce vážek v ČR.

Největší českou vážkou je páskovec velký (*Cordulegaster heros*), jehož samice dosahují celkové délky až 10 cm. V rámci České republiky se vyskytuje pouze v pohoří Chřiby, kde obývá lesní potoky. Naopak nejmenším zástupcem je šidélko leslé (*Nehalennia speciosa*), měřící pouze 25 mm. Je zároveň i druhem nejvzácnějším, u nás obývá pouze dvě lokality.

celkem 1 bod
za každého zástupce po 0,5 bodu

3. Partenogeneze není u hmyzu neobvyklá, v rámci řádu Odonata se takto ale rozmnožuje jediný druh.

a. Který to je?

Jedná se o šidélko *Ischnura hastata*, vyskytující se v Severní Americe, Karibiku a na Azorských ostrovech. Partenogenetickou populaci nalezneme ale pouze na Azorech, ve zbytku areálu rozšíření se tento druh rozmnožuje oboupohlavně

b. Čím je u tohoto druhu unikátní stavba křídla?

Kromě toho, že se barevně výrazně odlišují od ostatních zástupců rodu *Ischnura*, jsou samci tohoto druhu (kteří se v Americe normálně vyskytují) jedinými vážkami, jejichž pterostigma (též plamka, struktura na křídle pomáhající hmyzu tlumit vibrace při letu) se nenachází na okraji křídla.

celkem 2 body
bod za každou podotázku

4. Abychom mohli vážky studovat, musíme se naučit dobře rozeznávat jednotlivé druhy. To u nich jde, v porovnání s ostatními řády hmyzu, poměrně snadno. Pokuste se s využitím libovolných znaků tedy sestavit jednoduchý určovací klíč k samcům našich klínaček, tedy zástupcům čeledi Gomphidae. Najdete je na obrázcích 1-4. Veškeré potřebné znaky jsou na fotografiích viditelné, přesto doporučuji pro lepší představu využít internet.



Obr. 1: Klínatka obecná – *Gomphus vulgatissimus*. (foto autor)



Obr. 2: Klínatka vidlitá – *Onychogomphus forcipatus*. (foto autor)



Obr. 3: Klínatka rohatá – *Ophiogomphus cecilia*. (foto autor)



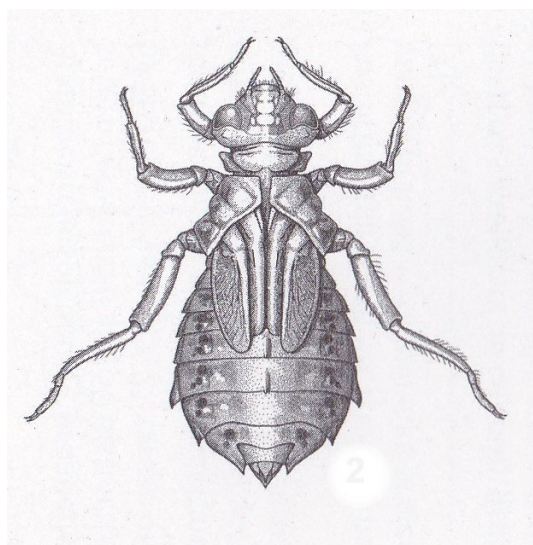
Obr. 4: klínatka žlutonohá – *Stylurus flavipes*. (foto Martin Waldhauser)

příklad správné odpovědi:

- | | |
|---|--|
| 1. hruď zelená, barevně odlišná od zbytku těla..... | Klínatka rohatá (<i>Ophiogomphus cecilia</i>) |
| hruď barevně shodná se zbytkem těla..... | 2 |
| 2. zadečkové přívěsky mohutné..... | Klínatka vidlitá (<i>Onychogomphus forcipatus</i>) |
| zadečkové přívěsky drobné..... | 3 |
| 3. nohy zcela černé..... | Klínatka obecná (<i>Gomphus vulgatissimus</i>) |
| nohy žluto-černé..... | Klínatka žlutohřbetá (<i>Stylurus flavipes</i>) |

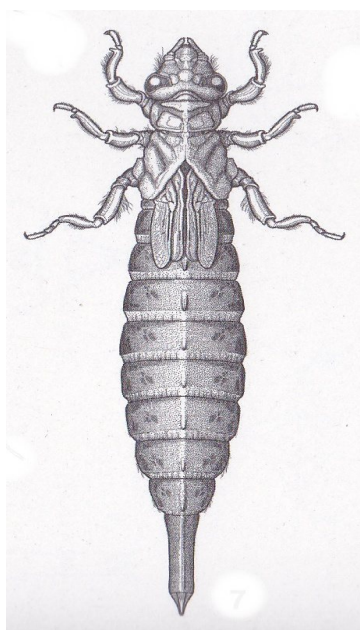
celkem 4 body

5. U klínatek ještě zůstaneme, často totiž mají velmi pozoruhodné larvy. Na obrázcích 5-7 najdete larvy tří druhů klínatek obývajících řeky v Namibii. Každá z nich disponuje jinou životní strategií: sprawlers („povaleční“, žijí mezi kameny), shallow burrowers (zahrabávají se do mělkých sedimentů) a deep burrowers (zahrabávají se hluboko do sedimentu). Na základě obrázků 5-7 se pokuste každé larvě přiřadit její životní strategii a vysvětlit, jak jí její morfo-
typ v dané níce pomáhá.



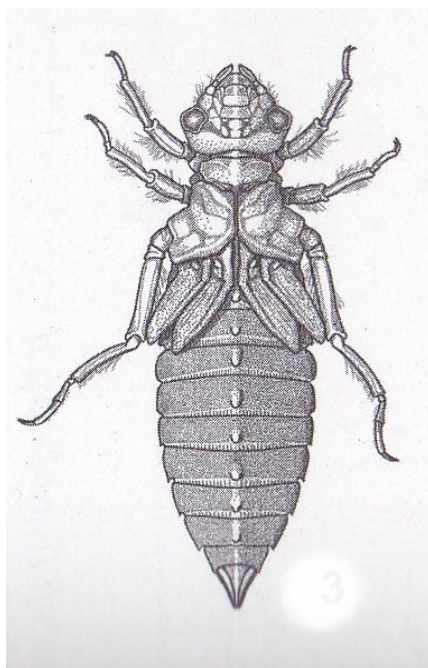
Obr. 5.; kresba Ole Müller

Tato larva patří klínatce *Ictinogomphus ferox*. Tento druh typicky obývá kamenité řeky, jeho larva je tedy typu „sprawler“. Má plochý hydrodynamický tvar těla a silné nohy, což jí pomáhá udržet se na místě i v silném proudu. Výrazné trny na zadečku jí slouží k obraně před predátory.



Obr 6: kresba Ole Müller

Larvy zástupců rodu *Phyllogomphus* patří do typu deep burrowers. Díky protaženému desátému zadečkovému článku, který jim slouží jako dýchací trubička, se mohou zahrabat hluboko do sedimentu.



Obr 7: kresba Ole Müller

Zástupce rodu *Onychogomphus* najdeme i v Evropě, jejich larvy patří mezi shallow burrowers. Jejich zadeček je totiž prodloužený jen natolik, aby jim bylo umožněno dýchat v těch nejsvrchnějších vrstvách sedimentu, hlouběji už by se udusily.

celkem 3 body
za správné přiřazení 1,5 bodu
za smysluplné zdůvodnění celkem 1,5 bod

6. Velmi zajímavá je čeleď Petaluridae s nejasným taxonomickým postavením, jejíž zástupci patří k největším vážkám na světě. Čím jsou unikátní jejich larvy?

Larvy druhů této čeledi mají naprosto jedinečnou životní strategii. Na rozdíl od larev ostatních skupin vážek (výjimkou bude rod šidálek *Megalagrion* z Havaje), které najdeme ve vodním sloupci, si larvy zástupců této čeledi hloubí nory ve břehu, na jejichž konci si udržují drobnou vodní kaluž. V noci poté za účelem lovu prohledávají okolí těchto nor.

7. celkem 1 bod

8. Ještě v roce 2007 byla vážka *Trithemis kirbyi* nám nejbližší známá ze severní Afriky. V několika následujících letech ovšem rychle expandovala na sever. V současné době tvoří ve Španělsku souvislou populaci od jihu až k Pyrenejím, v roce 2018 byly jednotlivé nálezy hlášeny dokonce nedaleko Lyonu (střední Francie). Podobně expandují na sever i další druhy, třeba šídlo hnědé (*Anax ephippiger*) nebo vážka červená (*Crocothemis erythraea*).

- a. Co může být příčinou takto rychlých expanzí?

Nejpravděpodobnější příčina těchto expanzí je klimatická změna a ohřívání evropského kontinentu. Kvůli tomu dochází k vysoušení biotopů, ty jsou poté osidlovány teplomilnými druhy vážek s kratším larválním vývojem a lepšími leteckými schopnostmi.

- b. Jaké vlastnosti vážek takové expanze umožňují?

Vážkám pomáhá v těchto expanzích rychlý vývoj, v extrémních případech to trvá od naklazení vajíček k vylíhnutí nového dospělce jen dva měsíce a jsou tak schopné mít několik generací za rok. Kromě toho jsou vážky samozřejmě výbornými letci, některé druhy jsou schopné migrovat z Indie až do východní Afriky.

celkem 2 body
za každou podotázku po 1 bodu

Úloha 3: Prastaří obojživelníci

Autor: Jakub Vácha

Počet bodů: 13

Řadě z vás jsem odečítal půlbody za špatnou typografii, například velká písmena u českých jmen zvířat, nebo naopak chybějící kurzíva u latiny. Dělal jsem to ze dvou důvodů – 1) některé odpovědi byly velmi strohé až nedostatečné a ještě navíc typograficky špatné a chtěl jsem je odlišit od správně a pěkně napsaných a 2) (a to především) kontrola typografie vás bude provázet celý život a zapomenutá velká písmena, kurzíva apod. vás můžou stát odečtené body v hodnocené závěrečných prací, nebo průtahy s vydáním článku a další.

Obojživelníci jsou bezesporu krásní a fascinující tvorové. Z pro mě nepochopitelného důvodu ale stále většina populace preferuje při výběru domácího mazlíčka křečka, nebo kočku. Mnohem větší pochopení pro ně naštěstí mají evoluční biologové, zabývající se obratlovci. Abychom se jim však i my dostali na zoubek, musíme se podívat na ty nejstarší, pochopitelně už zka-menělé.

1. Jak název napovídá, recentní obojživelníci žijí část života ve vodě a část na souši, ale ne vždy tomu tak bylo. S největší pravděpodobností se obojživelníci vyvinuli z vějířoploutvých (Rhipidistia). Které dva žijící druhy patří mezi nejbližší příbuzné této skupiny?

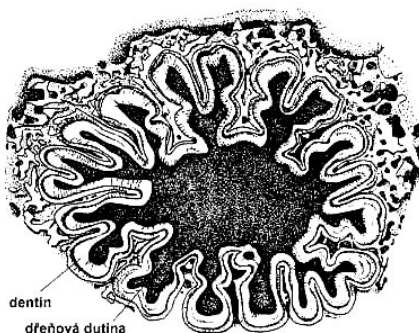
Jedná se o latimérie, konkrétně o latimérii podivnou (*Latimeria chalumnae*) a latimérii celebeskou (*Latimeria menadoensis*).

celkem 1 bod

za zmínku jednoho druhu nebo rodu 0,5 bodu

2. Důvodů, proč se vědci domnívají, že se obojživelníci vyvinuli právě z vějířoploutvých, je celá řada. Jedním z nich je přítomnost neobvyklého znaku zobrazeného na Obr. 8. Jak se tato struktura jmenuje?

Jedná se o tzv. labyrintodontní zuby. Tento typ chrupu byl přítomný jak u prvohorních lalokoploutvých, tak u prvních obojživelníků.



Obr. 8: Příčný řez labyrintodontním zubem prvohorní lalokoploutvé ryby. Převzato ze Schultze (1970).

1 bod

3. V jakém prostředí (ekosystému) a kdy žili první obojživelníci a jejich přímí předci?

V devonských močálech a mělkých tůních s hojnou vegetací, do kterých se přišli schovat před predátory.

celkem 2 body

za zmínku jedné informace (kdy/kde) 1 bod

za nízkou míru specifiity (např. paleozoikum (prvohory), ve vodě apod.) 0 bodů

4. Pokuste se zamyslet nad tím, jaké byly hlavní důvody přechodu některých vějířoploutvých na souš, své odpovědi co nejpodrobněji vysvětlete.

První obojživelníci se rozhodli osídlit něco, čemu se v ekologii říká tzv. volná nika. Tedy prostředí, kde především a) neměli v podstatě žádné predátory a b) naopak měli dostatek potravy.

celkem 2 body

za uvedení jednoho důvodu 1 bod

5. V okolí městečka Boskovice, nedaleko od Brna, paleontologové už řadu let zkoumají zajímavé obojživelníky patřící do skupiny Seymouriamorpha, která je uvažována jako jedna z možných linií vedoucích k plazům.

- a. Jaký rod živočichů to paleontologové nacházejí v okolí Boskovic?

Discosauriscus

1 bod

- b. U těchto živočichů však máme drobný problém týkající se vývojových stádií. O jaký problém se jedná? Uveďte i zdroj, ze kterého jste čerpali.

Doposud nebyl nalezen prokazatelně dospělý jedinec, pouze larvy. Podle některých názorů se vyskytovali pouze v neotenickém stádiu (ta byla nalezena), nebo dospělci žili suchozemským životem, a proto se nezachovaly jejich fosilie spolu s vodními stádií. Další z teorií tvrdí, že dospělci rodu *Discosauriscus* nalezeni byli, ale jsou mylně popsáni jako samostatné taxony rodu *Seymouria*.

1 bod

6. Podle některých názorů živočichové, o kterých jste se dozvěděli v otázce 5a fungovali podobně jako další obojživelník, žijící v dnešní době. Zmíněný recentní obojživelník má své jméno odvozené od aztéckého božstva vyobrazovaného jako psa. Tento bůh bývá označován jako strážce slunce, bůh noční oblohy, dvojčat, podivností, monster a bývá spojován i s blesky a smrtí. Překvapivé je, že i přes spojení tohoto obojživelníka s bohy Aztékové tento druh běžně pojídali. Aktuálně je tento živočich chráněný.

- a. Jak se správně (česky i latinsky, pozor na velká písmena a kurzívu) jmenuje recentní obojživelník popsáný v úvodu otázky?

Jedná se o axolotla mexického (*Ambystoma mexicanum*).

1 bod

oba názvy ale bez správného formátování/velkých písmen NEBO pouze jeden název ale správně formátovaný 0,5 bodu

- b. Jakou zvláštnost ve vývoji jedinců tohoto druhu můžeme pozorovat?

Tzv. neotenie, tedy stav, kdy obojživelník zůstává ve stádiu larvy celý život a je schopný reprodukce, aniž by musel metamorfovat na dospělé. Podobný jev je pozorován např. i u některých horských populací čolků.

1 bod

- c. Myslíte si, že přítomnost tohoto fenoménu u živočichů z otázky 5a by mohla být řešením záhady z otázky 5b?

Ano, neotenické larvy rodu *Discosauriscus* jsou nalézány a bezpochyby by obligátní neotenie mohla vysvětlit nepřítomnost dospělců ve fosilním záznamu.

1 bod

7. V průběhu historie Země území České republiky díky kontinentálnímu driftu porůznu cestovalo. Dokonce jsme slepení z několika kusů, jeden z nich například pravděpodobně patřil k Africe. Jaké klima a ekosystémy u nás podle Tebe byly ve spodním permu, když se tu plazilo zvířátko z úlohy 5? Uveď zdroje, ze kterých vychází (bez uvedeného zdroje nebude odpověď uznána).

Ve spodním permu se u nás střídalo aridní a tropické klima, nacházeli jsme ve mnohem blíže k rovníku než nyní. Z ekosystémů, které na našem území byly musíme určitě zmínit jsou močály na březích velkých jezer, a i jezera samotná.

Z vašich odpovědí bych vypíchnul jeden opravdu velmi dobře zvolený zdroj: Opluštil S. (2017): Biotic changes around the radioisotopically constrained Carboniferous-Permian boundary in the Boskovice Basin (Czech Republic). Bulletin of Geosciences, 92, 95-122.

Pozor, označení suché/vlhké klima není vyčerpávající popis daného klimatu, toto označení totiž nenese informaci o teplotě v dané oblasti, ideální by bylo uvádět tedy např. tropické vlhké apod.

celkem 2 body

za zmínku pouze aridního, nebo tropického klimatu 0,5 bodu

za zmínku pouze jednoho ekosystému 0,5 bodu

Úloha 4 (experimentální): Ty kytky ale blázní! (fenologické pozorování)

Autor: Jasna Simonová

Počet bodů: 30

Přestože jaro začíná oficiálně až 20. března, některé rostliny začínají rašit mnohem dříve. Zvláště v posledních letech, kdy teploty i v zimě dosahují často dlouhodobě relativně vysokých teplot, můžeme někdy ve městech pozorovat rozkvetlé stromy téměř v jakékoliv části zimy. Přestože máme tendenci spojovat si takovéto anomálie především s probíhající klimatickou změnou, záznamy o podobných klimatických extrémech máme i v prostředí českých zemí z celého minulého tisíciletí. Pojďme se na načasování rašení rostlin v našem okolí podívat podrobněji.

Tomu, kdy se rostliny (i živočichové) „rozhodnou“, že nastal ten správný čas probudit se ze zimního spánku, vyrašit či rozkvést, se věnuje fenologie. Tedy podle definice nauka o časovém průběhu významných životních projevů organismů v závislosti na komplexu podmínek vnějšího prostředí, zejména na počasí a klimatu (Meterologický slovník). A těmi významnými

životními projevy (takzvanými fenologickými fázemi či fenofázemi) může být právě rašení, kvetení, zrání plodů či opadávání listů. V naší úloze se zaměříme na fenologické fáze rostlin.

1. Fenologie se věnuje tomu, kdy je z hlediska rostlin ten „pravý čas“. Ale podle čeho rostliny mohou poznat, že „pravý čas“ nastal? Na jaké prostorové škále se projevují faktory prostředí, které rostliny vyhodnocují (tj. je daný faktor jiný pro různé strany jednoho stromu či v zásadě stejný pro celou republiku)?

V našich zeměpisných šířkách všechny organismy podléhají periodicitě, která je způsobena tvarem a pohyby Země, vzájemnou polohou Země a Slunce a jejich vzdáleností. Především úhel dopadu slunečních paprsků má zásadní vliv na teplotu různých částí Země. Otáčení Země kolem vlastní osy pak způsobuje periodicitu každodenní

Konkrétně potom rostliny reagují především na teplotu vzduchu, množství srážek (nebo vlhkost půdy), intenzitu záření a délku dne. Klíčení semen je výrazně ovlivňováno také rozdíly mezi denní a noční teplotou.

Délka dne je přibližně stejná na celém území naší republiky. Srážky jsou většinou stejné pro jednu lokalitu (a často i větší území), zatímco teplota vzduchu může být dost různá už na místech vzdálených desítky centimetrů. Intenzita slunečního záření se jednak mění podobně pro celou republiku v souvislosti s polohou Země na oběžné dráze okolo Slunce, jednak se projevuje na úrovni stanoviště prostřednictvím jeho polohy a orientace (jižní vs. severní svah). Také může být ovlivněna na nejmenší prostorové škále zastíněním konkrétní rostliny (jinou rostlinou, terénem, skálou).

Fenologické projevy jsou samozřejmě ovlivněny nejen faktory vnějšího prostředí, ale také vlastnostmi samotné rostliny jako jsou její genetické předpoklady, velikost, poměr nadzemní a podzemní biomasy nebo predace semen, které je rostlina vystavena.

2 body

2. Jakými konkrétními mechanismy rostliny tyto faktory prostředí vnímají?

Teplota je zásadním faktorem určujícím fenologické projevy rostlin. S tím, jak přesně rostliny teplo vnímají, je to však složitější. Zdá se, že neexistují žádné specifické sensory teploty a rostlina teplotu vnímá komplexně více různými způsoby. Na vnímání teploty se podílí fluidita cytoplasmatické membrány, modifikace histonů, která mění charakter genové exprese, metylace DNA, degradace proteinů a také modifikace některých proteinů, mezi které patří i dále zmiňované fytochromy.

Vnímání vlhkosti je pro nás představitelné asi nejsnáze. Voda proniká do neizolovaných buněk rostliny (například buněk kořenových vlásků) difuzí a mění koncentraci látek v cytoplasmě (či prostoru buněčných stěn) jakož i turgor (mechanické napětí) buňky. Pro rostlinu tak není těžké míru vlhkosti ve svém bezprostředním okolí vnímat.

Důležitým faktorem prostředí, který fenologické projevy rostlin ovlivňuje, je světlo. A to konkrétně jeho intenzita a také délka dne. Rostliny vnímají světlo pomocí fotoreceptorů, které jsou tvořeny nějakým pigmentem a proteinem, který na absorpci světla pigmentem reaguje změnou konformace. To pak spouští signální kaskádu, která je zodpovědná za reakci rostliny na dané světelné podmínky.

Fotoreceptory rostlin jsou schopny vnímat jak modrou, tak také červenou a dlouhovlnně červenou (*far red*) část světelného spektra. Poměr červeného a dlouhovlnně červeného (*far red*) záření jim umožňuje poznat, jaký je časový poměr dne a noci, nebo třeba to, zda je rostlina zastíněna jinými rostlinami. Vnímání těchto částí spektra je založené na fytochromovém systému – dvou vzájemně reverzibilních typech fytochromů. P_r absorbuje červené světlo a vzápětí se změní v P_{fr} , který je zase schopen absorbovat světlo dlouhovlnně červené (*far red*). Za soumraku převažuje oproti dni dlouhovlnně červené záření (*far red*) a fytochromu se dostanou do stavu v P_{fr} . Ve tmě se pak aktivní forma fytochromu P_{fr} pomalu mění na inaktivní P_r a podle toho, jak je noc dlouhá, takový je ráno poměr P_{fr} a P_r .

Protože změnu P_{fr} na P_r ovlivňuje také teplota, ranní poměr těchto stavů fytochromů může odrážet také teplotní podmínky dané noci a tento fytochromový systém se tak podílí i na vnímání teploty.

Dalšími fotoreceptory jsou fototropiny, kterými rostlina vnímá modrou část světla. Ty se ale na fenologických projevech rostliny nepodílejí tak významně, a proto se jimi zde nebudu podrobněji zabývat.

3 body

3. Co je to suma efektivních teplot? Jak souvisí s načasováním fenologických fází?

Suma efektivních teplot (také GDS – *growing degree summation*) je součet průměrných teplot nad spodním prahem vývoje pro nějakou rostlinu. Sčítat můžeme teploty průměrné pro den či hodinu. Někdy se používá také jednotka GDD (*growing degree day*) nebo GDU (*growing degree unit*). Vždy jde o odečtení teploty spodního prahu vývoje (nejnižší teploty, při které ještě dochází k růstu/vývoji rostliny) od průměrné denní teploty.

Někdy bývá počítání sumy efektivních teplot zjednodušeno na součet všech kladných průměrných denních teplot – je to tak sice méně přesné, můžeme se tak však snažit spočítat potřebnou sumu efektivních teplot pro nastoupení nějaké fenofáze i u rostlin, u kterých neznáme teplotu spodního prahu vývoje.

Pro mnoho rostlinných druhů (především těch hospodářsky významných nebo často pěstovaných) je známa hodnota GDS, které je nutná pro započetí určité fenologické fáze. Prostřednictvím GDS můžeme každému dni přiřadit určitou hodnotu a vyhodnotit tak vliv různě teplých dní pro rychlost nastoupení určité fenofáze.

2 body

4. Proč některé rostliny kvetou dříve, než jim začnou rašit listy? Uveďte příklad.

Kvetení ještě před vyrašením listů může mít několik výhod. Některé rostliny jednoduše cílí na první jarní opylovače. Ne všechny rostliny dokáží kvést brzy na jaře, a tak ty, které to dokáží, využívají toho, že dříve ve vegetační sezóně mají v lákání opylovačů menší konkurenci (a existují samozřejmě i rostliny, které opylovače lákají na to, že kvetou pozdě). Zároveň mohou být květy bez okolních listů (zvláště u stromů) lépe vidět. Bez listů může být případně i úspěšnější „nouzové“ opylování větrem.

I ke kvetení rostliny potřebují dostatek světla. Proto mnohé rostliny využívají toho, že brzy na jaře ještě jejich květy nejsou zastíněny jejich vlastními listy nebo třeba rostlin rostoucích nad nimi. Proto na jaře můžeme nalézt v lese celé kvetoucí koberce tzv. rostlin jarního aspektu, které vykvetou dřív, než je rašící stromy mohou zastínit.

Rostliny také často prostě investují energetické zásoby uložené z předchozí vegetační sezóny nejprve do rozmnožování – vždyť to je to pro ně nejdůležitější.

Příkladem našich dřevin kvetoucích před olistěním mohou být líska, třešeň, vrba, vilín nebo javor. V případě bylin je kvetení před vyrašením listů (nebo jejich rozvinutím) málo časté, mohli bychom je pozorovat třeba u podbělu či devětsilu.

2 body

5. Vyberte si pět stanovišť, na kterých budete provádět fenologické pozorování – sledovat, kdy vámi vybrané rostliny vstoupí do jednotlivých fenofází. Stanoviště vyberte tak, aby pro vás byla dobře dostupná – bude třeba je pozorovat dvakrát týdně. Na stanovišti musí především růst vhodné druhy rostlin. Vyberte si stanoviště tak, aby tam rostly alespoň dva druhy rostlin, které jsou sledované na webovém portálu [Fenologické fáze](#) a zároveň si druhy rostlin vyberte tak, abyste alespoň na třech stanovištích pozorovali stejný druh rostliny. Na každém stanovišti pozorujte alespoň dva druhy rostlin. K pozorování jsou jednodušší dřeviny a zejména stromy, může být však zajímavé pozorovat i některé byliny.

S výběrem stanovišť podle stanovených kritérií nebyl v zaslaných řešeních problém.

Za dodržení pokynů k výběru stanovišť 2 body

6. Vyberte si nejdůležitější faktory prostředí, které podle vás ovlivňují načasování fenofází rostlin na vašich stanovištích. Pro každé stanoviště popište faktory, které se v čase nemění. Zamyslete se, jak by bylo nejvhodnější měřit faktory, které se v čase mění. Podle možností měření můžete samozřejmě také určit polohu stanovišť. Můžete využít data Českého hydrometeorologického ústavu ([www.chmi.cz](#)) či projektu Intersucho ([www.intersucho.cz](#)).

Faktory prostředí, které bylo vhodné sledovat, byly například orientace směrem k slunci, vlhkost stanoviště, charakter podkladu (z faktorů, které se v čase příliš nemění) a teplota a množství srážek, případně aktuální vlhkost půdy (z faktorů, které se v čase mění). Data o proměnlivých faktorech bylo možné získat z uvedených webů nebo třeba nějakých menších meteorologických stanic a stanovišť (školních, soukromých), případně využít přímé měření v terénu. Výbornou pomůckou pro takovéto sledování jsou záznamové teplotní sondy, které dokáží zaznamenávat teplotu i každých 5 min po dobu mnoha týdnů. Takové sondy jsou však dost drahé a jejich využití v úloze nebylo předpokládáno.

Za vhodný výběr faktorů, jejich popis a měření/získání dat 5 bodů

7. Stanoviště pravidelně navštěvujte dvakrát týdně po dobu čtyř týdnů. Zaznamenávejte fenofáze podle popisů uvedených na portálu [Fenologické fáze](#). Období před rašením pupenů označte jako dormanci. Je vhodné si pozorované jedince rostlin označit – například barevným provázkem/bavlnkou.

Za pravidelnou návštěvu stanovišť a zaznamenávání fenofází 7 bodů

8. Svoje pozorování vhodně zdokumentujte. Popište vybraná stanoviště, jejich polohu a zjištěné faktory prostředí, které průběh fenofází podle vás ovlivňují. Popis stanovišť je vhodné doplnit fotografiemi. Pozorování časového průběhu fenofází zaznamenejte do tabulky.

Přehledné zaznamenání dat do tabulky v ideálním případě umožní i srovnání jednotlivých stanovišť mezi sebou. Vymyslet způsob, jak data pomocí tabulky zobrazit opravdu přehledně není jednoduché, ale pro interpretaci dat je nějaké grafické znázornění nezbytné.

Za dokumentaci a popis stanovišť 2 body

9. Podařilo se vám vybrat vhodné faktory prostředí, podle kterých rostliny poznají, „že už je čas“? Pokuste se pomocí sledovaných faktorů vysvětlit rozdíly mezi stanovišti (a především mezi stejným druhem rostliny na více stanovištích). Jaké rozdíly jsou mezi průběhem fenofází u různých druhů rostlin? Průběh vámi zaznamenaných fenofází také můžete porovnat s výsledky z jiných částí republiky dostupných na webovém portálu [Fenologické fáze](#).

Diskuze byla asi nejobtížnější částí protokolu, nicméně autorky zaslaných řešení se s ní vypořádaly dobře. Podle závěrů Magdaleny Ambrozkové i Bětky Nevoralové byla zásadním faktorem ovlivňujícím nástup pozorovaných fenofází míra osvit, tedy to, nakolik byly pozorované stromy zastíněné okolní vegetací či terénem.

Za diskusi 5 bodů

Úloha 5 (seriálová): Dixitque physicus, fiat lux et facta est lux

Autor: Václav Bočan

Počet bodů: 28

1. Rozepište zkratku plnými slovy.

Green Fluorescent protein.

1 bod

2. Viditelné světlo tvoří pouze nepatrnou část celého elektromagnetického spektra. Přesto je naprosto zásadní pro mnoho i zcela nepříbuzných skupin organismů (savci, hmyz, zelené rostliny...). Zamyslete se, proč zrovna tento malíčký výsek prakticky nekonečného spektra má tak velikou relevanci v biosféře na Zemi.

Obecně a jednoduše je dolní hranice (fialová, kolem 400 nm) dána stabilitou vazeb v molekulách – UV už dokáže ionizovat molekuly a ničit vazby. Navíc je silně pohlcováno v atmosféře ozonem.

Na druhém konci je příčinou zřejmě příliš nízká energie záření, kvůli které lze infračervené světlo obtížněji zachytit. V biosféře však relevanci má (termosenzory hadů, například). Vlnové délky nad 1 μm jsou rovněž pohlceny atmosférou.

Energie fotonů viditelného světla zhruba odpovídá energii kovalentní vazby v organických látkách. Nízká energie infračerveného záření s vazbami nic zajímavého neudělá, vysoká energie UV záření je rovnou ničící. Viditelné světlo je ale může různě rozkmitávat a užitečně ovlivňovat, což je pro organismy zajímavé.

*Až 2,5 body, podle relevance, realističnosti spekulace a nápaditosti***3. „Viditelné“ světlo je poněkud zavádějící označení. Co tu může být za problémy? Doložte na příkladech.**

Tato otázka trochu souvisí s předchozí. „Viditelné“ je uměle definováno lidmi na základě senzorických schopností lidského oka, které je ale pouze jedním z mnoha různých světločivných orgánů v biosféře. Například savci je citlivost vidění k vlnovým délkám zhruba podobná (asi 400–700 nm). V dalších taxonech (všemožní bezobratlí a ostatní v eukaryotech) už ale najdeme řadu výjimek. Známým příkladem je třeba schopnost opylovačů vidět UV světlo. Květy hmyzosnubných rostlin mají často v UV zcela jinou podobu, než jak se jeví nám.

Relativnost toho, co je viditelné, si také dobře uvědomíme, když vzpomeneme na daltoniky. Lidé s vadným barvocitem mohou být například nevnímaví vůči zelené barvě. Problémů s barevným viděním je celá řada, přehled najdete třeba zde: https://en.wikipedia.org/wiki/Color_blindness. Kromě poruch existuje ještě přirozená variabilita v citlivosti k různým barvám, žádní dva lidé tedy nevidí přesně to samé.

Kromě zrakových orgánů existují i jiné receptory, které pracují s elektromagnetickým zářením. Už zmiňované termosenzory hadů jsou dobrým příkladem – skrze ně hadi vnímají infračervené vlnové délky, vyzařované teplým tělem kořisti. Podobnou (ale daleko méně přesnou) službu odvádí i naše termosenzory v pokožce. I pokud máme zavřené oči, poznáme, že slunce vyšlo zpoza mraků. Technicky vzato však jde o termoreceptci založenou na ohřátí tkáně, nikoli přímé vnímání infračerveného světla.

*Celkem 3 b.**Alespoň dva distinktní problémy s „viditelným“ světlem spolu s příklady 3 b.**Jeden problém 1,5 b.**Bez příkladu 1 b.***4. Jaký termín označuje „vzdálenost“ (rozdíl ve vlnové délce) mezi absorbovaným a vyzářeným paprskem?**

Stokesův posun.

1 b.

5. K čemu hlavně je medúze fluorescence dobrá?

Na obranu před predátory (zmatení při útoku).

<https://faculty.washington.edu/cemills/Aequorea.html>https://www.reed.edu/biology/professors/srenn/pages/teaching/web_2010/mi_site/Adaptivevalue.html

1 b.

6. Jaký je váš názor na etiku experimentů Osama Shimomury? Povolili byste takový experiment i v současné době? Proč ano/ne?*Až 1,5 b. podle realističnosti, relevance a argumentace***7. Co a proč se stane, když vyizolovaný čistý protein aequorin polejeme****a. mořskou vodou,**

Modře zableskne. Protein aequorin váže organickou molekulu zvanou kolenterazin. Pokud se komplex aequorin-kolenterazin potká s iontem vápníku (v mořské vodě je ho fůra), kolenterazin se zoxiduje na kolenteramid a oxid uhlíči-

tý. Kolenteramid je po oxidaci v excitovaném stavu – přebytečnou energii vyzařuje v podobě modrého fotonu. Aby došlo k další luminiscenci, musí se kolenteramid přeměnit zpět na kolenterazin (na to je potřeba několik enzymů a ATP).

Celkem 1,5 b.

Nebude-li patrné, že jde o jednorázový záblesk, mínus 0,5 b.

Musí být zmíněn vápník, jinak mínus 1 b.

Bez zmínky o kolenterazinu nebo oxidaci mínus 0,5 b.

b. destilovanou vodou?

Nic. Viz 7.a (destilka neobsahuje vápník).

Nic + zmínka vápníku 1,5 b.

Bez vápníku 0,5 b.

8. Aequorin a GFP jsou v tělech *Aequorea victoria* funkčně velmi těsně spjaté.

a. Stručně vysvětlíte souvislost funkce GFP a aequorinu.

Aequorin dokáže produkovat modré světlo (viz 7.a). Emisní spektrum aequorinu se překrývá s absorpčním spektrem GFP. Proto může docházet k tzv. Föersterově rezonančnímu přenosu energie (FRET). Zjednodušeně řečeno, pokud je molekula GFP dostatečně blízko molekule aequorinu, nebude aequorin sám vydávat žádné světlo, ale energii předá molekule GFP a ta posléze bude svítit. Přenos nefunguje na velké vzdálenosti (max. ~10 nm) a pokud nejsou emisní spektrum donoru energie a excitační spektrum akceptoru v překryvu. Dochází-li k FRET, bude medúza svítit zeleně (podle emisního spektra GFP).

Celkem 3 b.

Bez zmínky FRET mínus 1 b.

Bez vysvětlení předání energie mínus 1,5 b.

Bez popisu barev mínus 1 b.

b. Popište teoretický vzhled medúzy, která kvůli mutaci neprodukuje GFP.

Bude pouze svítit modře (tak, jak odpovídá emisnímu spektru aequorinu).

1 b.

c. Popište teoretický vzhled medúzy, která kvůli mutaci neprodukuje aequorin.

Nebude svítit. GFP musí být excitováno silným světlem. Takové intenzity světla nejsou ani na souši, natož pod hladinou moře.

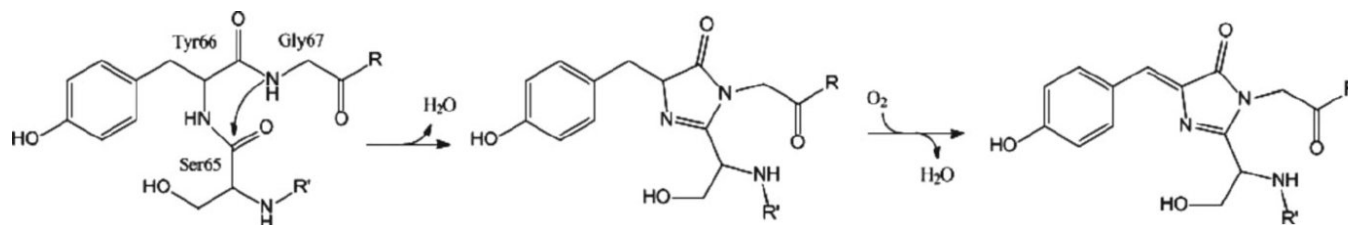
1 b.



Obr. 9: Zelená bioluminiscence GFP v *A. victoria*. GFP svítí pouze po obvodu klobouku. Zbytek medúzy není modrý kvůli aequorinu, ale kvůli odleskům světla + umělému dobarvení. (<https://joanemartin.com/2017/05/07/bioluminescence-1-hydrimedusa-jellyfish/>)

9. Najděte a přiložte obrázek chromoforu v GFP (napište zdroj). Jak tato chemická struktura vzniká a co je k tomu potřeba?

GFP, na rozdíl od mnoha jiných luminiscentních a fluorescenčních molekul, nepotřebuje žádný externí chromofor. Dokáže si jej vyrobit samo – po vytvoření proteinu a jeho složení do správné podoby dojde autokatalyticky k chemické reakci mezi třemi aminokyselinami uvnitř proteinu. Nově vytvořené vazby dají vzniknout skupině, která má fluorescenční vlastnosti. K vytvoření chromoforu je potřeba molekulární kyslík (oxiduje tyrosin 66) a čas, nic jiného.



Obr. 10: Chromofor v GFP. (https://www.researchgate.net/profile/Mark_Cannon2/publication/24147546/figure/fig1/

AS:310179708063744@1450964013186/Reaction-mechanism-for-the-autocatalytic-formation-of-the-GFP-chromophore-from-three.png)

Celkem 2,5 b.

Za správný obrázek 1 b. (bez zdroje 0,5 b.)

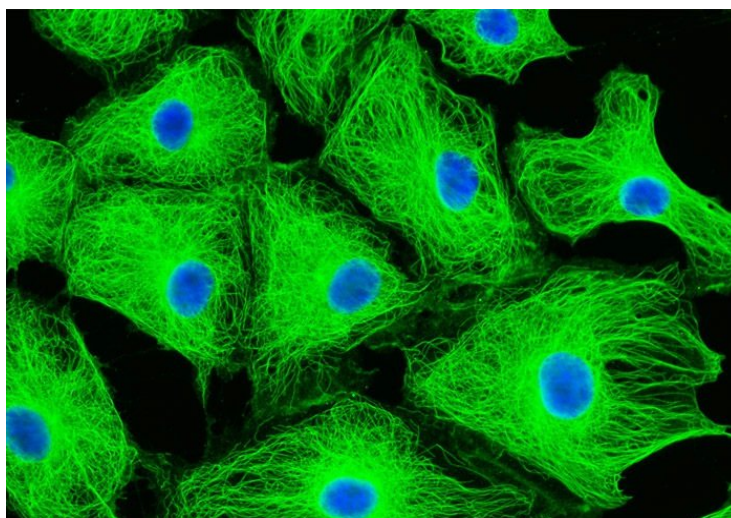
Bez zmínky autokatalýzy mínus 0,5 b.

Bez zmínky O₂ minus 1 b.

10. Rozhodli jste se zkoumat protein α -tubulin. Připravili jste plazmid, podle kterého budou vaše buňky vyrábět fúzní protein α -tubulin–GFP. Své vzorky jste zároveň obarvili fluorescenční barvou DAPI. Schematicky (ale barevně správně) nakreslete, jak budou vypadat vaše buňky ve fluorescenčním mikroskopu

a. v G1 fázi buněčného cyklu,

Nějak takto (podle učebnicových schémát). Mikrotubuly tvoří dlouhá vlákna spojená do sítě, nejsou v jádře (ale vedou nad a pod). DAPI je excitována fialovým světlem a svítí modře. Váže se na DNA, proto označila jádra.



Obr. 11: Mikrotubuly v G1 fázi. (<https://www.microscopyu.com/gallery-images/male-rat-kangaroo-kidney-epithelial-cells-ptk2-line-6>)

celkem 2 b.

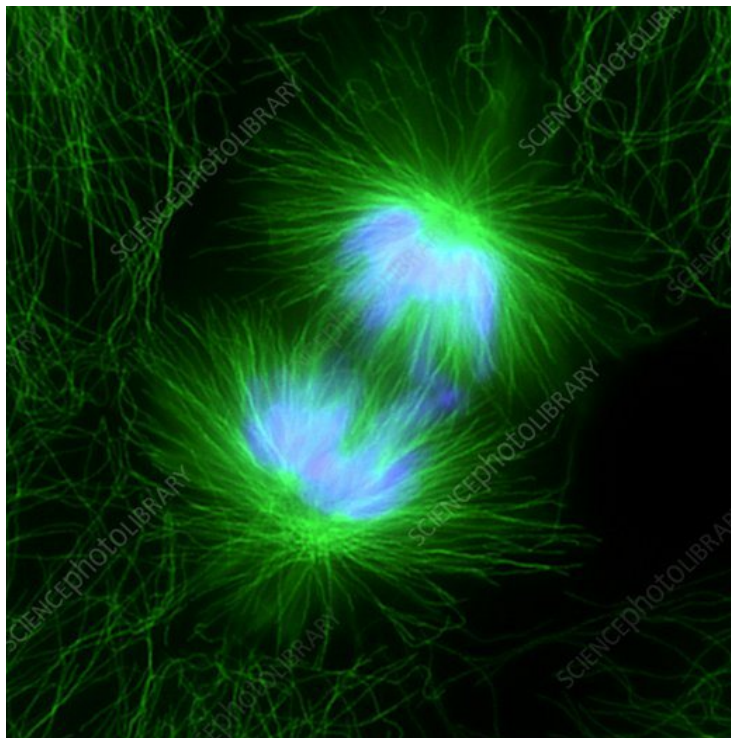
Za tvar mikrotubulární sítě 1 b.

Za obarvení jádra 0,5 b.

Za správně zvolené barvy 0,5 b.

b. v anafázi buněčného cyklu.

Vidíme krásné dělicí vřeténko s navázanými chromozomy.



Obr. 12: Mikrotubuly v anafázi (<https://media.sciencephoto.com/image/c0103482/800wm>)

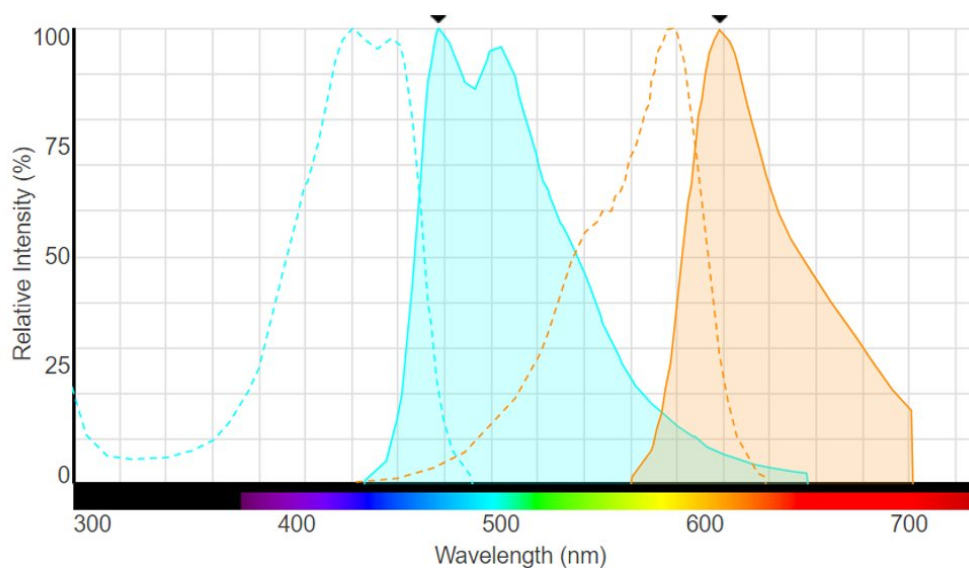
Celkem 1,5 b.

Za tvar dělicího vřeténka 1 b.

Za tvar chromozomů 0,5 b.

11. Určete, kterým proteinům patří oba páry excitačních a emisních spekter na obr. 13.

Tyrkysová spektra patří (E)CFP ((enhanced) cyan fluorescent protein, emisní maximum v 475 nm), oranžová náleží proteinu mCherry (emisní maximum v 609 nm).



Obr. 13: Excitační a emisní spektra proteinů (E)CFP a mCherry (<https://www.thermofisher.com/us/en/home/life-science/cell-analysis/labeling-chemistry/fluorescence-spectraviewer.html>)

2 b.

Jeden fluorofor za 0,5 b.

Záměna mCherry za spektrálně podobné proteiny minus 0,5 b.

12. Proč není dobrý nápad označit jeden vzorek zároveň proteiny Tangerine a Tomato? K jakému nežádoucímu jevu může dojít? Uveďte termín, kterým se označuje, a vysvětlete. Náповěda: Podívejte se na vlnové délky.

Tyto proteiny mají velmi podobná emisní i excitační spektra. Pokud tedy budeme chtít excitovat Tangerine, zároveň se nám bude excitovat Tomato. Nebudeme tak moci rozlišit, od kterého reportéru signál pochází. Tento nežádoucí jev se nazývá prosvit (crosstalk).

Celkem 2 b.

Za prosvit/crosstalk 1 b.

Za vysvětlení 1 b.

