

Biologický korespondenční seminář



Biozvěst

Ročník 6

Série 1 – řešení

Milé řešitelky, milí řešitelé,

snad Vás úlohy šesté série korespondenčního semináře Biozvěst bavily tak jako nás. Doufáme, že pocity z dobře vyřešené úlohy překonají chvílky bezradnosti nad (pouze zdánlivě) neřešitelnými úkoly. Jak moc jste se shodli s autory si můžete ověřit na následujících řádcích.

Přejeme poučné čtení!
Standa a Vašek

Úloha 1: Život v půdě

Autor: Jasna Simonová

Počet bodů: 18

Věnováno památce prof. Smrže.

Půda je prostředím, které je nám lidem poněkud skryté. Pod povrch půdy nevidíme a organismy, které tam žijí, jsou často velmi malé (už třeba takové žížaly řadíme k půdní megafauně). Mnoho důležitých půdních organismů také na první pohled nevypadá příliš zajímavě, jako třeba kořeny rostlin či hyfy hub. Navíc zde velkou roli hrají různé dlouhotrvající chemické procesy, které mohou být těžko představitelné. Na půdě však závisí (téměř) veškerý nadzemní život. Pojďme se tedy podívat pod její povrch.

1. Nejhlouběji pod povrch půdy vidíme většinou na místech, kde někdo vyhloubil velkou díru – tedy tam, kde právě probíhají stavební práce, na okraji nějakého lomu či v místě, kdy řeka eroduje okolní nivu. V odkrytém půdním profilu můžeme rozeznat rozdílné vrstvy, půdní horizonty. Každý je charakteristický svým vzhledem a procesy, které v něm probíhají. Organismy jsou nejvíce činné ve svrchních horizontech, které obsahují hodně organické hmoty (především zbytků mrtvých těl rostlin, hub a živočichů). Na rozkladu této organické hmoty a její mineralizaci se podílejí různí rozkladači (saprotrofové), jejichž složení je v různých typech půd velmi rozdílné.

a. Jaké půdní rozkladače byste našli v jehličnatém lese někde na Šumavě a jaké v tvrdém luhu ve středních Čechách? Popište na úrovni skupin jako jsou třeba bakterie, houby, chvostokoci, žížaly...

Kyselé prostředí jehličnatého lesa nevyhovuje žížalám a rychle rostoucím bakteriím. Proto zde budou dominantní skupinou rozkladačů především houby. Najdeme tu také drobné členovce, jako jsou roztoči a chvostokoci. Samozřejmě se zde vyskytují i zástupci ostatních skupin rozkladačů (nějaké bakterie najdeme všude; i v kyselém prostředí by se mohlo vyskytovat několik málo druhů acidotolerantních epigeických žížal), ale jejich význam bude relativně menší.

V tvrdém luhu ve středních Čechách můžeme očekávat živinami bohaté a relativně vlhké prostředí, ve kterém se bude dobře dařit žížalám a bakteriím. Nalezneme zde také více různých rozkladačů z řad členovců.

b. Jak nazýváme typy humusu, které jsou pro tato prostředí typické?

Podle stupně rozkladu organické hmoty (vyvinutosti) se humus dělí do různých typů. Opad jehličnatých stromů je těžko rozložitelný, činnost rozkladačů je také ztížená kyselým a chladným prostředím, a proto je zde rozklad hodně pomalý. Charakteristická je vrstva humusové drti s propletení kořenů a houbových hyf. Tento typ málo vyvinutého humusu nazýváme **mor**.

Naopak v luhu ve středních Čechách rozkladu napomáhá vysoký obsah živin i příznivé klimatické podmínky. Vysoká aktivita půdních organismů, především žížal, má za následek dobré promíchávání jednotlivých vrstev. V půdě je hodně exkrementů půdních živočichů. Tento typ humusu nazýváme **mul**.

Přechodným typem humusu je **moder**, na jehož tvorbě se poměrně hojně podílejí členovci, žížaly zde nicméně najdeme pouze ojedinelé.

c. Typ humusu do značné míry souvisí s tím, které organismy jej vytvářejí (produkty metabolismu a vlastního rozkladu těl zmíněných skupin organismů se liší konzistencí, obsahem látek i třeba kyselostí). Které faktory prostředí určují, jaký na daném místě vznikne humus (a spolu s tím i kteří rozkladači zde budou působit především)?

Jsou to především typ horninového podkladu a klima (vlhkost, teplota a jejich průběh během roku). Tyto faktory společně určují jak typ porostu, tak i průběh rozkladu.

*celkem 3 body
za každou podotázku 1b*

2. V první otázce jsme se už dotkli faktorů ovlivňujících to, jak bude půda na konkrétním místě vypadat. Proces pedogeneze, neboli tvorby půd, je velmi komplexní a dochází zde ke vzájemným interakcím půdy a nadzemní části biosféry,

kteřé jsou společně ovlivňovány klimatem a podloží. Důležitou součástí svrchní části půdy je organická hmota. Její část se v půdě mineralizuje na jednoduché produkty, jako jsou třeba oxid uhličitý, amoniak nebo sodík. V půdě však najdeme také chemicky stabilnější a složitější organické sloučeniny, které nevznikají pouze přímým rozkladem organické hmoty, ale i syntézou produktů tohoto rozkladu. Tyto tzv. humifikované organické látky mají důležitou roli v půdotvorných procesech – dokáží dobře vázat živiny, umožňují jejich migraci mezi různými půdními horizonty a ovlivňují také strukturu půdy. Mezi humifikované organické látky bývají řazeny huminové kyseliny, fulvokyseliny, huminy a huminové uhlí. Huminy a huminové uhlí se vyznačují především nerozpustností, někteří autoři je chápou jako huminové kyseliny pevně vázané na minerální částice v půdě.

a. Čím se chemicky liší huminové kyseliny a fulvokyseliny?

Huminové kyseliny jsou vzhledem k fulvokyselinám hůře rozpustné (především v kyselém prostředí) a méně snadno proto procházejí půdním prostředím. Mají velké aromatické jádro, které je hydrofobní. Oproti fulvokyselinám mají více uhlíku a méně kyslíku a tmavší barvu (hnědou až černou).

Fulvokyseliny mají menší molekulovou hmotnost a ve vodě se rozpouští dobře. (Horské toky zbarvují do žluto-hněda právě fulvokyseliny.) Aromatické jádro je málo vyvinuté, výraznější je hydrofilní periferní část tvořená dlouhými lineárními řetězci. Ve srovnání s huminovými kyselinami mají méně uhlíku a více kyslíku. Jejich barva je žlutavá.

Rozšiřující informace:

Huminové kyseliny interagují s různými dalšími prvky, a tak ovlivňují „mechanické vlastnosti půd“, jako například soudržnost či drobitost. Také na sebe váží některé těžké kovy a tím omezují jejich pohyb v půdě i příjem rostlinami. Spojují se s jílovými minerály, čímž se vytvářejí velké částice schopné vázat různé ionty. Všechny tyto vlastnosti mají na charakter půdy velký vliv.

Fulvokyseliny naopak s mnoha prvky (vápníkem, hořčíkem, některými kovy) vytvářejí rozpustné komplexy a tím v půdě zvyšují jejich pohyblivost. To je významné například v procesech podzolizace – vyplavování minerálních látek (zejména železa a hliníku) do spodních vrstev půdy. K tomu dochází v místech s kyselým humusem a pomalým rozkladem organických látek, nejintenzivněji v smrkových a borových lesích na kyselém podkladě.

Někteří z vás psali, že huminové kyseliny jsou nerozpustné ve vodě s pH 2 a nižší (tedy velmi kyselé). Informace o rozpustnosti v závislosti na pH se mezi jednotlivými zdroji dost liší. Je asi dobré si uvědomit, že u takto komplexních sloučenin při zvyšování pH stoupá podíl rozpustitelné frakce relativně pomalu. Podrobnější informace viz například článek A. Baglieri (2014) *Chemical and spectroscopic characterization of insoluble and soluble humic acid fractions at different pH values*.

b. Z kterého typu opadu vznikají?

Oba typy látek vznikají v určité míře z jakéhokoli rostlinného opadu, nicméně fulvokyseliny převažují u těžko rozložitelného opadu (například jehličnanů, vřesovcovitých) a v podmínkách pro rozklad nepříznivých. Huminové kyseliny naopak převládají u opadu z listnatých stromů a travin.

celkem 2 body

za každou podotázku 1 bod

3. Když se podíváme na zem třeba ve smíšeném lese, dobře uvidíme, že rychlosti rozkladu různého rostlinného materiálu se velmi liší – jinak rychle se rozkládá dřevo a jinak jehličí či listí, velké rozdíly jsou i mezi stejným materiálem z různých druhů stromů. Proč trvá tak dlouho, než se z dřeva stane půda? Samotné dřevo obsahuje pektiny, hemicelulózu a celulózu, které jsou rozložitelné snadněji, a lignin, který rozkladu odolává lépe. Zejména pak jádrové dřevo, tvořené už mrtvými buňkami, je plné látek, které jsou pro potenciální rozkladače toxické a které tak rozkladu dřeva mají bránit – patří mezi ně například různé terpeny, fenoly a alkaloidy. Primárními rozkladači dřeva jsou houby, spousta druhů hub si však dokáže poradit jen s některými složkami dřeva. Podle toho, jaké složky dřeva dovedou houby rozložit, v jakém prostředí rozklad probíhá a jak napadené dřevo vypadá, dělíme dřevokazné houby do tří ekologických skupin.

a. Vyjmenujte tyto skupiny, popište, čím se liší a ke každé vypište alespoň dva zástupce. Přidejte i jejich obrázek (nezapomeňte uvést zdroj).

Dělení podle zmíněných charakteristik (rozkládaných složek dřeva, prostředí rozkladu a vzhledu napadeného dřeva) je poměrně jednoznačné – na houby bílé, hnědé (popř. červené) a měkké hniloby. Přestože možností dělení dřevokazných hub je samozřejmě více, zadání odpovídalo (pokud je mi známo) pouze toto dělení.

Houby bílé hniloby (*white rot fungi*) – mají nejsilnější enzymatickou výbavu, rozkládají celulózu, hemicelulózu i lignin, dřevo bělá a získává vláknitou strukturu. Patří mezi ně především houby stopkovýtrusné, například hlíva ústříčná (*Stereum ostreatum*), troudnatec kopytovitý (*Fomes fomentarius*), choroš šupinatý (*Polyporus squamosus*), kůrovka (*Phanerochaete chrysosporium*), václavky (*Armillaria* spp.) či ohňovec ohraničený (*Phellinus nigrolimitatus*). Z vřetkovýtrusných hub bílou hnilobu způsobují například zástupci rodu dřevnatka (*Xylaria* spp.).

Houby hnědé hniloby (*brown rot fungi*) – rozkládají celulózu a hemicelulózu, lignin ale pouze zanedbatelně. Poškozené dřevo má hnědou barvu a kostkovitou odlučnost. Do této skupiny patří pouze asi 10 % stopkovýtrusých dřevokazných hub, například troudnatec pásovaný (*Fomitopsis pinicola*), sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*), březovník obecný (*Piptoporus betulinus*) či nebezpečná dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*), která napadá i vyschlé dřevo a může tak působit značné škody v budovách. Někdy bývají zvláště vydělovány ještě houby **červené hniloby**.

Houby měkké hniloby (*soft rot fungi*) – rozkládají celulózu a hemicelulózu, u ligninu pouze odštěpují postranní řetězce. Patří mezi houby napadající dřevo jako první, najdeme je především na velmi vlhkém dřevě, dokáží však napadat i ošetřené dřevěné součásti staveb. Napadené dřevo se také láme v kostičkách. Patří sem především houby vřeckovýtrusné, například sazovka kruhatá (*Daldinia concentrica*), dřevnatka mnohotvárná (*Xylaria polymorpha*), dřevomor kořenový (*Kretzschmaria deusta*), houby rodu *Acremonium*, *Phialophora* či chlupatec (*Chaetomium* spp.).

Rozšiřující informace:

Zajímavým druhem je slizečka porcelánovitá (*Oudemansiella mucida*). Tento druh je jediným zástupcem stopkovýtrusných hub způsobujících měkkou hnilobu. Zároveň má i charakteristiky hub bílé hniloby. To se může vzhledem k výše uvedeným definicím zdát zvláštní – buď houba dokáže rozkládat lignin, nebo ne. Uvedené skupiny hub se však mezi sebou liší také způsobem, jakým do dřeva pronikají. Pro měkkou hnilobu jsou charakteristické dva způsoby napadání buněčných stěn. Při prvním jsou hyfami v sekundární buněčné stěně podél celulózových vláken vytvářeny charakteristické dutinky, zatímco při druhém způsobu se buněčná stěna ztenčuje (k čemuž dochází také u bílé hniloby). V jedné buňce dřevní hmoty mohou být použity oba typy napadení. Jakmile se hyfy dostanou dovnitř buněčné stěny, jsou chráněny před toxickými impregnačními látkami, které se nacházejí uvnitř buněk (a mohou být původu jak přírodního, tak umělého – to při chemickém ošetření dřeva). Oproti bílé hnilobě ale houby měkké hniloby nikdy nerozkládají oblast střední lamely.

Základní charakteristikou hub bílé hniloby je jejich unikátní schopnost plně rozložit (mineralizovat) lignin. Lignin je oxidován pomocí volných radikálů a peroxidu vodíku. Na tomto náročném procesu se podílejí především enzymy Mn-peroxidáza, lignin peroxidáza a lakáza.

Houby hnědé hniloby jsou méně běžné a z předků používajících k rozkladu dřeva bílou hnilobu vznikly několikrát nezávisle na sobě. Ztratily lignolytické enzymy a mnohé enzymy rozkládající celulózu. Způsob rozkladu celulózy a hemicelulózy, který tyto enzymy nahradil, je však naprosto unikátní – houby hnědé hniloby na to totiž nevyužívají enzymy, ale hydroxylové radikály. Peroxid vodíku, z kterého se tyto radikály uvolňují při reakci s Fe^{2+} (Fentonova reakce), díky své malé molekulové velikosti buněčnou stěnou dobře proniká. Rozklad zmíněných složek dřeva je tedy možný i dále od samotného povrchu hyf (na rozdíl od hub bílé hniloby, jejichž enzymy jsou velké a buněčnou stěnou neproniknou). Tento způsob rozkladu lignocelulózy je velmi efektivní a umožnil tak těmto houbám při degradaci dřeva jehličnanů nahradit do značné míry houby bílé hniloby. (Podrobnější informace o tomto typu rozkladu naleznete například v článku *Lignocellulose degradation mechanisms across the Tree of Life*, Cragg et al. 2015; na obrázku 2d a v kapitole věnované houbám.) Studie Riley et al. z roku 2014 snažící se identifikovat houby měkké a hnědé hniloby na základě genomických dat ukazuje nicméně na to, že zařazení některých druhů do výše uvedených skupin není jednoznačné – například mohou postrádat enzymy degradující lignin a zároveň celulózu degradovat stejným způsobem jako houby bílé hniloby. Zdá se tedy, že i v tomto případě jde spíše o plynulé kontinuum, než o ostře vymezené skupiny.

b. V kterých částech rostlinných buněk se zmiňované složky dřeva nacházejí?

Pektiny bychom našli především v primární buněčné stěně, dále jsou hlavní složkou střední lamely. **Celulóza** je základní složkou primární buněčné stěny, jednotlivá celulózová vlákna jsou propojena **hemicelulózovými** jednotkami. **Lignin** najdeme především v sekundární buněčné stěně.

c. Proč je lignin rozložitelný tak těžko (vzhledem k ostatním zmiňovaným složkám dřeva)? Popište, s jakými chemickými záludnostmi se jeho rozkladači musejí potýkat.

Lignin má poměrně složitou strukturu, jeho základní složkou jsou tři různé fenylypropanoidy, tzv. prekurzory ligninu. (Říká se jim také „skořicové alkoholy“ a jedná se o p-kumarylalkohol, koniferylalkohol a sinapylalkohol. Jejich zastoupení je různé u dřeva jehličnanů a listnáčů.) Skořicové alkoholy jsou mezi sebou vzájemně propojené etherovými vazbami nebo vazbami přes dva uhlíky. Protože se mezi sebou propojují náhodně a tvoří tak nepravidelnou trojrozměrnou strukturu, enzymy nemohou efektivně cílit na jedno konkrétní místo jako u jednoduchých polymerů (jako například celulózy).

celkem 2 body

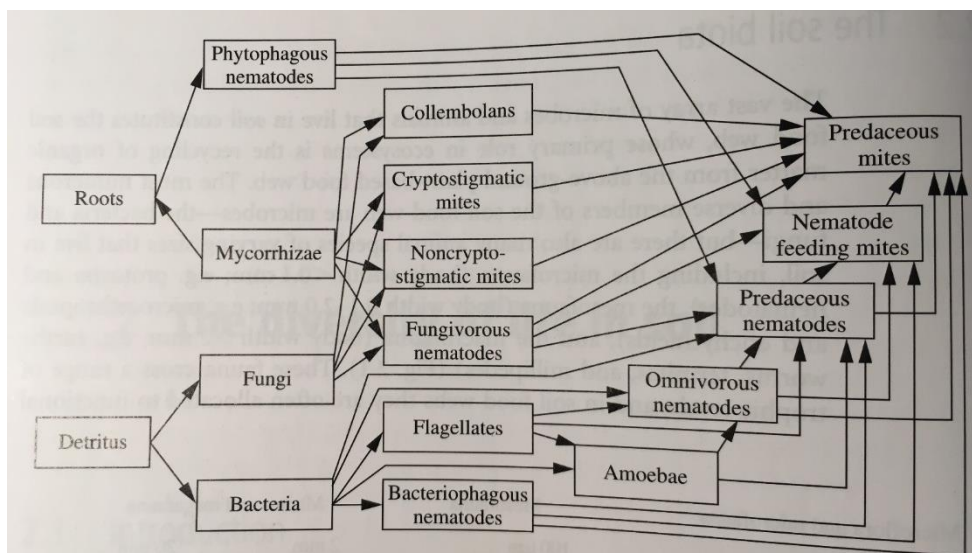
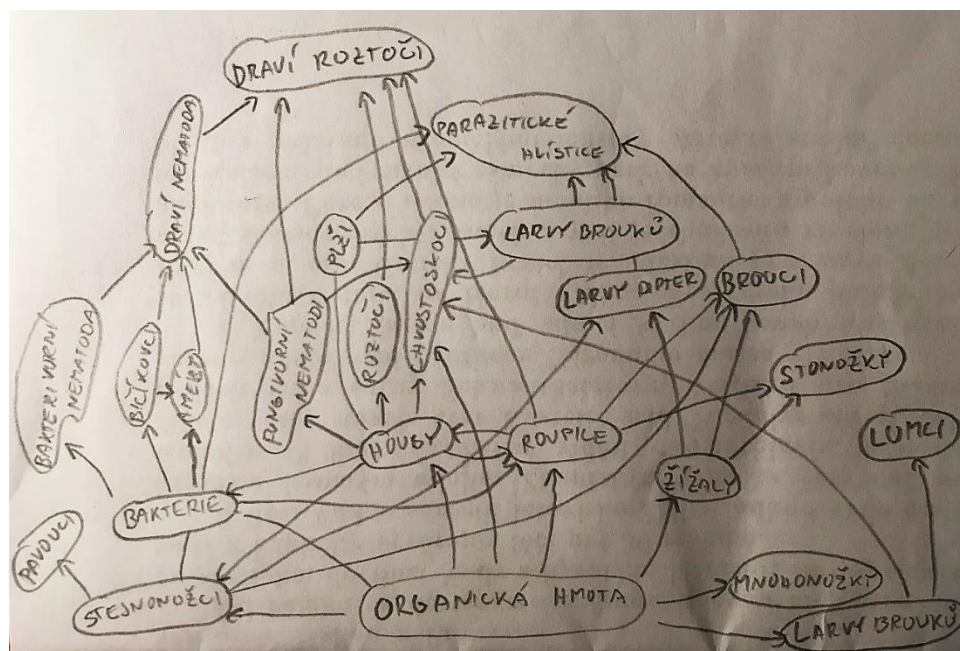
za každou podotázku 1 bod

4. Houbové hyfy prorůstající dřevní hmotu usnadňují také přístup ostatním organismům, které dřevo postupně kolonizují. Mezi ně patří jak ty nejmenší, bakterie, tak také větší organismy, jako jsou třeba hlísti, roztoči, stejnonožci, mnohonožky, chvostokoci, larvy brouků, žížaly, rousnice a plži. Mezi kolonizátory rozkládajícího se dřeva najdeme také predátory a parazity, vzájemné vztahy všech obyvatel tu tedy mohou být velmi složité. Představte si pěkný rozkládající se kmen (nespecifikovaného druhu stromu) v nížinném vlhkém a živinami bohatém lese, na kterém žijí výše uvedené organismy, a pokuste se sestavit jejich potravní síť. Nezapomeňte, že organismy z jedné skupiny se často nacházejí na různých tzv. trofických úrovních (patrech potravní pyramidy) – například někteří roztoči se živí

houbami, někteří bakteriemi, jiní hlísty, jiní třeba dravými chvostoskoky, kteří se živí hlísty. Stačí, pokud v potravní síti uvedete ekologické skupiny vyšších taxonomických jednotek (např. hlísti živící se houbami), musíte si však být jistí, že taková skupina opravdu existuje. Za konkrétnější uvedení organismů v potravní síti (rody nebo druhy) můžete dostat bonusové body. Pokud budete chtít, do potravní sítě můžete přidat i další vhodné organismy. Šipka v potravní síti vždy ukazuje tím směrem, kterým se přesouvá energie (tedy od kořisti k predátorovi, od hostitele k parazitovi). Nezapomeňte uvést zdroje informací, ze kterých jste při sestavování sítě čerpali.

Plným počtem bodů byly hodnoceno správné sestavení schématu (směr a smysluplnost šipek) a uvedení zdrojů, ze kterých jste čerpali. Níže uvádím dva příklady (obr. 1 a 2) jednodušších sítí (jeden převzatý z literatury – Bardgett 2005, *The Biology of Soil*) bez uvedení konkrétního rodu zástupců jednotlivých skupin. V síti jsou také uvedeni pouze predátoři a parazité, nikoliv rozkladači – výjimkou je počáteční vztah rozkladačů k odumřelé dřevní hmotě. Je patrné, že vyjádření všech vztahů jednoduchým schématem je obtížné.

2 body

Obr. 1: Trofická síť skupin půdních organismů. (Bardgett 2005, *The Biology of Soil*)

Obr. 2: Jiný příklad trofické sítě půdních skupin organismů.

5. Jedněmi z nejznámějších půdních živočichů vůbec jsou žížaly. Setkali jsme se s nimi už na naší rozkládající se kládě, kde se chovají tak, jak bychom to spíše nečekali – nevrtají v půdě, ale prolézají pod kůrou a skrz samotné dřevo. Po nich zůstává v chodbičkách velké množství trusu (zvaného také trusinky), které už mají půdě hodně blízko. Tyto tzv. pozemní žížaly, které žijí v organické hmotě na povrchu půdy jsou často krátkověké a lidé je přímo využívají například při kompostování. Jak se od nich liší tzv. endogeické a anektické žížaly? Jmenujte příklad nějakého druhu pro obě skupiny.

Endogeické i anektické žížaly žijí na rozdíl od pozemních (epigeických) žížal v půdě. **Endogeické žížaly** si budují horizontální chodbičky ve svrchní vrstvě půdy (horních cca 20–40 cm), které mohou používat opakovaně. Oproti epigeickým žížalám jsou mnohem citlivější na půdní pH. Jedná se o K-stratégy, na rozdíl od epigeických r-strategů sází při reprodukci tedy spíše na menší počet lépe vybavených potomků. Patří mezi ně například žížala zelenavá (*Allolobophora chlorotica*), žížala temná (*Apporectodea caliginosa*), žížaly *Apporectodea rosea*, *Octolasion cyaneum* či vlhkomilný druh *Octodrilus argoviensis*.

Anektické žížaly si budují trvalé vertikální chodbičky i několik metrů hluboké. Potravu však hledají především na povrchu, v okolí nory, rostlinný opad pak zatahují pod zem. Na povrchu půdy také zůstává jejich trus. Žížaly této skupiny mohou být opravdu velké a dožít se třeba pěti let. Z hlediska rozmnožovací strategie tvoří přechod mezi oběma předchozími typy. Patří sem naše nejznámější žížala obecná (*Lumbricus terrestris*), naše endemická nejdelší žížala *Allolobophora hrabei* a druhy *Dendrobaena platyura* či *Apporectodea longa*.

celkem 2 body

za popis skupin 1 bod

za příklady druhů 1 bod

6. O významu žížal pro půdu (a potažmo samozřejmě zemědělství) se mluví hodně.

a. Popište alespoň tři principiálně rozdílné způsoby, kterými žížaly charakter a vývoj půdy ovlivňují.

Správných odpovědí tady bylo mnoho. Svými chodbičkami žížaly půdu provzdušňují a mění také její vodní režim – půda vodu lépe jímá a je méně náchylná k podmáčení. Voda se může žížalími póry rychleji dostat ke kořenům rostlin. Velmi významná je produkce exkrementů, které se podílejí na drobtovité struktuře půdy. Exkrementy mají vysokou mikrobiální aktivitu, průchodem potravy trávicím traktem žížal se počty a zastoupení mikroorganismů mění. V exkrementech dochází k velmi rychlé mineralizaci a je zde vysoké zastoupení různých iontů. Bylo zjištěno, že exkrementy mají také vyšší obsah auxinových látek a dalších fytohormonů stimulujících růst rostlin.

Důležitým efektem žížal je tzv. **bioturbace**, tedy promíchávání jednotlivých vrstev půdy. K tomu dochází jak stahováním potravy do hloubky anektickými žížalami, tak kladením exkrementů na povrch půdy. Během jednoho roku může zažíváním traktem žížal projít i čtvrtina svrchní vrstvy půdy! Neustálá produkce exkrementů na povrch půdy také brání vzniku půdní krusty a v určitých případech může mít za následek i zvýšenou erozi.

Velmi zajímavý je také prostor chodeb. Na jejich stěnách totiž zůstává trochu žížalího slizu a také dusíkaté metabolity žížal. Též je zde dostatek kyslíku, což napomáhá aktivitě aerobních mikroorganismů, například fixátorů dusíku, kterých se v bezprostředním okolí žížalích chodeb může vyskytovat až 40 % ze všech přítomných bakterií. Podporou činnosti bakterií a hub dochází v půdě k rychlejšímu uvolňování živin využitelných rostlinami. Zejména v těžkých půdách jsou chodbičky využívány také samotnými kořeny rostlin a výrazně usnadňují vývoj kořenového systému. Část půdy pod přímým vlivem žížal, tedy právě chodbičky a jejich bezprostřední okolí, je považována za jednu ze základních funkčních domén půdy – tzv. drilosféru.

Přesuny hmoty souvisí také s přesuny drobných organismů a mikroorganismů, které žížaly mohou rozšiřovat. Zároveň bylo ale prokázáno, že činnost žížal také snižuje počet některých fytopatogenních hlístic či hub.

b. Jaké skupiny organismů mají pro půdy podobný význam v biotopech, které nejsou pro žížaly moc příznivé (kvůli velmi suchému či kyselému a zamokřenému prostředí)?

V kyselém a zamokřeném prostředí žížaly do značné míry nahrazuje další skupina máloštětinatců – roupice (*Enchytraei*-*dae*). Naopak v suchém prostředí mají podobnou ekologickou roli, zejména co se týče bioturbace a provzdušňování půdy, zemní termiti (v suchých travinných ekosystémech) či někteří stejnonožci (v pouštním prostředí).

celkem 2 body

za každou podotázku 1 bod

7. Žížaly patří k organismům, které zlepšují vlastnosti půdy tak, aby z ní rostliny mohly snadněji přijímat minerální látky. Některé tyto látky, například železo, mohou však být v půdě dost pevně vázané a rostliny musí nejprve aktivně zvýšit jejich rozpustnost alespoň v nejbližším okolí kořenů, v tzv. rhizosféře. Jakým způsobem to rostliny dělají? Tento princip se uplatňuje také při získávání živin, které jsou v okolí rostliny vzácné.

Rostliny obecně rozpustnost živin v rhizosféře zvyšují vylučováním látek, které molekuly živin nahradí v iontových vazbách, kterými jsou vázané na jílové a humusové částice. Vylučují takto třeba protony, které okyselením prostředí učiní některé živiny (například právě železo nebo fosfor) rostlinám přístupnější. Rostliny mohou vylučovat také organické kyseliny, které živiny z jejich vazeb na půdu vyvazují (mají tedy roli chelatačního činidla). Podobně může fungovat také určitý typ aminokyselin zvaných fyto siderofory, které k získávání živin využívají trávy.

Dále rostliny mohou do půdy uvolňovat fenolické sloučeniny či dokonce enzymy, které dokáží přímo štěpit organické látky přítomné v půdě a uvolňovat z nich žádaný fosfor.

Nepřímo mohou rostliny obsah rozpuštěných látek v půdním roztoku ovlivňovat i vylučováním cukrů – tak totiž podporují růst mikroorganismů v okolí kořene.

1 bod

8. **Důležitým prvkem, který může limitovat růst rostlin, je dusík. Přestože tvoří většinu atmosféry, rostliny (ani živočichové) ho v podobě molekul N_2 , kde jsou atomy dusíku spojené pevnou trojnou vazbou, nemohou přijímat. Proto je často zdůrazňován význam bobovitých rostlin, které žijí v symbióze s tzv. hlízkovými bakteriemi, které vzdušný dusík dokáží fixovat a převádět do podoby, která je rostlinami využitelná. Jakými dalšími cestami se dusík do půdy dostává? Jmenujte alespoň dvě.**

Kromě hlízkových bakterií existují i **volně žijící fixátoři dusíku**, například bakterie rodu *Azotobacter*, *Clostridium* či *Xanthobacter* nebo fotosyntetizující bakterie (sinice) rodu *Nostoc*. Hlízkové bakterie také nejsou jedinými **symbionty**, kteří svému hostiteli dodávají dusík – podobně užitečné jsou také aktinomycety rodu *Frankia* žijící v asociaci s olšemi, sinice rodu *Anabaena* a *Nostoc* asociované s různými houbami, mechorosty, kaprad'orosty či cykasy.

Část půdního dusíku také pochází ze **zvětrávání hornin**.

Dále je významné uvolňování dusíku z **rozkládajících se těl a metabolitů organismů** – ty jsou také stále používány jako hnojivo pro zvýšení úrodnosti půdy. Pro zemědělství však postupně začala být stále významnější dusíkatá **minerální hnojiva**, počínaje těmi přírodními, jako je chilský ledek (vzniklý postupným usazováním dusíkatých sloučenin z atmosféry a mořského aerosolu v poušti Atacama), až po umělé, vyráběné synteticky ze vzdušného dusíku.

Méně nápadným zdrojem dusíku v půdě je samotná atmosféra. Kromě stabilních molekul N_2 se v ní také nacházejí **oxidy dusíku**, které jsou s deštěm splachovány v podobě kyseliny dusičné do půdy. Oxidy dusíku vznikají z atmosférického N_2 přirozeně při vysokých teplotách, tedy blesky či sopečnou činnosti. V současné době stále významnější roli hrají emise oxidů dusíku ze **spalování fosilních paliv** a oxidy dusíku vzniklé za vysokých teplot ve **spalovacích motorech**. Zatímco emise ze spalování fosilních paliv se snižují, vzhledem k narůstající automobilové dopravě bude produkce oxidů dusíku ze spalovacích motorů pravděpodobně narůstat.

Velmi důležitým zdrojem atmosférického znečištění dusíkem je **zemědělství**. Rozkladem močoviny, případně kyseliny močové, vzniká obrovské množství **amoniaku**, který může být uvolňován i z průmyslových hnojiv.

Pro spad a splach atmosférického dusíku do půdy je charakteristické, že k němu dochází i daleko od zdrojů znečištění, protože jsou dusíkaté sloučeniny v atmosféře dobře pohyblivé. Dostávají se tak i do ekosystémů, které považujeme za člověkem zasažené nejméně – v našem prostředí do vysokohorských biotopů (viz například článek Jakuba Hrušky a Filipa Oulehle ve Vesmíru 2008).

1 bod

9. **Když mluvíme o životě v půdě, neměli bychom opomenout mykorhizy, tedy symbiotické vztahy mezi rostlinami a houbami. Dochází při nich k propojení kořenového systému rostlin a mycelia hub a k transportu různých látek mezi těmito organismy. Od rostliny tak do podzemního houbového mycelia proudí organické látky vzniklé během fotosyntézy, naopak houbové mycelium napojené na kořenový systém usnadňuje rostlině příjem minerálních látek z půdy. To samozřejmě zdaleka není všechno, vztahy mezi účastníky mykorhizní symbiózy mohou být dost složité a směr toku zmíněných látek může být i obrácený. Jaké důsledky na pohyb dusíku v ekosystému by podle vás mohl mít fakt, že bobovité rostliny jsou častými účastníky mykorhizních vztahů? Jak byste svoji hypotézu ověřili?**

Vzhledem k tomu, že dusík může být předáván mezi houbou a rostlinou obousměrně, mycelium mykorhizního symbionta může také zprostředkovat **přenos dusíku mezi dvěma houbou propojenými rostlinami**. A k tomu skutečně dochází. Dusík může být předáván například mezi nodulujícím (hlízky s hlízkovými bakteriemi vytvářejícím) a nenodulujícím kultivarem sóji, ale i mezidruhově. Množství přeneseného dusíku za rok může tvořit až 80 % celkového dusíku v nenodulujících rostlinách! (Dusík může být přenášen myceliem i opačným směrem, od rostliny nefixující dusík k rostlině fixující dusík, množství přeneseného dusíku však nebývá větší než 10 %.)

Pokud chceme vysledovat pohyb nějakého prvku v ekosystému, užitečným nástrojem je sledování poměrů izotopů, které jsou v přírodě či v živých organismech zastoupeny nerovnoměrně. V tomto případě bychom mohli použít ^{15}N , který je v atmosféře přítomen minimálně (asi 0,36 % obsahu dusíku) a rostliny jej kvůli vyšší hmotnosti do svých těl zabudovávají méně (proto **metoda tzv. těžkých izotopů**) – v reakcích totiž spotřebovává více energie. Možností je ho dodat jedné rostlině a sledovat, jestli se jeho zvýšená koncentrace objeví v rostlině druhé, popřípadě v myceliu (^{15}N labeling/enrichment method), a nebo můžeme sledovat jeho přirozenou koncentraci (^{15}N natural abundance method). Obecně totiž platí, že dusík nefixující rostliny mají větší podíl ^{15}N , než rostliny, které dusík fixují. To je nejspíš způsobeno tím, že rostliny při přijímání dusíku od mykorhizního partnera upřednostňují lehčí izotop a tím šetří energii, kterou potřebují na jeho metabolismus. (Pro další informace doporučuji článek *Use of ^{15}N stable isotope to quantify nitrogen transfer between mycorrhizal plants*, He et al. 2009).

celkem 2 body

za popis nějakého důsledku mykorhizy bobovitých rostlin (nezmíněného přímo v zadání) 1 bod

za návrh experimentu či způsobu ověření hypotézy 1 bod

10. **Neměli bychom zapomenout ještě na jednoho slavného půdního živočicha, a to krtka obecného (*Talpa europaea*). Krtci jsou známí svým vrtáním podzemních horizontálních chodeb, vzniklý materiál pak vyhrnují na povrch půdy v podobě známých krtinců. Nalezené žížaly krtci dovedou obratným kousnutím do nervového centra znehybnit a mohou si je tak živé schovat na později, aniž by jim žížaly utekly. V jedné takové krtčí zásobárně bylo nalezeno až 1200 žížal o hmotnosti 2 kg. Krtčí chodby nicméně nejsou jen pouhým důsledkem hledání hlavní potravy krtků, žížal, ale i jejím nástrojem. Popište, jak může krtčí chodba fungovat jako žížalí past.**

Žížaly prolézající půdou (ať už svými trvalými chodbičkami, které krtek přerušil, nebo při hloubení nových) do krtkovy chodby spadnou, krtek chodbou pravidelně prochází a napadanou kořist (kterou tvoří i další bezobratlí, či dokonce malí obratlovci) sbírá.

Mezi vašimi odpověďmi bylo zmíněno i lákání žížal vibracemi. To však není strategie krtků, nýbrž lidí (viz [video](#)) a některých dalších žížalích predátorů (racků, čejek nebo želv). Vibracemi napodobují právě efekt blížícího se krtka, před nímž žížaly prchají na povrch – přímo pod ruce (a zobáky) opravdu přítomných lovců.

Úloha 2: Háčky

Autor: Kateřina Kubíková

Počet bodů: 17

Jak se uchránit před větrem, deštěm, kroupami, hromy, blesky či duhou? Odpověď je nasnadě – postavit si domeček. Anebo ještě lépe přimět někoho, aby ho postavil za mě. A zadarmo. A proč pouze obyčejný domek, proč ne rovnou perníkovou chaloupku? Ač to zní trochu fantaskně, přesně takovou strategii zvolilo mnoho organismů a lidé jejich perníkovým chaloupkám začali říkat háčky.

1. Hned na začátku se podíváme na to, co přesně tedy háčka je. Na české wikipedii se dočteme, že: „Háčka je útvar vznikající na rostlinách působením látek produkovaných jiným organismem, kterým může být hmyz, houba, bakterie nebo roztok.“ Tato definice je však v některých případech nedostačující. Zamyslete se nad tím, zdali by nešlo tuto definici zobecnit či upravit tak, aby pod ní spadalo opravdu všechno, co bychom nazvali háčkou a vysvětlíte proč (ukážete na příkladech).

Tato definice nepojímá některé struktury, které jinak háčkami nazýváme. Vůbec nepřipouští, že by háčky mohly vznikat na jiných organismech než na rostlinách – na živočiších; např. lilijicovci (*Myzostomida*), způsobující vznik hálek na lilijicích, nebo podkožní střečci (např. *Hypodema bovis*); na houbách např. *Plectocarpon lichenum*, *Polycoccum clauzadei*, *Cyphobasidium* sp.). Schopnost vytvářet háčky Wikipedie upírá některým skupinám – virům (rice gall dwarf virus), rostlinám (útvary kolem haustorií jmelí, *Arceuthobium*, ...) a nehmyzím živočichům (hlístice rodu *Meloidogyne*, viřník rodu *Proales*). Zároveň by mělo docházet vlivem působení látek produkovaných háčkovitým organismem k dělení (popř. růstu) buněk hostitelské tkáně, čehož následně háčkovitě využívá ke své výživě. Samozřejmě definice mohou být různorodé a různí autoři za háčky považují různé útvary.

celkem 1 bod

za zobecnění hostitelů 0,5 bodu, za zobecnění háčkovitých organismů 0,5 bodu

2. Během řešení prvního úkolu jste si již určitě všimli, že existuje široké spektrum háčkovitých organismů a jejich hostitelů. Navíc mohou vznikat takřka na jakékoli části těla hostitele a variabilita tvarů, velikostí a barev je ohromná. Jmenujte ke každému popisu příklad jednoho háčkovitého organismu splňující daná kritéria:

- hmyz způsobující háčky na kořenech rostliny,
- houba indukující změnu celého listu rostliny,
- organismus způsobující vznik háčky na lišejníku,
- živočich způsobující háčku na jiném živočichovi.

Několik příkladů ke každé podotázce:

- mšička révokaz (*Viteus vitifoliae*), krytonosec zelný (*Ceutorhynchus pleurostigma*), žlabatka bezkřídla (*Biorhiza pallida*) – „zimní“ háčky na kořenech dubu
- Exobasidium rhododendri*
- Plectocarpon lichenum*, *Polycoccum clauzadei*, *Cyphobasidium* sp.
- lilijicovci (*Myzostomida*), motolice thajská (*Opisthorchis viverrini*), podkožní střečci (např. *Hypodema bovis*)

celkem 4 body

za každou podúlohu 1 bod

3. Proč se tolik organismů naučilo vznik hálek indukovat a co vše tento způsob života obnáší? Uveďte alespoň tři výhody a jednu nevýhodu, které život v hálce mláděti háčkovitého organismu může přinášet. Znáte nějaký příklad mutualistického vztahu (výhodného pro obě strany, tedy i pro hostitele), kdy také dochází k tvorbě háčky? Jaký je v tomto případě její hlavní význam?

Mezi hlavní výhody vývoje larev v hálce určitě patří stálá dostupnost potravy a ochrana nejen před predátory, ale i nepříznivými vlivy okolí včetně počasí (háčka může zajišťovat stále prostředí i co se týče např. vlhkosti). To vše je zajištěno jen s minimálními energetickými náklady pro larvu (tvorba analogů fytohormonů).

Za hlavní nevýhody vývoje larev v hálkách je považována například závislost na jednom konkrétním druhu hostitele (resp. na jednom rodu, čeledi), takže při výrazném snížení abundance nebo vyhynutí hostitelského organismu má i háčkovitý druh svůj osud zpečetěn. Dále se jeví být nevýhodným prediktabilní umístění larev v prostředí, kvůli tomu mohou být snáze

lokalizovány parazitoidy, nebo i vyšší riziko náhodného pozření larvy velkým herbivorem společně s hostitelskou rostlinou (larva „uvězněná“ v hálce nemá šanci v takovém případě utéct (čti spadnout na zem)).

Mezi hálky vznikající v rámci mutualistického vztahu lze zařadit hlízky na kořenech některých rostlin hostících hlízkové bakterie, které fixují vzdušný dusík. Hlavním významem samotné hálky je v tomto případě izolovat od půdního vzduchu, protože k účinné vazbě vzdušného dusíku je potřeba zajistit anaerobní prostředí. K vyvazování kyslíku z vnitřku hálky slouží leghemoglobin, který má mnohem vyšší afinitu ke kyslíku, než má náš hemoglobin (nicméně je také červený, proto mají některé hlízky nápadně červenou barvu). Je ovšem potřeba, aby celý proces probíhal v uzavřeném prostoru, jinak by se vyvázaný kyslík stále doplňoval z okolí.

Dalším příkladem může být vztah stehnatky fíkové (*Blastophaga psenes*) a fíkovníků. Samička stehnatky vleze do květenství fíku (sykonia), kde naklade vajíčka do semeníků samičích květů s krátkou čnělkou (a s dlouhou květní stopkou), protože nemá dost dlouhé kladélko, aby dosáhla do semeníků květů s dlouhou čnělkou (a krátkou květní stopkou). Z napadených květů se stanou hálky. Z těch se posléze vylíhnou dospělci, kteří se uvnitř sykonia spáří, bezkřídlí samci hynou a samičky, obalené pylem z právě dozrálých samčích květů v sykoniu, vylétají ven hledat další fík.

Jako mutualistický vztah s hálkou lze brát z určitého úhlu pohledu i lišejníky – fotobionti (řasa, sinice) totiž mohou při kontaktu se zatím volně žijícím mykobiontem indukovat jeho růst, tj. vytvoření stélky, která pak slouží i k výživě fotobionta (voda, minerální látky).

celkem 3 body

za každou výhodu a nevýhodu 0,5 bodu

za příklad mutualismu a význam po 0,5 bodu

4. Ted' už víme, kdo všechno hálky umí vytvářet a k čemu je mu to dobré. Každý hálkotvorný organismus má pochopitelně trochu jiné metody, jak donutit hostitele k vytvoření takové abnormality na svém těle. Vyberte si jeden příklad a u něj stručně popište, která vývojová stádia a jakým způsobem donutí hostitele vytvořit hálku.

Většina z vás popisovala vznik hálek některé žlabatky. Ty k ovlivnění rostliny používají analogy fytohormonů, které produkují hlavně samotné larvy. Rostlina odpovídá dělením buněk a tvorbou hálky a ještě ke všemu si chudák myslí, že „mi to přece řekly moje vlastní signální látky“ (*Rosa canina* et *Quercus* sp. pers. comm.).

Obdobný princip je vlastně i většině ostatním „klasickým“ hálkotvorcům, přičemž stádiem produkujícím analogy fytohormonů je typicky larva, popřípadě vajíčko.

celkem 1,5 body

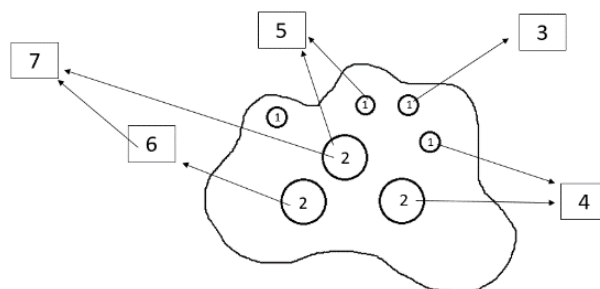
0,5 bodu za vývojová stádia, 1 bod za způsob

5. Pokud se podíváme na vznik hálek z pohledu genetické informace, zjistíme, že genotyp (soubor veškeré genetické informace) hálkotvorného organismu zde ovlivňuje fenotyp (soubor všech znaků pozorovaných na daném organismu) jeho hostitele. Jak obecně takovéto působení genů ne na své vlastní tělo, ale na okolní prostředí včetně jiných organismů, nazýváme?

Rozšířený fenotyp; kromě hálek takto označujeme například i pavučiny, hnízda, domy a další stavby či manipulaci chování hostitele řadou parazitů.

1 bod

6. Bioslav se jednou rozhodl, že zkusí zjistit, jak vypadá ten, kdo vznik hálky způsobil. Přinesl si tedy domů několik kusů jednoho druhu hálek, které nasbíral na růži, zavřel je doma do prodyšné nádoby a za nějaký čas mu z nich vylétalo spousta dospělců. Při pohledu na ně si ale všiml, že se mezi sebou značně liší – určil, že se jedná o příslušníky dokonce šesti druhů, a to: *Periclistus brandtii*, *Eurytoma rosae*, *Torymus bedeguaris*, *Orthopelma mediator*, *Diplolepis rosae* a *Caenacis inflexa*. Zjistil také, že mezi nimi je kromě původce hálky i jeden tzv. inquilinní druh (klade své potomky do již vzniklé hálky, kde se následně vyvíjejí, původnímu obyvateli hálky povětšinou nijak neškodí) a také několik parazitoidů (ne nutně parazitujících na původním obyvateli hálky). Na následujícím schématu (obr. 3) průřezu Bioslavovou hálkou jsou kolečky znázorněny komůrky hálkotvorného i inquilinního druhu a obdélníčky označují jednotlivé druhy parazitoidů (šipky směřují vždy od hostitele k parazitoidu). Přiřaďte k jednotlivým číslům druhy hmyzu nalezené Bioslavem tak, aby odpovídaly svému umístění v hálce i zařazení do vzájemných potravních vztahů.



Obr. 3: Schéma průřezu hálkou se znázorněnými vztahy mezi jejími obyvateli.

1 – *Periclistus brandtii*

2 – *Diplolepis rosae*

3, 4, 5 – *Caenacis inflexa* – pravděpodobně není striktní parazit *Periclistus brandtii* a parazituje i na *Diplolepis rosae*, ale uznávala jsem obě varianty

4/5 – *Eurytoma rosae*

6 – *Orthopelma mediator*

7 – *Torymus bedeguaris*

Bohužel se mi do zadání vloudila jedna chybička – krásenka *Torymus bedeguaris* nenapadá inquilinní žlabatku *Periclistus brandtii*, ale (krom lumka *Orthopelma mediator*) žlabatku růžovou *Diplolepis rosae*. Tuto část schématu jsem tudíž hodnotila s ohledem na to.

celkem 3 body

za každou chybnou vazbu 0,5 bodu dolů

7. Řada druhů hálek není k užítu jenom svému obyvateli, ale (k obyvatelově smůle) i člověku.

- a. Jedním z nejznámějších způsobů využití hálek je výroba duběnkového inkoustu, který byl ve své době velmi populární, o čemž svědčí třeba i to, že je jím naspán Sinajský kodex, kreslil s ním Leonardo da Vinci a je jím vedena řada právních a královských záznamů nejen ve viktoriánské Anglii, ale i v moderní historii. Vyrobit si ho doma můžete snadno i vy. Stačí, když povaříte nadrcené „duběnky“ ve vodě, přidáte zelenou skalici a arabskou gumu. Stručně popište, jaký je význam jednotlivých ingrediencí a jaká chemická reakce stojí za vznikem výsledného zbarvení inkoustu.**

Z duběnek se během vaření uvolňuje tanin, který se hydrolyzuje na kyselinu gallovou. Ta následně ve vodném roztoku reaguje s železnatými ionty ze zelené skalice ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) za vzniku organokovového komplexu gallátu železnatého. Ten je světlý a ve vodě dobře rozpustný, snadno se tedy integruje mezi vlákna papíru. Gallát železnatý může dále oxidovat na tmavomodrý nerozpustný komplex pyrogallol železitý tvořený železitými ionty, navázanými na dvě molekuly kyseliny gallové. K tomu dochází v malé míře už v roztoku, výrazně však až na vzduchu po nanesení na papír. Arabská guma zabraňuje sedimentaci pigmentu a zlepšuje některé vlastnosti. Mimo jiné zvyšuje lesk a viskozitu inkoustu, čímž zabraňuje jeho rozpíjení. Pokud se jí ale do inkoustu přidá příliš, inkoust se hůře vpíjí do papíru a po zaschnutí se může z papíru odlupovat.

celkem 2,5 bodu

za význam zelené skalice, hálek a arabské gumy po 0,5 bodu

za popis (princip) reakce 1 bod

- b. Výroba inkoustu ovšem není zdaleka tím jediným, k čemu byly hálky v historii využívány. Uveďte další dva příklady jejich (historického) využití.**

Hálky se využívaly a někdy doteď využívají v širokém spektru odvětví (velmi často pro velký obsah tatinů). Mnoho z nich jste zmínili ve svých řešeních.

V minulosti se používaly v koželužnictví na činění kůží, ale i jejich barvení. Na Slovensku se z ovčí kůže barvené hálkami šily kožichy, které byly součástí krojů. Mimo kůží se různými produkty z hálek barvily i látky a další předměty. Železné předměty povařené v roztoku rozdrcených a svařených duběnek prý byly odolnější proti korozím.

V lékařství našly využití ve velké míře už ve starověku a později ve středověku (zastavení krvácení, desinfekci), ale i dnes se některé výrobky z hálek využívají v tradiční čínské i dalších více či méně alternativních medicínách – proti kašli, průjmů, nočnímu pocení, oslabení imunity, omrzlinám, ekzémům, hemoroidům, ... Krom toho se výtažky z nich přidávaly do různých zkrášlovacích krémů. Také byly využívány i pro nejrůznější rituály – k věštění či jako ochranné amulety. Některé hálky dokonce našly využití jako krmivo pro dobytek (black oak gall) a někteří lidé je dokonce sami jedí (*Exobasidium*).

celkem 1 bod

každý příklad po 0,5 bodu

Úloha 3: Slyšet neslýchané

Autor: Eva Matoušková a Markéta Staňková

Počet bodů: 20

Blížil se večer, stmívalo se a Bioslav se blížil k domovu po jedné ze svých oblíbených výprav za biodiverzitou. Nešlo se mu ale příliš snadno, neboť byl co chvíli donucen zastavit a zaposlouchat se do hlasů kolem něj. Tu byla slyšet křepelka, tu kos v koruně stromů, támhle v trávě stridulovala kobylka a vysoko nad ním se ozýval netopýr. Byl tak oslněn tou nepřehlednou sbírkou hlasů, že se jen tak na chvíli posadil do trávy a ztratil se v myšlenkách. Hloubal a hloubal, vrtal se v mozku a přemítal nad mnoha způsoby využití hlasu. Hlasem dokáže skokan skřehotavý okouzlit samičku. Kos zpěvem varuje své soky, aby se vyhnuli jeho

teritoriu. Ptáčata v hnízdech si jimi vynucují krmení od rodičů. Kňučení a vrčení rozděluje role ve vlčí smečce. Takto uvažoval, až se dostal k echolokaci. Tak geniální využití hlasu!

1. Dokázali byste popsat, co to je echolokace a jak vlastně funguje?

Echolokace je způsob, jakým se lze orientovat v prostředí, kde se nedostává světla (noc, jeskyně), nebo je nějakým způsobem zhoršená viditelnost (voda). Princip echolokace: jedinec vyšle zvukovou vlnu, ta se odrazí od předmětu a nárazem pozměněný zvuk je detekován zvířetem. Při echolokaci jsou jedinci schopni vnímat jak vzdálenost a polohu předmětu, tak i to, jestli se předmět přibližuje či vzdaluje.

1 bod

2. I v České republice můžeme hojně najít skupinu, která echolokaci využívá. Jak se nazývají její dvě čeledi a jak se mezi sebou liší způsobem echolokace?

Čeledi se nazývají netopýrovití (Vespertilionidae) a vrápencovití (Rhinolophidae). Liší se ve způsobu, kterým vydávají zvuk. Netopýři vydávají signál ústy, kdežto vrápenci ho vydávají nosem a specializovanými výrůstky na něm ho usměrňují.

1 bod

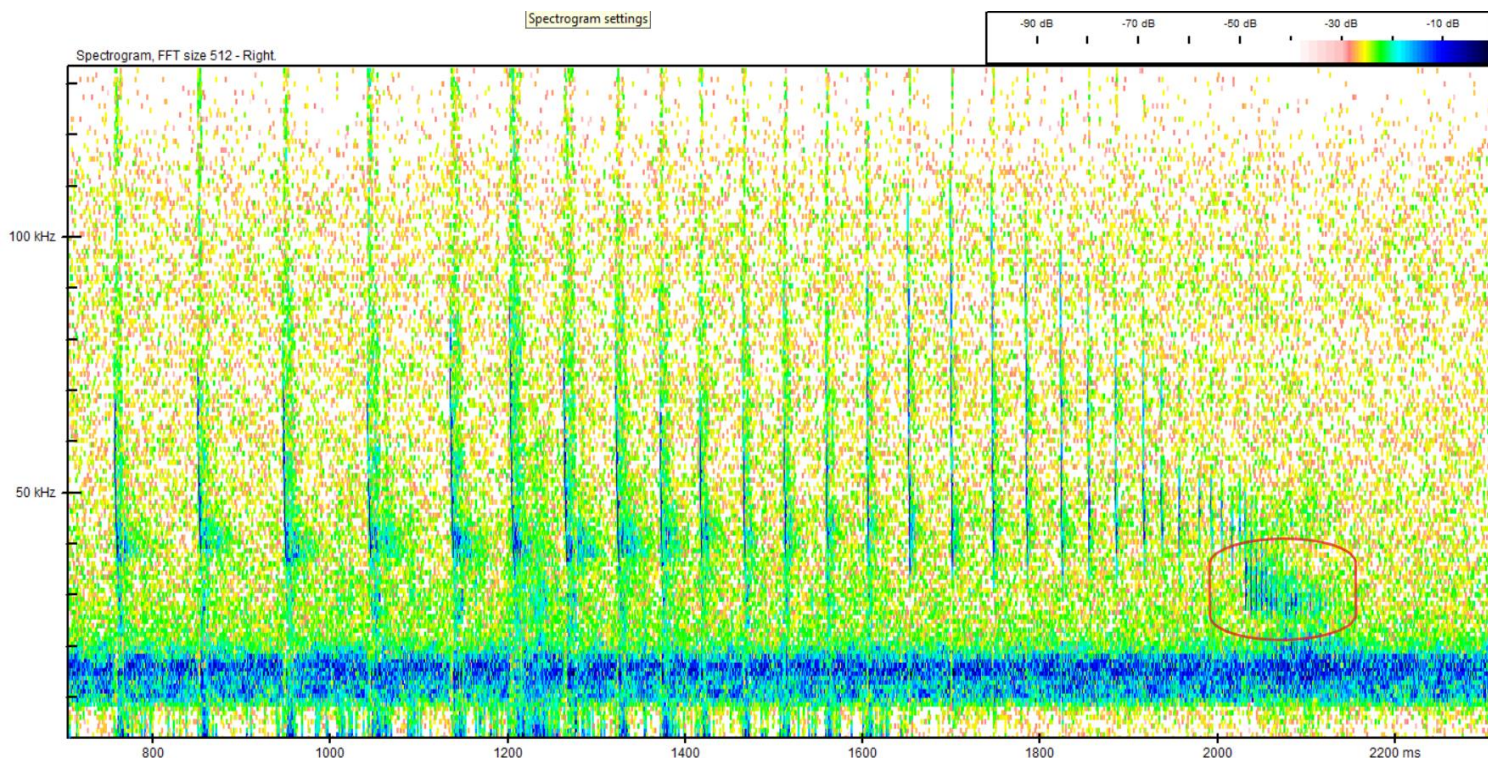
3. Bioslav si vzpomněl na své mládí a toulky pralesem v jihovýchodní Asii, kde pozoroval zástupce jedné čeledi z předchozí skupiny, již měli podivný způsob echolokace a velice dobře při orientaci spoléhali i na jiný smysl. Mnoho z nich končí pečených na talířích, jeden z nich podle toho dostal i své jméno. Jak se tato skupina jmenovala? Kde nejbližší od nás bychom ji našli a čím je jejich echolokace tak výjimečná?

Jedná se o kaloně a nejbližší od nás je najdeme na jihu Turecka a na Kypru. Jejich echolokace je velmi odlišná od ostatních letounů. Dlouhou dobu se myslelo, že neumí echolokovat vůbec, časem se ale přišlo na to, že to umí zástupci rodů *Rousettus* a *Eonycteris*. *Rousettus* echolokační zvuky vydává velmi rychlým klikáním jazyka, *Eonycteris* vydává zvuky klikáním křídel. V dnešní době se ale přichází na to, že klikání křídel je mnohem běžnější, než se čekalo, a zřejmě ho umí mnoho dalších kalonů.

za kaloně, lokalitu a echolokaci 1,5 bodu

4. Vraťme se ale do našich končin. Bioslav pozoroval nebe a tu se objevil první netopýr. Chvilí létal sem a tam a hledal nějakou šťavnatou kořist. To je škoda, že téměř není slyšet, co za zvuky právě vydává, pomyslel si Bioslav. Naštěstí měl ale u sebe detektor, na který si echolokujícího netopýra nahrál.

5. Na tomto obrázku vidíte sonogram, záznam průběhu echolokace v čase. Jednotlivé peaky reprezentují jednotlivé výkřiky. Na ose y je uvedena frekvence, osa x zobrazuje čas. Pořádně si prohlédněte tento sonogram. Co z něj můžeme odvodit o chování netopýra? Co zobrazuje zakroužkováná oblast, jak se odborně nazývá a k čemu slouží?



Obr. 4: Sonogram k úloze 3.

Sonogram zobrazuje zvuky vydávané netopýrem. Na ose x je čas, na ose y je frekvence. Svislé čáry představují jednotlivé výkřiky, je vidět, že se intervaly postupně zkracují a „zaostřují“. Zakroužkovaná oblast je tzv. feeding buzz, který netopýr vydá těsně před chycením kořisti pro její co nejpřesnější zaměření.

1,5 bodu

5. **Způsob života jednotlivých druhů se může velice lišit. Asi je jasné, že ne všichni žijí v lese, ale můžeme je najít i v otevřené krajině, nad rybníky, loukami, ve městech i na horách. Odrazí se ale nějakým způsobem to, kde daný druh žije, na jejich způsobu echolokace a jiných charakteristikách s touto odlišností spojených? Popište proč a v čem se budou lišit v echolokaci (a případně v jiných charakteristikách) a demonstруйте to na několika druzích.**

Druhy v různých prostředích se budou lišit vysílanými frekvencemi. Vyšší frekvence rovná se kratší vlnová délka, což umožňuje proskenovat povrch do větších detailů, ale rychle se v prostředí ztrácí a nelze jej použít na velkou vzdálenost. V hustším prostředí (les, parková krajina) tedy budou netopýři echolokovat na vyšších frekvencích a budou spíše stavbou těla kratší a špičatější, což jim umožní lepší manévrování. Zato v otevřené krajině budou vysílat frekvence hlubší a budou mít spíše delší, užší křídla, díky kterým bude jejich let méně náročný.

Příkladem za otevřené krajiny z našich končin budiž např. netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*) nebo tadarida (*Tadarida* sp.). Z uzavřené krajiny je to např. netopýr černý (*Barbastella barbastellus*).

2,5 bodu

6. **Echolokaci je podobná hydrolokace. Čím je specifická a u koho bychom se ní mohli setkat?**

Hydrolokace je echolokace, která probíhá ve vodě. Setkat se s ní můžeme u ozubených kytovců, kteří ji běžně používají k orientaci.

1 bod

7. **Mít schopnost využívat takto hlas však není jen tak. Skupiny, které to dovedou, prošly dlouhým vývojem, při kterém jejich smyslové orgány doznaly značných změn a často si vyvinuly i části, které danou schopnost vylepšují. Jedním z takových prvků, které si vyvinula právě skupina využívající hydrolokaci, se nazývá meloun. Správně tušíte, že zele-nina to nebude. Popište, k čemu je jim dobrý. Napište alespoň tři zástupce, u kterých bychom se s ním mohli setkat.**
- Meloun funguje podobně jako čočka v oku. V tomto případě však pomáhá usměrňovat a měnit sílu vysílaného či přijímaného signálu podle okolností. S melounem se setkáme u obecně u ozubených kytovců.

2 body

8. **Kvůli prostředí, ve kterém se daná skupina vyskytuje, bylo potřeba ještě jedné výrazné změny, a to v orgánu na přijímání zvuku. Ačkoliv jejich prapředci měli ucho podobné stavby jako dnešní suchozemští savci, po přechodu do vody už svou roli neplnilo tak dobře a bylo potřeba ho trochu pozměnit. Uměli byste vysvětlit, v čem byl problém a jak tedy zvuk přijímají dnes?**

Významný problém je v tom, že by zvuk musel procházet skrze dvě prostředí, vodu z vnější strany bubínku a vzduch z vnitřní. Kvůli rozdílné rychlosti zvuku v obou prostředí by tak docházelo ke zkreslení přijímaného signálu, a proto bylo výhodnější obejít bubínek a vést zvuk do vnitřního ucha jinudy. Ve velké hloubce je také vysoký tlak, který by bubínek nemusel vydržet. Běžnou cestou vedení zvuku jsou kosti dolní čelisti či okolní tukové i svalové tkáně.

2 body

9. **Neméně zajímavé jsou i zvuky, které do kategorie hydrolokace nepatří, ale také jsou zástupci této skupiny využívány ke komunikaci. Proslavené jsou jejich zpěvy, které se nesou na velké vzdálenosti. Dokázali byste si tipnout, jak daleko se takový zvuk může šířit? Jak je možné, že se šíří dál, než hlas při hydrolokaci? Šířil by se stejně rychle a daleko i na vzduchu? Proč ano/ne?**

Zvuk vydávaný vodními živočichy se může šířit na stovky kilometrů. Dál než při hydrolokaci se šíří proto, že při normální komunikaci jsou využívány výrazně hlubší frekvence než při hydrolokaci. Voda je homogennější prostředí, ve kterém se molekuly pohybují organizovaněji a jsou blíže u sebe, vibrace molekul se předává snadněji než ve vzduchu a může se šířit dále.

2 body

10. **Jak už bylo psáno na počátku, Bioslav si velmi rád poslechl různé zvuky přírody. Vzdušné árie i podmořské symfonie se poslední dobou zařadily mezi jeho nejoblíbenější. Abyste i vy nebyli ochuzeni o tyto skvosty, máte [zde k poslechnutí 11 zvuků](#). Rozpoznejte, co je na nahrávce za zvuk a zda jde o echolokaci či nikoli. Pomůže vám následující nabídka organismů (nepoužijete nutně všechny):**

Alpheus sp. (pistolník), *Cicadidae* (cikáda), *Balaena* sp. (velryba), *Myotis daubentoni* (netopýr vodní), *Nyctalus noctula* (netopýr rezavý), *Physeter macrocephalus* (vorvaň obrovský), *Pipistrellus pipistrellus* (netopýr hvízdavý), *Tettigonia viridissima* (kobyłka zelená), *Tursiops truncatus* (delfín)

01 – kobyłka zelená

02 – delfín – echolokace

03 – *Pipistrellus pipistrellus* – echolokace

- 04 – oheň
- 05 – velryba *Balaena* – zpěv
- 06 – pistol shrimp
- 07 – voda
- 08 – *Myotis daubentoni* – echolokace
- 09 – cikáda
- 10 – echolokace vorvaně
- 11 – *Nyctalus noctula*

celkem 5,5 bodu
za každou správnou odpověď 0,5 bodu

Úloha 4 (experimentální): Rostlina pod drobnohledem

Autor: Radek Vítek

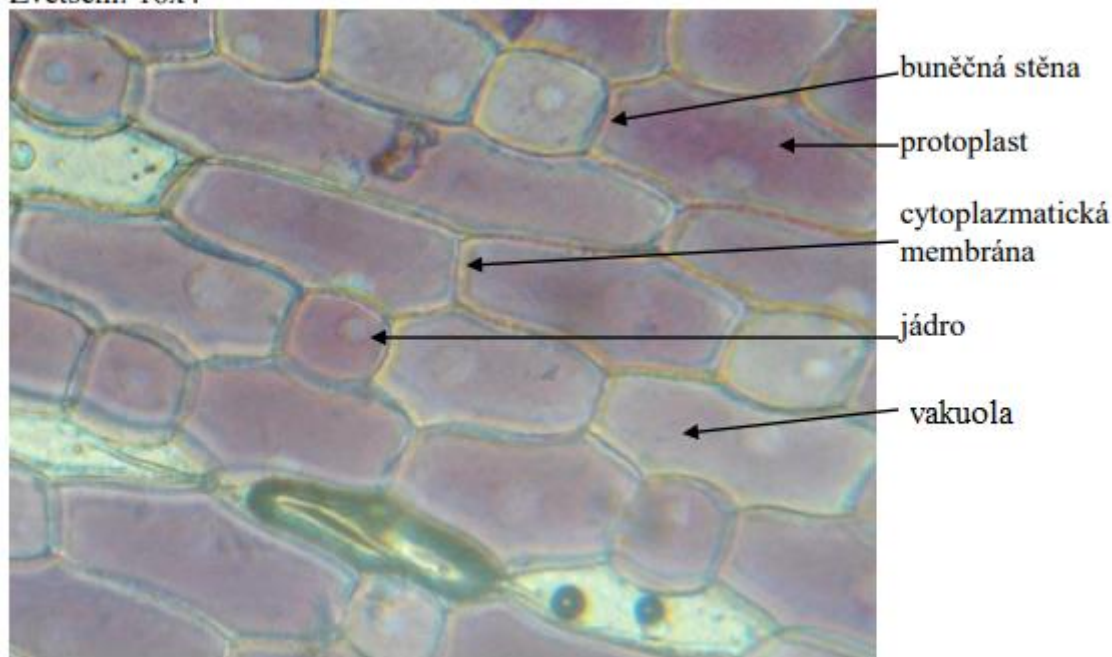
Počet bodů: 12

Rostliny potkáváme každý den doma, cestou do školy a dokonce i ve škole. Na první pohled nás můžou zaujmout svými krásnými květy či kresbou na listech... Co kdybychom se ale podívali pozorněji a užili krásy rostlinných buněk? K této úloze budete potřebovat mikroskop a standardní mikroskopovací vybavení; nemáte-li, zkuste se domluvit s vaším vyučujícím biologie, nadšeným studentům vyjde jistě vstříc.

1. Jako první se podíváme na pokožku cibule kuchyňské. Použijte červenou cibuli, protože barviva v ní obsažená nám ulehčí pozorování. Cibuli rozkrojte, vyjměte jednu šupinu a z ní sejměte vrstvu pokožky (je to jemná blanka na vnějším povrchu). Zhotovte preparát, pozorujte a zaznamenejte do protokolu co jste viděli (popište významné struktury). Můžete buď kreslit, ale klidně je možné udělat i fotografii mobilním telefonem, nebo foťákem, stačí si s tím jen trochu pohrát a najít správnou vzdálenost mezi okulem a objektivem foťáku.

Ukázkový obrázek by vypadal např. jako situace na obr. 5.

Zvětšení: 16x4



Obr. 5: Pokožka cibule za normálních podmínek. (Eliška Čížková)

celkem 1 bod
za velký nákres či fotografii a zvětšení 0,5 bodu
za popisky nákresu či fotografie 0,5 bodu

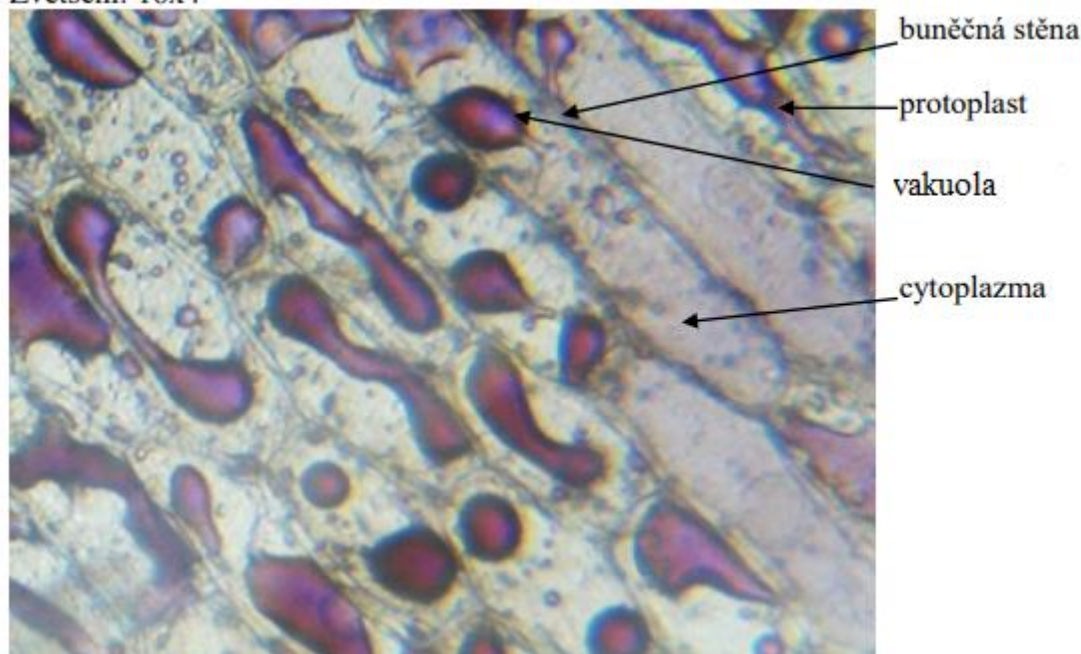
2. S preparátem budeme dále pracovat a vyzkoušíme si osmotické jevy.

- a. Jako první si vytvoříme hypertonický roztok z jedné lžičky soli a jednoho decilitru vody. Ten nabere do kapátka a na boční hranu krycího sklíčka kápneme 2–3 kapky. Poté z opačné strany přiložíme papírový ubrousek a rovnou pozorujeme. Tím docílíme, že ubrousek saje z jedné strany roztok pod sklíčkem a zároveň nasává nový roztok

kapátkem z druhé strany. Zakreslete a popište, co se děje během tohoto procesu a proč k tomu dochází.

Během pokusu došlo k plazmolýze, tedy ději, při kterém buňka ztrácí vodu, aby vyrovnala osmotický potenciál. Cytoplasmatická membrána je totiž polopropustná (vodu propouští, ale nabité ionty solí ne). Můžeme pozorovat ztmavnutí buněk (koncentrují se barviva ve vakuole), celkovou deformaci protoplastu, ale místy zůstává cytoplasma stále spojena s buněčnou stěnou, fragmentaci centrální vakuoly na menší vakuoly. Buněčná stěna je pevná a nepodléhá deformaci. Příkladná fotografie je na obr. 6.

Zvětšení: 16x4



Obr. 6: Buňky pokožky cibule po přidání hypertonického roztoku. (Eliška Čížková)

celkem 2 body

za velký nákres či fotografii a zvětšení 0,5 bodu

za popisky nákresu či fotografie 0,5 bodu

za popis buněčných změn 1 bod

b. Proč je v některých místech cytoplasmatická membrána stále spojena s buněčnou stěnou?

Cytoplasmatická membrána tvoří na některých místech vodivé spoje, procházející skrz buněčnou stěnu, zvané plasmodesmy. Jedná se o kanálek z cytoplasmatické membrány, přes který prochází i endoplasmatické retikulum. Plasmodesmata propouští ionty, vodu, malé metabolity, peptidy, RNA, fytohormony a další dostatečně malé molekuly.

za uvedení plasmodesmat 0,5 bodu

b. Následně provedeme to samé, jen s hypotonickým roztokem. K tomu budeme potřebovat destilovanou vodu, kterou získáte v lékárně nebo v drogerii. Opět ji nabere do kapátka (jiného, než kterým jsme brali hypertonický roztok) a buňky promyjeme stejným způsobem jako prve, klidně i 2×.

Situace funguje na stejném principu jako v otázce 2a, jen tentokrát voda putuje do buňky. Můžeme pozorovat opětovné navrácení turgoru a zesvětlení buněk, dochází k deplazmolýze. Pokud už toho bylo na buňku příliš, může dojít k plazmoptýze, tedy k prasknutí cytoplasmatické membrány a k vylití buněčného obsahu.

za popis děje a uvedení deplazmolýzy 0,5 bodu

c. Za jakých podmínek v přírodě můžeme oba tyto jevy pozorovat? Proč nám po dešti na zahradě praskají plody rajčat, a ne třeba i stonek?

Plazmolýzu můžeme u rostlin pozorovat například po solení silnic, kdy se sůl na silnicích smývá do okolní půdy, také v okolí přirozených slaných vodních ploch (moře, slaná jezera) když se při silnějším větru zaneše dále od pobřeží.

Deplazmolýzu či plazmoptýzu po silnějším dešti (dešťová voda obsahuje jen malé množství rozpuštěných plynů, jako CO₂).

Buněčné stěny dužnatých plodů jsou tvořeny hlavně pektiny, zatímco ve stonku jsou vyztužené ligninem. Dále cukry v nich obsažené fungují hydrofobicky, tedy přirozeně přitahují vodu, to v kombinaci se slabou (ale chutnou) buněčnou stěnou zapříčiní vznik prasklin.

celkem 2 body

za uvedení příkladu plazmolýzy 0,5 bodu

za uvedení příkladu deplasmolýzy/plasmoptýzy 0,5 bodu
za uvedení příčiny praskání 1 bod

3. Dále budeme potřebovat lístek mechu, ideálně ploníku, nebo měříku, jenž předtím byly dostatečně dlouho na světle. Lístky jsou rovné, hladké a mají velké chloroplasty. Zhotovte preparát, pozorujte při větším zvětšení a zaměřte se hlavně na chloroplasty. Poté stejným způsobem jako u cibule přidejte k preparátu Lugolův roztok a pozorujte změny.

a. K čemu se využívá Lugolův roztok a co je jeho hlavní součástí?

Lugolův roztok se používá hlavně jako důkaz přítomnosti škrobu v biologických materiálech. Po reakci se škrobem vniká fialové až černé zbarvení. Mimo to se používá minoritně i k barvení jader, membrán, či jako zdroj jódu.

Jedná se o vodný roztok elementárního jódu a jodidu draselného.

celkem 1 bod

za použití při detekci škrobu 0,5 bodu

za uvedení složení 0,5 bodu

b. Co se nám v chloroplastech obarvilo?

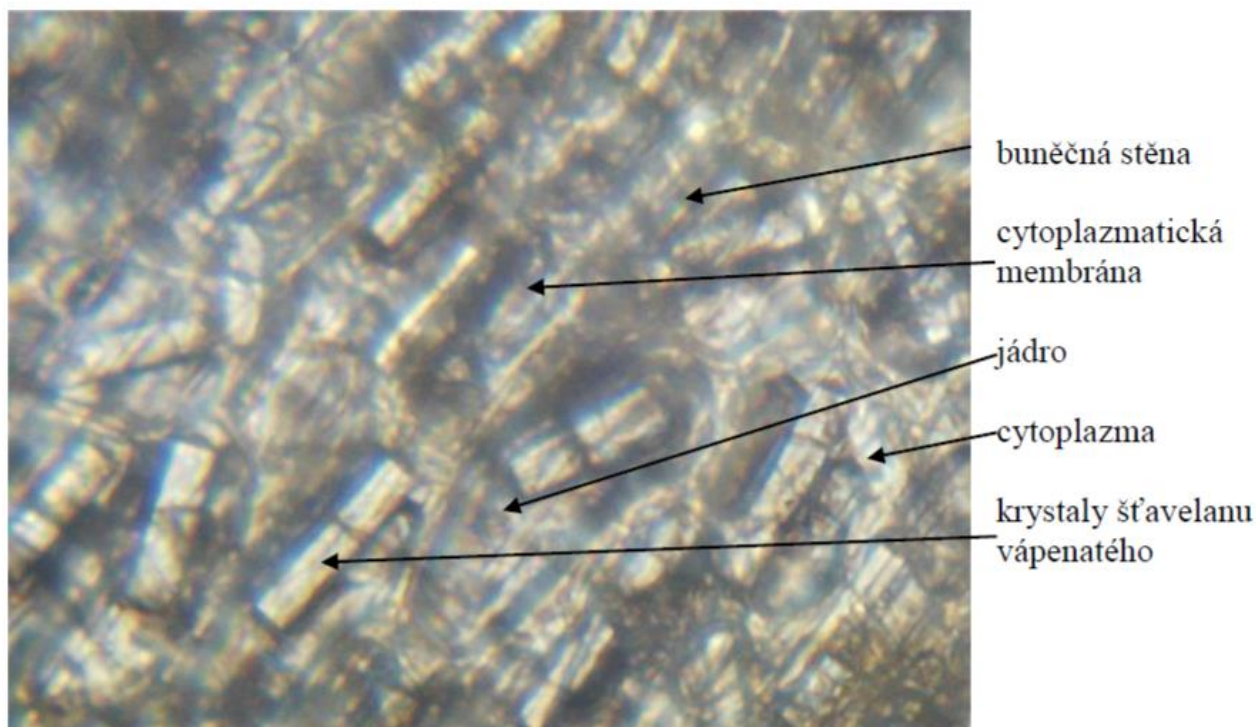
Pokud byly rostlinky dostatečně dlouho na světle, měly by se chloroplasty zbarvit tmavě. Při bližším pohledu je možné pozorovat drobná tmavá zrnka. Jedná se o škrobová zrna.

za uvedení škrobových zrn 0,5 bodu

4. Dále si zhotovíme preparát například ze suchých slupek cibule, stonku poděnký nebo diffenbachie (jsou to běžné pokojové rostliny, bývá často ve školách). Slupku cibule namočte před tím do lihu (tak na 10 minut). Z ostatních rostlin zkuste vymáčknout šťávu (dávejte pozor, aby se vám šťáva nedostala do očí, je dráždivá). Měli by jít vidět útvary, které jsou tvořeny z metabolitu rostlinného původu, ale nevypadají jako typická biologická struktura. Pozorujte, zakreslete a popište.

Příklad řešení je na obrázku 7.

Zvětšení: 16x4



Obr. 7: Fytolity, konkrétně styloidy, ve slupce cibule. (Eliška Čížková)

celkem 1 bod

za velký nákres či fotografii a zvětšení 0,5 bodu

za popisky nákrese či fotografie 0,5 bodu

a. Jak se pozorované útvary nazývají a k čemu slouží?

Útvary se obecně nazývají fytolity, podle tvaru pak rozeznáváme například drůzy, rafidy a styloidy. V cibuli pozorujeme styloidy, v poděnce a diffenbachii je kombinace rafidů a styloidů.

Slouží primárně jako ochrana před herbivory (jejich kontakt s kůží či sliznicí je poměrně dráždivý), popřípadě jako zásobní nebo odpadní uložisko.

celkem 1 bod

za uvedení fytolitu, či podrobnější rozdělení 0,5 bodu

za uvedení funkce 0,5 bodu

b. Z čeho jsou tvořeny a jak dopadne člověk, který často konzumuje rostliny bohaté na tento metabolit?

Jsou tvořeny šťavelanem vápenatým. Při nadměrné konzumaci se může šťavelan ukládat v kloubních pouzdrech a v ledvinách tvořit ledvinové kameny. Bohaté na šťavelany jsou běžně konzumované rostliny, jako špenát, rebarbora, mangold, ...

celkem 1 bod

za uvedení složení 0,5 bodu

za uvedení následků zvýšené konzumace 0,5 bodu

c. K čemu se využíval stonek diffenbachie?

Díffenbachie byla využívána k mučení otroků, kdy se kousek stonku vkládal do úst a otroci byli nuceni ho žvýkat. Následoval otok ústní dutiny, bolest a neschopnost mluvit.

Indiáni na horním toku Amazonky přidávají díffenbachii pestrou ke kurare na otrávené šipy. Domorodci v Karibiku žvýkají rostlinu k dosažení dočasné neplodnosti, která trvá až 48 hodin.

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Diftenbachie>

za uvedení využití 0,5 bodu

za shrnutí poznatků v diskuzi a sepsání závěru 1 bod

Úloha 5: O buněčných oporách

Autor: Václav Bočan

Počet bodů: 15

1. Nezbytnost centriol pro dělení (lidských) buněk a fakt, že běžně nevznikají de novo, má významný důsledek při oplodnění oocyty spermií u člověka. Jak se to má s centriolou v lidském oocytu? S tímto vším souvisí jeden typ rozmnožování, který známe např. u krocana. O který jev jde? Je možný i u lidí? Proč ano/ne?

U většiny druhů skupiny Metazoa (skupina zahrnující mnohobuněčné živočichy včetně člověka) dochází v průběhu zrání oocyty k degradaci centrosomu. Jelikož je centrosom potřebný k dělení buňky, nemůže se bez něj oocyt rozdělit. Zachrání jej až spermie, která funkční centrosom přinese.

Míněným jevem je partenogeneze. Při ní se vyvíjí zárodek bez příspěvku DNA ze spermie; embryo má tedy pouze DNA od matky. Chybějící centrosom v oocyty partenogenezi zabraňuje, buňka se zkrátka nemůže rozdělit a zahájit embryogenezi. Partenogenetický vývoj je velmi vzácný; např. nastane, když dojde ke splnutí vajíčka se spermií, ale otcovská DNA se degraduje a mateřská zdvojí. (Jindy není spermie potřeba vůbec, centrosom se může vytvořit de novo nebo omylem v oocyty přetrvá.) Takové embryo však u savců není nikdy životaschopné, pro zdárný vývoj je potřeba kombinace mateřského a otcovského genomu. Zjednodušeně řečeno, některé geny jsou aktivní pouze na chromozomech od matky, jiné od otce; druhá kopie genu od druhého rodiče je umlčena. Když chybí všechny otcovské geny (celý genom spermie), neaktivní mateřské geny nedokáží zajistit potřebné funkce. Tento jev se označuje jako genový imprinting.

Ptáci však genový imprinting nemají a známe případy, kdy se partenogenetické krocany dožilo dospělosti.

celkem 4 body

za zmínku absence centrosomu (centrioly) v oocyty 1 bod

zmínka za centrosom (centriolu) přišedší se spermií 0,5 bodu

za pojem partenogeneze 1 bod

za odůvodnění, že bez centrosomu se buňka nemůže dělit 0,5 bodu

za vysvětlení imprintingu a označení jako příčiny nemožnosti partenogeneze u savců (člověk) 1 bod

2. Jaká je souvislost mezi rody *Taxus*, *Catharanthus* a *Colchicum* a mikrotubulárním cytoskeletem? Lze je nějak medicínským využít?

Tyto rostliny (tis, barvínek a ocún) obsahují látky působící na mikrotubulový cytoskelet. Paclitaxel (= taxol) z tisu zabraňuje rozpadu mikrotubulů. Tzv. vinca alkaloidy z barvínkovce a kolchicin z ocunu naopak brání polymeraci. Náзор na to, co přesně tyto látky s mikrotubuly dělají, se ovšem stále vyvíjí. Jisté je, že znemožňují dělení, pro které je potřeba mikrotubulární vřeténko plně funkční. Hojně se proto aplikují jako protinádorová léčiva.

celkem 1 bod

za zmínku látek působících na mikrotubuly 0,5 bodu

za protinádorovou léčbu 0,5 bodu

3. Můžeme aktin a tubulin označit za enzymy? Proč (ne)? Pokud ano, popište, jaké reakce katalyzují.

Ano, jsou to enzymy. Aktin je tzv. ATPáza, štěpí ATP za vzniku ADP a fosfátového zbytku. Tubulin (konkrétně β -tubulin) je GTPáza, štěpí molekuly GTP (guanosin trifosfát, chemicky velmi podobný ATP), vzniká GDP a fosfát.

Pro zajímavost, i α -tubulin váže GTP. Štěpit ho ale neumí, proto je na něm „pohřbeno“ (nemůže se odvázat, ale ani rozštěpit).

celkem 2,5 body

uvedení a vysvětlení, že se jedná o enzymy v obou případech 1 bod

za doplnění, že jen β tubulin štěpí GTP 0,5 bodu

správně obě reakce i s produkty po 0,5 bodu

4. Vysvětlete, co je a jak vzniká stav rigor mortis. Pomůže vám odpověď na předchozí otázku.

Stav rigor mortis (posmrtná ztuhlost) nastává asi 12 hodin po úmrtí. Projevuje se ztuhnutím kosterních svalů. Na vině je molekulární mechanismus svalového stahu. Myosin, molekulární motor aktinu, váže molekuly ATP. Když je ATP navázáno, myosin od aktinu odpadne. Naopak bez ATP se váže k aktinu velmi pevně.

Smrtí organismu (což je prvotně jen smrt mozková) nenastává zároveň i smrt všech buněk. Pochody a reakce v nich stále běží, dokud se nevyčerpají zásoby energetických zdrojů a kyslíku. V ten moment dojde i ATP, které již není vytvářeno, a nastane stav rigor mortis. Ztuhlost opět pomine s postupujícím rozkladem tkání, když se začnou rozkládat i molekuly aktinu a myosinu (asi po dvou dnech od úmrtí, podle teploty okolí).

za vysvětlení se zmínkou myosinu, aktinu, vaznosti s ATP a vyčerpání zásob ATP 1,5 bodu

za méně obsáhlé vysvětlení méně bodů

5. Stará rada při otravě muchomůrkou zelenou údajně doporučovala sníst mozek králíka. Je toto doporučení vědecky odůvodnitelné? Vysvětlete, jaký je mechanismus otravy a zda a jak by vám králíčí mozek mohl pomoci.

Lidé se nechávali inspirovat zvýšenou rezistencí králíka k otravě muchomůrkou k různým experimentům. Nervová tkáň (nejen ta králíčí) obsahuje přirozeně velké množství aktinu. Na aktin se váže faloidin, toxin z muchomůrky, a zabraňuje jeho depolymeraci. Teoreticky by bylo možné faloidin vyvázat nadbytkem aktinu z králíčího mozku, ovšem bylo by nutné mozek sníst dřív, než se faloidin vstřebá do krve. V roce 1932 byl publikován francouzský článek (autoři Limousin a Petit), ve kterém je dokumentován případ použití syrových králíčích mozků a žaludků jako léčba otravy muchomůrkou zelenou. Že není dobrý nápad ověřovat tuto metodu asi nemusíme zdůrazňovat. Navíc, muchomůrka zelená obsahuje i další jedovaté látky (zejména α -amanitin, blokuje RNA polymerázu), proti kterým aktin z mozku nepomůže.

celkem 2,5 bodu

za obsah aktinu v mozku 0,5 bod

za vědecky odůvodnitelné tvrzení (vyvázání faloidinu na aktin) 1 bod

za mechanismus otravy (stabilizace aktinových filament) 0,5 bodu

za konstatování, že mozek stejně nepomůže kvůli amanitinu 0,5 bodu

bonusově za vyšší rezistenci králíka k otravě 0,5 bodu

bonusově za hydrofobicitu toxinu a obsah tuků v mozku 0,5 bodu

6. Vysvětlete, proč nejsou na intermediárních filamentech žádné molekulární motory.

Na rozdíl od mikrofilament a mikrotubulů jsou intermediární filamenta nepolarizovaná, oba konce jsou nerozlišitelné. Motor by tak nevěděl, ke kterému konci má kráčet, a dopravu by tudíž nešlo efektivně řídit.

za vysvětlení se zmínkou nepolarizovanosti 1,5 bodu

méně bodů za nepřesné vysvětlení

další rozumná strukturní vysvětlení byla také obodována

7. Obr. 8 zachycuje histologický řez lidskou tkání. Část vlevo je zdravá tkáň, část vpravo vzorek pacienta trpícího genetickým onemocněním souvisejícím se středními filamenty. Co je na obrázku zachyceno, jak se nemoc jmenuje a jaká je její příčina?

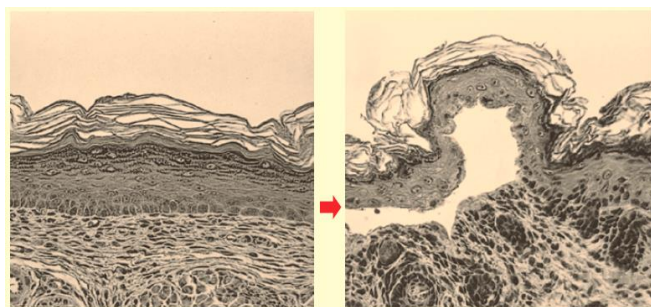
Na obrázku je řez lidskou kůží. Vpravo je stav při genetické nemoci epidermolysis bullosa, jejíž primární příčina tkví v mutaci genu/genů pro kožní intermediární filamenta (keratin) nebo jiné proteiny (kolagen, laminin, integrin). Závažnost se liší podle toho, v jaké hloubce kůže se mutovaná molekula vyskytuje (čím hlouběji, tím těžší projevy). Makroskopicky se nemoc projevuje různě, rychlejším opotřebováváním pokožky počínaje a tvorbou puchýřů (= odloučení vrchních vrstev kůže a pokožky, dobře patrné na obrázku vpravo) na místech otlaku konče. Vážnější formy tohoto onemocnění také znáte jako „nemoc motýlích křídel“ (odkaz na křehkost obou struktur).

celkem 2 body

za název nemoci epidermolysis bullosa 0,5 bodu

za řez kůží 0,5 bodu

za příčinu (mutace středních filament či kolagenu v pokožce) 1 bod



Obr. 8: Zdravá (vlevo) a patologická tkáň na histologickém řezu. (Alberts et al. Essential Cell Biology, 4th edition)

