

Biologický korespondenční seminář



Biozvěst

Ročník 9

Série 1

Milé řešitelky, milí řešitelé,

s velkým potěšením Vám nyní představujeme 1.sérii letošního již 9. ročníku Biozvěstu. Letošním ročníkem nás bude v rámci seriálových úloh provázet tematika SMRTI, v první seriálové úloze se zaměříme na forenzní entomologii. Další teoretické úlohy nás seznámí s tematikou planých neštovic, migrací buněk ale i s krásami určení pohlaví obratlovců. V praktické podzimní úloze nás bude zajímat rozklad listového opadu.

Jak řešit

Veškeré pokyny k řešení semináře získáte na [internetové stránce Biozvěstu](#) (nebo zadejte „Biozvěst“ do Google). Na stránce také naleznete přihlášku, kterou vyplíte (pouze v případě, že je tato série vaše první řešená v rámci aktuálního ročníku; **přidat se můžete kdykoli v průběhu roku**). Úlohy vám budeme zasílat automaticky na e-mailovou adresu uvedenou v přihlášce. Pokud budete chtít ukončit odběr novinek o Biozvěstu, napište nám e-mail.

Dále se k nám můžete připojit prostřednictvím [Facebooku](#), [skupina „Biozvěst“](#), kde lze probírat aktuality a diskutovat dle libosti. Nově nás můžete sledovat též na Instagramu (<https://www.instagram.com/biozvest/>).

Vaše řešení nám posílejte na adresu biozvest@gmail.com

Nejpraktičtější formou řešení bude prostý text v e-mailu, ale přijímáme veškeré formáty příloh. Každou úlohu pište do samostatného e-mailu a v předmětu uveďte **Ročník-Série-Úloha-Jméno_Příjmení**, např. **9-1-2-Bioslav_Biomilný** v případě druhé úlohy první série aktuálního ročníku. Moc nám pomůže, když uvedený zápis dodržíte (na jeho základě si došlá řešení filtrujeme).

Uzávěrka 1. série: pondělí 8. 11. 2021 ve 23:59.

Po oficiální uzávěrce necháváme pro opozdilce tzv. „penalizační týden“, kdy ještě můžete zasílat svá řešení, budou Vám bodově ohodnocena, ale musíte již počítat s bodovou penalizací. Strhávat se bude 1 bod za každý den v každé úloze, která v tomto období přijde. Maximální ztráta za úlohu je tedy - 7 bodů, pošlete-li úlohu v nejpozdější možný termín a zároveň minimální počet bodů za řádně řešenou úlohu po penalizaci nebude nikdy nižší než 1 bod. **Penalizační týden končí 15.11.2021 ve 23:59, po této době již nelze přimnout žádná řešení.** Další den bude vydáno autorské řešení pro 1. sérii.

Hodnocení Vašich řešení i výsledkovou listinu dostanete e-mailem do první poloviny ledna 2022.

Nelekejte se, když Vám přijdou úlohy na první pohled příliš těžké, ponořte se do informačních zdrojů a uvidíte, že na vše lze někde nalézt odpověď. Dobré tipy k řešení naleznete také na stránce Biozvěstu v sekci „Návody“. **Není nutné, abyste kompletně vyřešili všechny úlohy a asi se to ani nikomu nepodaří, stačí odeslat libovolně velký fragment. Vždy ale odpovídejte svými slovy;** překopírování textu odjinud je velmi ošemetné. Když už se k němu uchýlíte, vždy uveďte zdroj.

Oceníme, pokud připišete jakékoliv nápady či připomínky (např. úloha byla příliš lehká/těžká, nesrozumitelná, nudná), úlohy se pokusíme tvořit k Vaší maximální spokojenosti.

Veškeré dotazy či připomínky směrujte na adresy biozvest@gmail.com či ell.psenickova@seznam.cz (na druhé adrese máte větší šanci na rychlé zodpovězení otázky), nebo

na e-mailové adresy autorů konkrétních úloh. Kontakty naleznete na webu Biozvěstu.

Biodiverzitě a řešení Biozvěstu zdar!

za celý kolektiv autorů Biozvěstu

Eliška Pšeničková

Úloha 1: Plané neštovice

Autor: Kristýna Minářová

Počet bodů: 10

Na infekční ambulanci přichází 44letá pacientka. Před pěti dny jí začaly bolet klouby a dostala horečku přes 38°C. Následující den se jí objevila vyrážka na hrudníku, poté na obličeji, horních končetinách, dnes i na stehnech. Horečku měla 3 dny, nyní už má pouze zvýšenou teplotu. Nicméně již 3 dny se jí hůře dýchá, má produktivní kašel, bolí ji v krku - má pocit cizího tělesa v krku, obtížně polyká. Pacientka udává, že její syn měl před 2 týdny plané neštovice, nicméně ona je prodělala v šesti letech. Pacientka je kuřačka, kouří asi 15 cigaret denně. Při vyšetření zjištěna zasychající vyrážka na obličeji, makulopapulosa vyrážka na hrudníku, makulovesikulosa vyrážka na stehnech, lehce zvětšené lymfatické uzliny na krku, zarudlé hrdlo s drobnými papulkami, krční mandle nezvětšeny, dýchání vpravo oslabené při bazi, ojediněle s chrůpkou. Na provedeném rentgenu hrudníku je popsána zhrubělá bronchovaskulární kresba a v pravém plicním křídle jsou naznačeny drobné cárovité stíny, což by mohlo odpovídat počínajícím zánětlivým změnám.

1. Pacientka má pravděpodobně plané neštovice, jakým odborným termínem se označují?
2. Pacientka plané neštovice již nicméně prodělala. Uveďte důvody, proč by mohla onemocnět znovu.
3. Plané neštovice v dospělosti mohou mít poměrně závažné komplikace, tak jako tomu je u naší pacientky. O jakou komplikaci se jedná?
4. Naopak u dětí je průběh obvykle mírný, ale i v dětství se občas vyskytne jedna komplikace, která se rozvíjí až po odeznění akutního onemocnění.
5. Zatímco v dospělosti mohou být komplikace velmi vážný průběh, v dětství, i přes dramaticky vypadající průběh, komplikace samy odezní. Vysvětlete, jaký je rozdíl mezi vznikem komplikací v dětství a v dospělosti.
6. Změny na rentgenu a poslechový nález by mohl být vyvolán rovněž tzv. bakteriální superinfekcí. Vysvětlete, co tento termín znamená a jak byste ho odlišili od tzv. primárního virového zánětu.

Úloha 2: Krásy určení pohlaví aneb cesta za pohlavními chromozomy obratlovců.

Autor: Tomáš Charvát

Počet bodů: 14

Pohlaví. Slovo nejen v dnešní době poměrně často zmiňované, a to v mnoha různých kontextech. Ač poměrně intuitivní, je koncept pohlaví, jeho evoluce a systémy udržování v biologii dosti oblíbeným, a ne úplně triviálním tématem. Pohlaví jako takové rozlišujeme zpravidla u organismů pohlavně se množících nebo případně sekundárně asexuálních.

Obecně uznávaná teorie vzniku a příčiny odlišných pohlaví vychází z evoluce anizogamie, tedy stavu, kdy jedinci stejného druhu tvoří od sebe velikostně rozdílné gamety. Za samce jsou pak z definice pokládáni ti jedinci, kteří tvoří menší typ gamet (spermie), za samice ty s naopak většími gametami (vajíčka) a za hermafrodity jsou pokládáni jedinci tvořící oba typy gamet.

1. Z jakého stavu se anizogamie pravděpodobně vyvinula a jaké výhody s sebou přináší?
2. Pokuste se vyjmenovat a vysvětlit výhody i nevýhody gonochorismu a hermafroditismu (simultánního i sekvenčního).
3. Jaký typ anizogamie se vyskytuje u všech obratlovců a například i vyšších rostlin?

Pokud se podíváme na fylogenetickou distribuci a poměr hermafroditů vůči gonochoristům mezi obratlovcy, zjistíme, že minimálně v této skupině je hermafroditismus spíše vzácný a vyskytuje se téměř výhradně u ryb (například často zmiňovaní klauni nebo pyskouni). Existuje pár starých studií prezentujících existenci funkčního hermafroditismu u některých druhů obojživelníků, jsou ale minimálně diskutabilní a k jejich výsledkům by se mělo přistupovat s určitou mírou obezřetnosti. To samozřejmě ale nijak neodradilo tvůrce legendární ságy Jurského parku od použití žab jako příkladu sekvenčního hermafroditismu pro svou knihu. Nutno ovšem podotknout, že jsou známy způsoby, jak obojživelníky celkem jednoduše uměle donutit změnit pohlaví během života.

4. Který druh žáby inspiroval Michaela Crichtona k vytvoření pohlaví-měnicích dinosaurů?
5. Samci jedné početné čeledi žab jsou dokonce technicky (z definice), avšak ne funkčně, skutečně hermafroditi, a to díky speciálnímu orgánu obsahujícímu oocyty. O kterou čeleď a jaký orgán se jedná?

Jak se ale stane, že jsou u gonochoristů někteří jedinci samci a jiní samice? Klíč k této otázce pravděpodobně leží právě v sekvenčním hermafroditismu. Při něm se totiž jedinec narodí jako jedno pohlaví, ale později během života může dojít ke změně pohlaví, která je často vyvolána nějakým vnějším činitelem. Existuje teorie, že u gonochoristů je tato změna jen posunuta do prenatálního vývoje. Pokud k ní nedojde, organismus se vyvine jako jedno pohlaví, pokud ano, vyvine se pohlaví druhé. Změna pohlaví během dalšího života pak už není možná. Tímto jednoduchým posunem dostaneme environmentální určení pohlaví, systém známý především u mnoha druhů plazů.

6. Popište stručně, avšak výstižně, mechanismus environmentálního určení pohlaví plazů. Jaký faktor prostředí zde hraje především roli?
7. Jmenujte alespoň jednu skupinu plazů (libovolné taxonomické úrovně), která spoléhá striktně na ESD.

Z environmentálního určení pohlaví se v evoluci obratlovců mnohokrát nezávisle na sobě vyvinulo genotypické určení pohlaví (GSD), tedy stav, kdy je pohlaví určeno přítomností/absencí nebo dávkou určitého genu nebo vzácněji dokonce i více genů. Budoucí pohlaví jedince je tedy předurčeno už při vzniku zygoty a mezi samci a samicemi druhů s GSD existuje už z definice nějaká genetická odlišnost – narozdíl od druhů s ESD, kdy se jakákoliv zygota může stát samcem nebo samicí, pakliže to podmínky prostředí dovolí. Díky GSD se pohlaví konečně vymanilo z vlivů prostředí, což mimo jiné

vedlo například k vyrovnanosti poměru pohlaví ve snůšce. Vývoj GSD jde ruku v ruce s evolucí pohlavních chromozomů. Ta začíná v momentě, kdy se na páru autozomů objeví pohlaví-determinující lokus. Díky odlišné evoluční dynamice se pohlavní chromozomy mohou (ale nemusí) v mnoha aspektech lišit od autozomů.

8. Pokuste se vyjmenovat a oddiskutovat co jak nejvíce možných rozdílů (např. funkčních, morfologických, evolučních apod.) mezi pohlavními chromozomy a autozomy.
9. Které geny určují pohlaví u ptáků a savců, na kterém chromozomu se vyskytují a na jakém principu fungují (prezence/genové dávky)?
10. Jmenujte další libovolný obratlovčí gen určující pohlaví a skupinu (druh) u které se vyskytuje.

Již bylo zmíněno, že přechodů od ESD k GSD bylo prokázáno poměrně hodně. Změny v opačném směru jsou ale spíše vzácností. Byla proto formulována teorie, že pohlavní chromozomy mohou fungovat jako evoluční past, a že ztráta diferencovaných (heteromorfních) pohlavních chromozomů by byla spojena se snížením fitness. Nasvědčuje tomu jistý konzervatismus a evoluční stabilita pohlavních chromozomů u některých velkých linií nejen obratlovců. Například ten samý pár chromozomů určuje pohlaví většiny savců už více než 180 milionů let. Přechody mezi různými pohlavními chromozomy v rámci GSD a mnohem vzácněji i přechody od GSD zpět k ESD jsou však stále možné a ani pohlavní chromozomy nemusí mít stoprocentní vládu nad pohlavím u některých druhů. Pakliže zapůsobí specifické vnější podmínky, i u druhů s GSD může nastat stav, kdy výsledné pohlaví neodpovídá kombinaci pohlavních chromozomů daného jedince. Právě tento proces jako jeden z mála otevírá bránu zpětnému přechodu od GSD k ESD.

11. Jak se nazývá fenomén, díky němuž výsledné fenotypické pohlaví neodpovídá genotypickému a co ho může navodit?
12. Populace kterého druhu australského plaza, mimo jiné oblíbeného mazlíčka, zvládá přechod od GSD zpět k ESD za pouhou jednu generaci?
13. Jaké molekulární mechanismy mohou vést k nahrazení původního páru pohlavních chromozomů jiným párem?

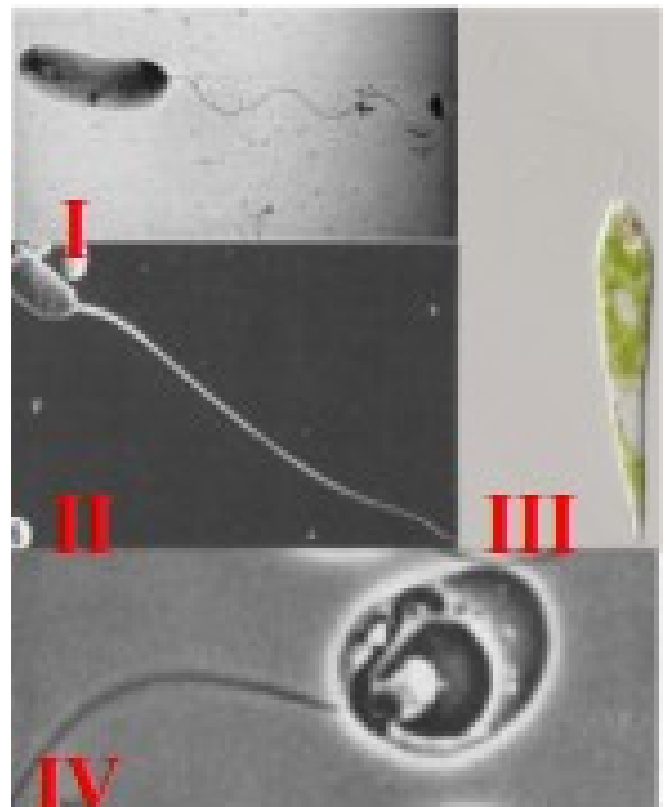
Úloha 3: Buňky, aneb cesty tam a zase zpátky

Autor: Kateřina Čermáková

Počet bodů: 20

Mnoho jednobuněčných organismů je schopno aktivní formy pohybu. **Pro jednobuněčný organismus může být schopnost migrace z místa na místo rozdílem mezi blahobytem a hladověním, přežitím a sežráním, nebo cestou k nalezení partnera pro pohlavní rozmnožování.** Zdálo by se, že v kontextu makroskopického mnohobuněčného organismu jsou migrace několik desítek mikrometrů velkých buněk snad i zanedbatelné a buňky, vyjma krevních elementů, pevně sedí na svém místě vázány v tkáních neměnného mnohobuněčného těla, nejvýše se občas rozdělí. Nenechme se zmást. Pro správné fungování i našich mnohobuněčných těl je neustálá migrace některých buněk velice důležitá. Roli hraje ve správném **fungování imunitního systému**, kdy jsou například imunitní buňky chemotakticky (za gradientem nějaké chemické látky) lákány do místa zánětu.

Dále se migrace uplatňují v **hojení zranění**, kdy je rána zacelelena pomocí buněk, které do ní cíleně domigrovaly. Migrace je v hledáčku mnoha badatelů také proto, že se může účastnit i patologických procesů, jako je **metastazování nádorů**. Samostatnou kapitolou jsou migrace buněk během **raných fází ontogeneze**. Během embryonálního vývoje tkáň prochází masivní přestavbou a děje jako **vznik zárodečných listů, morfogeneze** (vznik tvarů) nebo **organogeneze** (vznik orgánů) bývají spojené s migrací nejen jednotlivých buněk, ale rovnou celých masivních buněčných populací. Dějů během rané ontogeneze, pro něž je klíčová buněčná migrace, je nespočet. **Cílem této úlohy bude demonstrovat ohromnou diverzitu mechanismů, jakými se buňky, ať již ve volném prostředí nebo uvnitř mnohobuněčného organismu, mohou vlastním přičiněním dostávat z bodu A do bodu B.** Typickým přízpůsobením buněk k pohybu je přítomnost bičíku. Vlákňité buněčné přívěsky schopné rozpohybovat celou buňku nacházíme napříč stromem života od bakterií až po savce. Učebnicovým příkladem je **bičík krásnoočky (Euglena)** nebo treпка (*Paramecium*) rejdicí ve vodě za pomoci obrovského množství synchronně se pohybujících **cilií (brv)**. **Eukaryotické bičíky i brvy (cilie) mají totožnou strukturu a mechanismus pohybu**, kterými se budete zabírat v následujících otázkách. **Termínem brvy bývá zvykem označovat kratšoučké bičíky, jichž však bývá na jednu buňku enormní počet a nežádka se pohybují synchronizovaně.**



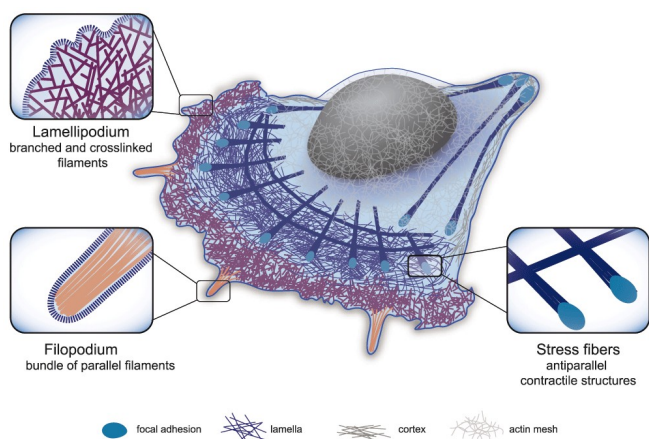
Obr. 1: Bičíkatá stádia organismů. I - *Vibrium cholerae*, II - spermie králíka; III - krásnoočka (*Eutreptia* sp.); IV - zoospora parazitické houby *Blastocladia emersonii*.

- Ačkoliv strukturu, kterou nazýváme bičíkem, nalezneme u buněk eukaryotických i bakteriálních, jedná se o velice rozdílné struktury.
 - Popiš stručně strukturu eukaryotického i prokaryotického bičíku. Z jakých hlavních komponent se skládají?
 - Jakým způsobem je pohyb obou typů bičíků poháněn?
 - Na obrázcích níže vidíš čtyři bičíkaté organismy/bičíkatá stádia organismů. I – *Vibrium cholerae*, II – spermie králíka; III – krásnoočka (*Eutreptia* sp.); IV – zoospora parazitické houby *Blastocladia emersonii*. Na základě umístění bičíku/ů urči u každé z buněk přibližný směr, jakým se bude/může v nejbližší době pohybovat (samozřejmě nepočítej s otočením buňky ;)). Směr nejlépe zanech šipkou do obrázku.
- Ne všechny bakterie mají bičíky. I bez bičíku však mohou být schopné aktivně se pohybovat – například mohou formovat kolonie nebo biofilmy zvláštním trhavým pohybem (twitching motility). Ten je sice v porovnání s pohybem za pomoci bičíku pomalejší, pořád je to ale pohyb a má i své výhody. Takový trhavý pohyb si můžeš prohlédnout třeba zde na tomto videu: <https://www.youtube.com/watch?v=yGMSQNBdQ48>. Jakým způsobem bakterie tento typ pohybu provádí?
- Archea jsou podivná, v mnohých ohledech odlišná od bakterií a často se na ně zapomíná. My je však neopomeneme. Nacházíme u archeí také bičík? Pokud ano, uveď, jaké vlastnosti má společné s eukaryotickým, případně bakteriálním, bičíkem.
- Jedinou bičíkem se aktivně pohybující lidskou buňkou je spermie. Uvnitř našich těl se buňky pohybují jinými mechanismy než za pomoci bičíků. Některé buňky našeho těla však disponují **pohyblivými ciliemi na svém povrchu** a to i přes to, že se pomocí nich nepohybují z místa na místo. K čemu takové buňky slouží? Uveď alespoň 2 místa v těle, kde se s nimi můžeme setkat.
- Ačkoliv **většina živočišných spermií využívá klasický bičík**, pro některé skupiny - např. hlístice (Nematoda) - je charakteristická tvorba měňavkovitých spermií, které se pomalu “pláží” po podkladu. Jaký/é protein/y je/ jsou hlavní komponentou pohybového aparátu, který využívá třeba taková spermie háďátka nebo škrkavky?
- Ačkoliv bičíky nebo cilie umožňují velice efektivní pohyb v řídkém vodním prostředí, pro pohyb napříč komplexním 3D prostředím lidského těla se bičík jeví jako nepraktický. Buňky si však našly několik způsobů pohybu, jež se zakládají na **polymeraci cytoskeletu - konkrétně akti-**

nových mikrofilament. Aktin tvoří relativně odolná vlákna, která jsou polarizovaná (mají dva odlišné konce, tzv. + a -) a mohou se po nich pohybovat **molekulární motory - myosiny.** Aktinový cytoskelet často tvoří **svazky paralelně probíhajících vláken**, která mohou být **po sobě posouvána právě myosiny**, čímž dojde ke kontrakci takového svazku. Posouvání vláken aktinu pomocí molekulárního motoru myosinu je mj. i **principem stahu svalových vláken**, ale využívají jej i migrující buňky, které jinak se svaly nemají moc společného.

Takováto migrující buňka je pak polarizovaná - můžeme u ní snadno rozlišit 2 konce - **vedoucí okraj (leading edge)** a **koncový okraj (trailing edge).** Na **vedoucím okraji**, který prozkoumává a proráží cestu před sebou, je **aktivní skelet neuvěřitelně dynamický** a podílí se na vytváření různých **výběžků cytoplazmy - filopodií, lamelipodií, invadopodií** a dalších. Na tomto okraji také můžeme často pozorovat **proteolytickou aktivitu** - buňka do svého okolí může sekretovat koktejl enzymů, který pomáhá rozvolnit mezibuněčnou hmotu. **Mezibuněčná hmota migraci buněk silně ovlivňuje:** její struktura, velikost pórů, hustota, pružnost, složení, degradabilita různými enzymy nebo schopnost buněk vytvářet s tou či onou mezibuněčnou hmotou spoje - to vše má vliv na to, jaké buňky a jakým způsobem se budou skrže dané prostředí pohybovat.

- V textu výše se vyskytují pojmy označující různé výběžky cytoplazmy - filopodia, lamelipodia, invadopodia. Stručně charakterizuj všechny tři zmíněné pojmy.
- Jak se na pohybu podílí struktura nazývaná stresová vlákna?
- Základní dva typy pohybu závislého na aktinovém cytoskeletu je pohyb amébovitý (měňavkovitý) a mesenchymální. Stručně oba typy charakterizuj. Jaké jsou jejich výhody a nevýhody?



Obr. 2: Migrující buňka se zvyrazněnými strukturami aktinového cytoskeletu. – <https://f1000research.com/articles/4-940>

- Že se pomocí aktinového cytoskeletu pohybuje leckterá eukaryotická buňka by vám nyní mělo být jasné. Existují však i poměrně obskurní případy **bakterií, jež se také dokáží pohybovat za pomoci proteinu aktinu.** Není to zcela zanedbatelné, neboť některé takto se pohybující bakterie jsou nepříjemnými lidskými **patogeny** a tento pohyb jim mj. umožňuje efektivnější **infikování dalších buněk.** Uveď příklad alespoň jedné bakterie, která se dokáže po-

hybovat z místa na místo za pomoci aktinu. Jak takový pohyb funguje?

- Mnohé řasy, například rozsivky (*Bacillariophyceae*), které jsou součástí bentosu (tzn. žijí na dně), bičíky postrádají a vzhledem k jejich pevným schránkám, u rozsivek z oxidu křemičitého, by to ani s měňavkovitým pohybem nebylo slavné. I tyto organismy se však čas od času potřebují přesunout - například se dostat ze stínu nebo najít vhodného partnera. Některé řasy tento problém řeší vytvořením **bičíkatých, zároveň často pohlavních, stadií.** Některé rozsivky však vůbec žádná bičíkatá stadia nemají, místo toho si našly jiný způsob, jak se pohnout z místa. Jakým způsobem se bentické (nejen) rozsivky mohou pohybovat po podkladu? Jaká morfologická struktura, dobře patrná na jejich schránkách, rozsivkám významně napomáhá v tomto typu pohybu?
- Nejen bentické vodní organismy, ale i ty planktonní se občas setkávají s momenty, kdy se hodí lépe korigovat své souřadnice. Zvláště pro autotrofní **fytoplankton** je klíčové **udržet se blíže vodní hladině**, kde je nejvíce dostupného světla pro fotosyntézu. **Sedimentační stres** vedl v evoluci fytoplanktonu buďto k **převaze bičíkatých morfotypů**, a nebo ke **zplošťování buněk** a vytváření různých výběžků pro zpomalení sedimentace. U některých sinic se vyvinula ještě jiná strategie pro přesné udržení výšky ve vodním sloupci. Buňky některých bezbičíkatých planktonních sinic pomocí jisté organely dokáží velmi přesně regulovat svoji pozici ve vodním sloupci. Jakým termínem tuto strukturu označujeme a na jakém principu funguje?
- Pravdou je, že u mnohobuněčných rostlin je pohyb buněk z místa na místo výrazně omezen. Buňky jsou k sobě pevně vázány v pletivech a rigidní buněčná stěna pohyb vůbec nezlehčuje. **Některé vyšší rostliny dokonce samostatně pohyblivá stadia úplně postrádají.** Existují mezi rostlinnými buňkami však i jisté, pohyblivé, výjimky. U jakých skupin vyšších rostlin (*Embryophyta*) můžete nalézt buňky schopné aktivně se pohybovat z místa na místo (a které naopak pohyblivá stadia postrádají)? O jaké buňky se jedná a jakým způsobem se pohybují?

Úloha 4 (experimentální): Velké jesenné upratovanie

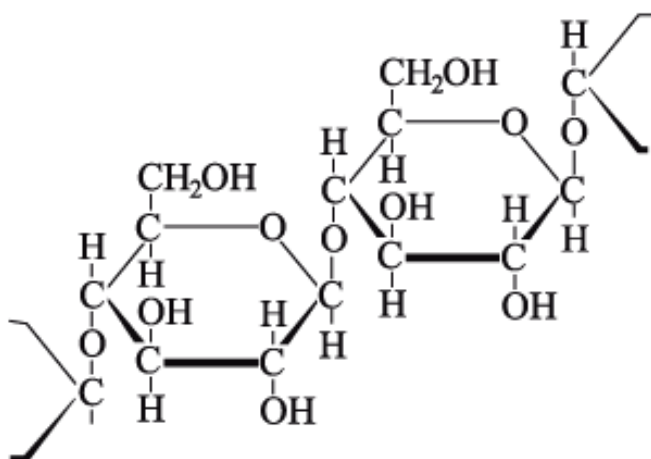
Autor: Veronika Kučminová

Počet bodů: 14

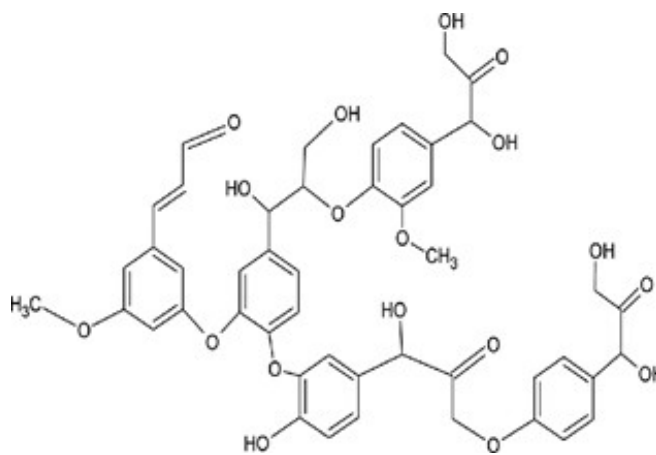
Po letných prázdninách opäť nastala jeseň, teploty pomaly klesajú a dni sa čoraz viac skracujú. Tieto dva javy sú najdôležitejším signálom pre prechod drevín z vegetačného obdobia do obdobia dormancie, ktoré sa začína charakteristickým opadom lístia. Stromy na zimu zhadzujú svoje listy najmä z dôvodu, aby sa vyvarovali stratám vody, ktorá v zimnom období môže byť ťažko dostupná. Postupne vznikajúci listový opad tvorí významnú súčasť biomasy našich ekosystémov. Priemerné množstvo detritu môže dosahovať až 50–100 ton/ha, z toho listnatý opad tvorí 5–10 ton/ha. Doba rozloženia listov na humus trvá väčšinou 2–3 roky v závislosti na konkrétnom druhu stromu a klimatických podmienkach. V trópoch väčšinou postačí spracovaniu opadu niekoľko mesiacov, naopak rozklad v aridných oblastiach trvá i niekoľko desaťročí.

Počas rozkladu opadu pozorujeme sukcesiu organizmov vďaka postupnej zmene charakteru substrátu spojenej s vyčerpaním určitých živín, kvôli ktorej dochádza k zániku pôvodného spoločenstva a nástupu nových skupín, ktoré rozkladajú metabolity svojich predchodcov a predtým nevyužitú živinu. Cieľom našej prvej praktickej úlohy bude popísať prvotnú fázu rozkladu listového opadu a určiť skupiny, ktoré sa na tomto procese podieľajú.

1. K štúdiu dekompozície sa najčastejšie využívajú tzv. opadové sáčky (litter bag) s rôznou veľkosťou ok, ktoré určujú ako veľké organizmy sa môžu podieľať na rozklade hmoty. Vám postačia dva plastové sáčky ako kontrola, dve vyrobené vrecká z nepoškodenej silonky a dve vrecká zo silonky, do ktorej vytvoríme niekoľko 0,5-1cm dierok. Všetky tri druhy vreciek naplníme zmesou (najlepšie čerstvo opadaného) listia o rovnakej hmotnosti a druhového zloženia (min. z 5 rôznych druhov stromov). Uzavreté sáčky zahrabte do zeme niekoľko centimetrov pod povrch v blízkosti listnatých stromov, ideálne do lesnej pôdy. Každý deň vrecká kontrolujte po dobu minimálne dvoch týždňov (ideálne čo najdlhšie). Vyberte ich obsah na bielu podložku, zaznamenajte vzhľad a hmotnosť opadu a sledujte nástup a prítomnosť živočíšnych druhov, húb a plesní, ktoré sa pokúste pomocou literatúry čo najpresnejšie taxonomicky zaradiť. Sledujte najmä či a ako sa líši priebeh rozkladu medzi jednotlivými vreckami. Celý experiment podrobne popíšte a vyhodnoťte aj s fotodokumentáciou do protokolu (návod: <http://biozvest.arach.cz/navody.html#TOC-Vzorov-protokol-praktick-lohy>).
2. Na základe literatúry sa v diskusii protokolu pokúste podrobne popísať sukcesiu organizmov počas celého procesu dekompozície listia a porovnajte ju s vašimi výsledkami.
3. Listy, ktorého druhu stromu z vášho výberu sa rozkladajú pravdepodobne podľa vášho pozorovania najrýchlejšie a ktoré najpomalšie? Čo spôsobuje odlišnú dobu dekompozície rôznych druhov stromov (aspoň 2 príčiny)?
4. Počas dekompozície dochádza ku rozkladu jednoduchších aj zložitejších organických látok. Ako sa nazývajú látky znázornené týmito chemickými vzorcami (obr. 3 a 4)? Uveď ako sa nazýva a popíš v čom sa líši ich dekompozícia, a napíš príklad rodu aspoň jedného organizmu, ktorý sa na ich rozklade podieľa.



Obr. 3: Molekula látky A.



Obr. 4: Molekula látky B.

Úloha 5 (seriálová): Mňam, co to tu tak krásne smrdí?

Autor: Jan Simon Pražák

Počet bodů: 18

Mrtvá těla obratlovců představují významný mikrohabitat hostící velkou diverzitu organismů z mnoha vývojových linií. Z ekologického hlediska se jedná o nutričně velmi bohatý zdroj potravy, který je relativně krátkodobý a objevuje se ostrůvkovitě a náhodně. Proto se u organismů, které jsou na něj vázané, vyvinula schopnost najít tyto zdroje na velké vzdálenosti pomocí těžkých aromatických látek, které se z nich uvolňují. U lidí se v průběhu evoluce vyvinul přirozený odpor vůči mršinám a zápach z rozkládajících těl nás varuje před rizikem infekcí, pro jiné druhy však slouží jako pozvánka k hostině.

Hmyz je druhově nejbohatší linie živočichů (více než polovina všech popsanych druhů organismů) a adaptoval se takřka na veškeré habitaty (snad kromě slaných vod, kde hmyz najdeme jen velice okrajově). V rámci rozkladu mrtvých těl živočichů hrají významnou roli zejména zástupci brouků a dvoukřídlých. Podívejme se nyní na nejvýraznější skupiny, které na mrtvolách v našich podmínkách typicky nacházíme.

Dvoukřídlí (Diptera)

Bzučivky (Calliphoridae)

Dospělci bzučivky jsou typicky kovově lesklí. Jsou jedněmi z prvních návštěvníků mršin, na které kladou vajíčka. Na čerstvých mršinách často můžeme nalézt velké množství jakési drobounké rýže, což bývají právě vajíčka bzučivky. Z vajíček se líhnou larvy, které celý svůj vývoj prodělají na mršině, na níž se živí rozkládajícími se měkkými tkáněmi. Dospělé bzučivky proto vajíčka kladou zejména k otvorům v kůži, kudy larvy mohou snadněji vniknout pod ní. Proto vajíčka prvních bzučivky nalezneme zejména v okolí očí, ústního a řitního otvoru, případně na otevřených ranách.

Rozkládající se měkké tkáně ovšem někdy nacházíme i na živých tělech v případě ran s infikovanou nebo nekrotickou tkání. Ty se často vyskytují u závažnějších popálenin, bércových vředů či u pacientů s diabetem II. typu. Některé bzučivky (např. *Lucilia sericata*) se proto využívají pro čištění právě takových ran (tzv. larvální terapie). Červi pečlivě vyžerou veškerou mrtvou hmotu, živé maso však nechají neporušené a rána se může začít hojit. Pokud mrtvolu osídlí bzučivky (a další dvoukřídlí) ve velkém množství, mrtvé tělo

může být jejich larvami doslova naplněno. A protože v této fázi rozkladu nemusí být kůže ještě porušená, lze na ní někdy pozorovat vlnění způsobené larvami lezoucími uvnitř těla. Larvy bzučivek (a dalších dvoukřídlých) tak daly vzniknout rčení „už s ním hýbají červi“.

Kromě mršin využívají larvy bzučivek ke svému vývoji rovněž trus. Dospělci bzučivek se živí nektarem z květů a slouží tak jako opylovači některých rostlin.



Obr. 5: Bzučivka (*Lucillia* sp.). – [Thuin-thijs.com](https://thuin-thijs.com)

Masařky (*Sarcophagidae*)

Velká část druhů masařek rovněž využívá mršiny pro vývoj svých larev. Existují však i druhy osidlující mrtvá těla různých bezobratlých či rozkládající se rostlinnou hmotu. Larvy některých nekrofilních druhů jsou fakultativně dravé, požírají drobnější larvy dvoukřídlých.



Obr. 6: Masařka *Sarcotachina umbrinervis*. – [Scratchpad Team](https://scratchpad.team).

Mouchy (*Muscidae*)

Další čeledí dvoukřídlých, která se na mršinách může objevit, jsou mouchy. Larvy této skupiny využívají různé substráty a mrtvá těla obratlovců jsou jedním z nich.



Obr. 7: Moucha čeledi *Muscidae*. – <https://genent.cals.ncsu.edu/>

Brouci (*Coleoptera*)

Mrchožroutovití (*Silphidae*)

Čeleď mrchožroutovitých zahrnuje dvě podskupiny – mrchožrouty (*Silphinae*) a hrobaříky (*Necrophorinae*). Zástupce obou skupin můžeme běžně najít ve spojitosti s mršinami. Jedná se o poměrně velké brouky často pestrého zbarvení. Živí se buď rozkládající se živočišnou hmotou, nebo loví larvy dvoukřídlých. Někteří hrobaříci zahrabávají část mršiny pro své larvy, aby jim pomohli vyhnout se kompetici s larvami dvoukřídlých. Rozvinutost jejich péče o potomstvo je na poměry u hmyzu pozoruhodná – o larvy se starají oba rodiče, po zahrabání mršiny a naklazení vajíček do půdní dutiny u ní lákají vylíhlé larvy k potravě pomocí stridulace. Zprvu, dokud nejsou schopny sami se živit na mrtvole upravené do kulovitého tvaru, rodiče také larvy přímo krmí natrávenou potravou.



Obr. 8: Hrobařík malý (*Nicrophorus vespilloides*). – [Amadej Trnkoczy](https://amadej.trnkoczy.com).



Obr. 9: Mrchožrout rudoprsý (*Oiceoptoma thoracicum*). – Jofre.

Kožojedovití (*Dermestidae*)

Brouci rodu kožojed (*Dermestes*) se na mrtvolách vyskytují většinou až v pozdějších fázích rozkladu. Někteří kožojedi jsou schopni trávit keratin, a proto jsou schopni využívat zdroje, o které není tak vysoký konkurenční tlak (jako je tomu v případě měkkých tkání). Kožojedi jsou využíváni k tvorbě kosterních preparátů.

1. Proč se při preparaci koster obratlovců využívají právě kožojedi spíše než jiné skupiny nekrofágního hmyzu? Uveďte alespoň tři důvody.



Obr. 10: Kožojed šedý (*Dermestes maculatus*). – Scott Nelson.



Obr. 11: Kožojedi čistící lebku kopytníka. – Ken Hansen.

Mršníkovití (*Histeridae*)

Zástupci čeledi mršníkovitých jsou ekologicky velice rozrůz-

nění. Velká část druhů se vyskytuje na mršinách (díky čemuž získali svůj český název). Larvy i dospělci zde mají roli predátorů, na mršinách loví především larvy dvoukřídlych.



Obr. 12: Mršník *Saprinus* sp. – Nikolai Yunakov.

Drabčíkovití (*Staphylinidae*)

Drabčiči jsou protáhlí brouci se zkrácenými krovkami. Představují jednu z nejrozmanitějších linií brouků. Velká část druhů jsou predátoři, z nichž někteří vyhledávají svou kořist (larvy hmyzu) právě na mršinách.



Obr. 13: Drabčik páskovaný (*Creophilus maxillosus*). – Graham Calow, NatureSpot.

Pestrokrovečnickovití (*Cleridae*)

Většina druhů pestrokrovečníků se nachází na květech či v asociaci s mrtvým dřevem. Takovou výjimkou této čeledi je rod *Necrobia*. Tito kovově modří brouci jsou predátoři hmyzu vyvíjejícího se na mršinách v pozdější fázi rozkladu, živí se zejména larvami kožojedů.



Obr. 14: Paličník tmavý (*Necrobia violacea*) z čeledi pestrokrovečnickovití. – Siga.

- Na základě uvedených informací (popř. informací, které jste si dohledali navíc) zkuste vytvořit schéma potravních vztahů na rozkládající se mřšině použitelné jako naučný obrázek na nástěnce či informační tabuli. Schéma by mělo zobrazovat alespoň šest z osmi uvedených linií a měly by z něj být zřetelné vztahy mezi jednotlivými organismy. Schéma můžete vypracovat buď digitálně, nebo nakreslit ručně na papír a oskenovat. Bude se hodnotit správnost a úplnost, názornost a pečlivost vypracování.

Na mřšinách se můžeme setkat také s jinými skupinami hmyzu, které ale s mřšinami typicky asociovány nejsou. Mohou to být např. mandelinky či někteří motýli. Co mohou takové skupiny na mrtvolách pohledávat?

- Na velkých broucích asociovaných s mřšinami (ale také s trusem) často nacházíme roztoče, kteří se těmito brouky nechají přenášet. Tento jev nazýváme foreze. Proč jsou foretičtí roztoči nalézáni právě na těchto broucích?

Nekrofilní hmyz je velmi důležitým nástrojem v kriminalistice. Tzv. forenzní entomologie se snaží pomocí dat o rychlosti kolonizace mřšiny hmyzem a délce vývoje larválních stádií určit post mortem interval, tedy dobu uplynulou od úmrtí jedince. (Mimochodem pro studium procesu rozkladu těl existují tzv. body farms – místa, kde vědci nechávají za různých podmínek rozkládat lidská těla).

- Pro relativně krátké post mortem intervaly jsou ideálním nosičem informací larvy dvoukřídých. Je nicméně nutné pamatovat na to, že doba uplynulá od kolonizace se nemusí nutně shodovat s post mortem intervalem. Může být stejně dlouhá, nebo kratší, nebo dokonce delší. Zkuste vymyslet, za jakých podmínek mohou nastat tyto případy.

Proces rozkladu mrtvého těla je sukcesní – tělo nabízí novou neobsazenou niku, která je postupně osídlována, dochází k vývoji na ní vázaných společenstev a spěje ke klimaxovému stádiu (tím je většinou již holá kostra). V případě lidských těl forenzní entomologové rozlišují následující stádia:

I. Čerstvé tělo. Tato fáze nastává ihned po smrti jedince. Tělo z počátku přitahuje i mravence a vosy, kteří se živi ještě čerstvými tkáněmi. Zároveň velmi brzy tělo naleznou rovněž bzučivky, které na něj nakladou vajíčka. Mrtvolu nalézají díky různým tělním tekutinám, proto rychleji osídlí těla, která jsou například poraněná, zkrvavená apod. Bzučivky jsou pro forenzní entomology jednou z nejdů-

ležitějších skupin pro určení stáří mrtvolky.

II. Nadmuté tělo. Rozkladnými procesy (v tuto chvíli zejména díky bakteriální činnosti v trávicím traktu) dochází k tvorbě plynů. V teplejším prostředí nastane tato fáze rychleji. V této fázi mřšina přitahuje kromě bzučivek rovněž masařky a mouchy (zejména rod *Muscina*). Dále přilétají první brouci – někteří mrchožrouti.

III. Biochemicky aktivní rozklad. V této fázi dochází ke zmýdelňování tuků a fermentaci proteinů. Vznikají různé těkavé látky, z nichž hlavním atraktantem je kyselina máselná. Na mrtvolu přilétají další skupiny dvoukřídých (např. sýrohlodkovití (*Piophilidae*), kmitalkovití (*Sepsidae*) a slunilkovití (*Fanniidae*)) jakožto i první predátoři nekrofilního hmyzu – drabčící a mřšníci, popř. někdy lesknáčci (*Nitidulidae*). Na sušších částech těla se objevují i první kožojedi a pestrokrovečnici.

IV. Pokročilý rozklad. Dochází ke čpavkové fermentaci měkkých tkání. Kromě již přítomných skupin hmyzu přibývají hrbilky (*Phoridae*)

V. Vysychání zbytků tkání. Z hmyzu dominují zejména kožojedi, hrbilky a sýrohlodky, popř. pestrokrovečnici. Přibývají rovněž brouci hlodáčovití (*Trogidae*).

VI. Kosterní zbytky. Většina nekrofilního hmyzu již mrtvolu nevyužívá, zbývají někteří kožojedi, hlodáči a roztoči, kteří rozkládají zbytky chlupů, chrupavek apod.

Zodpovězte následující otázky:

- Které skupiny hmyzu většinou na jedné mřšině vystřídají několik generací a které naopak po dosažení stádia imaga odlétají hledat novou mřšinu? Čím je to dané?
- Proč jsou některé skupiny nekrofilního hmyzu pro forenzní entomologii důležité a jiné nikoli?
- Jaký fyzikální faktor zejména ovlivňuje rychlost rozkladu?
- Bonusová otázka:** V rámci celé úlohy jsme se zabývali hmyzem na mrtvolách v suchozemském prostředí. Jak je to ale v prostředí mořském, které hmyz nikdy nekolonizoval? Kteří živočichové se postarají o rozklad těl obratlovců na mořském dně?



Obr. 15: Postupná degradace mrtvého těla prasete domácího. – Zdroj: Hana Šuláková, Živa 5/2014.

