

Biologický korespondenční seminář



Biozvěst

Ročník 7

Série 4

Milé řešitelky, milí řešitelé,

letošní jaro a Velikonoce jsou asi v lečtem dost jiné, než jsme si všichni představovali, nicméně i tak je tu pro Vás čtvrtá série Biozvěstu. Tentokrát vám nabízíme možnost zabrousit do fytoecologie, ekotoxikologie či diagnostiky; praktická úloha vás potom provede objevováním fauny uvnitř vašich vlastních domovů. V seriálu se můžete těšit na vyprávění o matematice v biologii.

Ještě nevíme, jestli současná omezení umožní plánovanou jarní Expedici Biozvěstu - budeme vás včas informovat.

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 řešení 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.

Vaše řešení nám posilejte 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. 7-4-5-Bioslav_Biomilný v případě páté úlohy čtvrté série aktuálního ročníku. Moc nám pomůže, když uvedený zápis dodržíte (na jeho základě si došlá řešení filtrujeme).

Uzávěrka 4. série: pondělí 18. 5. 2020 o půlnoci.

Vyhodnocení vašich řešení dostanete e-mailem.

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 odpověďte 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 směřujte na adresy biozvest@gmail.com či simonova.jasna@gmail.com (na druhé adrese máte větší šanci na rychlé zodpovězení otázky), nebo na e-mailové adresy autorů konkrétních úloh. Kontakty naleznete na webu Biozvěstu.

Biodiverzité a řešení Biozvěstu zdar!

Jasna Simonová & kolektiv autorů

Úloha 1: Zvěstování o fytoecologii

Autor: Jakub Štenc

Počet bodů: 24

Fytoecologie, známá také jako nauka o vegetaci, je obor s dlouhou historií, který se vyžíval v třídění vegetace do různých vegetačních jednotek na základě toho, jak a které rostliny pospolu rostou. Přestože se může zdát, že jde o suchopárnou zábavu akademiků bez většího užitku, opak je pravdou! Nejenže je klasifikace vegetace založena na třídění společenstev dle podobnosti, ale odráží také ekologické procesy, které formují naši přírodu. Slyšte nyní více o této nauce!

1. Nejdříve se zaměříme na to, jak jsou společenstva tříděna. Současná klasifikace užívá čtyři základní úrovně. Vypište je, napište jak jsou tvořena latinská jména a uveďte platný příklad pro každý stupeň.

2. Který dokument upravuje formální strukturu fytoecologické klasifikace, díky kterému máme celosvětově platná pravidla na tvorbu názvů fytoecologických jednotek?

Tento dokument je důležitý z jednoho prostého důvodu: díky němu jsou si lidé, kteří se zabývají vegetací, schopni porozumět i přes celou zeměkouli. To je cenné například při plánování ochrany přírody v rámci Evropské unie, ale i při snaze o makroekologický výzkum; tedy takový výzkum, který se snaží velice zobecnit naše poznatky a popsat fungování přírody z globální perspektivy, což jde snadněji, když jsou použita stejná pravidla pro popis a třídění společenstev.

Dále se podívejme na faktory, které mohou ovlivňovat složení společenstva rostlin. Začneme s těmi abiotickými.

Abiotické faktory, tedy faktory neživé složky přírody, ovlivňují především prospěch druhů na daném stanovišti. Dobrým příkladem je teplota – mnohé druhy jsou schopné přežít jen v určitém rozmezí teplot a zase jejich schopnost přežít v těchto teplotách podmiňuje následně složení společenstva. I proto zpravidla nenajdeme v bukovém lese mírného pásma planě rostoucí banánovník.

Odpovězte na následující otázky. Náповědu můžete najít třeba na webu Pladias.cz nebo v různých publikacích o vegetaci České republiky.

3. Zkuste popsat rozdíl mezi vegetací svazu *Juncion trifidi* a *Nardo strictae-Caricion bigelowii*. Tyto společenstva jsou si ekologicky velmi blízká a často na sebe navazují, nicméně je tu jeden zásadní abiotický faktor, který podmiňuje výskyt jednoho na úkor druhého. Zkuste tento abiotický faktor jmenovat.

4. Posuňme se od hor k nížinám a skočme rovnou do luk a mezofilních pastvin. Soustředme se na tři svazy a to: *Deschampsion cespitosae*, *Calthion palustris* a *Molinion caeruleae*. Tyto svazy seřadte dle toho, jak vysoké by jste při jejich návštěvě potřebovali holínky (od nejvyšších po nejnižší).

5. Pojďme dále do lesů a to do doubrav. Na našem území lze nalézt několik typů doubrav, které se liší afinitou k různým typům substrátu. Vyjmenujte všechny typy našich doubrav (svazy, kde je dub důležitým pro podobu vegetace a není zastoupen jen minoritně) a připojte informaci o tom, na jakém typu substrátu se vyskytují. Který z těchto svazů je druhově nejbohatší? U doubrav svazu *Aceri tatarici-Quercion* je těžké zobecnit afinitu k jednomu typu substrátu – takové případy jsou poměrně časté, neboť na

společenstva rostlin působí obvykle více faktorů naráz a překryjí tak význam jiných faktorů. Zkuste tedy vymyslet, alespoň jeden další abiotický faktor mimo substrát, které může ovlivňovat výskyt svazu *Aceri tatarici-Quercion*.

6. Teplota, sníh, voda a substrát – čtyři důležité abiotické faktory, které již v otázkách zazněly. Zkuste vymyslet alespoň dva další, které mohou mít vliv na podobu společenstva rostlin.

Po abiotických faktorech tu jsou faktory biotické. Tedy vliv dalších druhů rostlin nebo zvířat na složení společenstva.

7. Proč jsou akátiny převážně druhově chudé a proč jsou akátiny svazu *Euphorbio cyparissiae-Robinion pseudoacaciae* tak trochu výjimkou z tohoto pravidla?

8. Výrazný vliv na podobu společenstva mají zvířata a člověk. Hezkým příkladem může být například sešlap v okolí cestiček zvěře a lidských sídel a staveb. Které vegetační svazy by jste v jejich okolí mohli najít? Jaké jsou typické vlastnosti rostlin takových míst?

9. Jak to, že se tyto rostliny zpravidla nevyskytují v okolním porostu (nebo minimálně nikoliv tak často)?

10. Proč je nutné louku pro udržení jejího druhového složení kosit ale pastvinu nechat spásat? V čem se liší kosení od pastvy z pohledu společenstva rostlin?

A co na to historie?

Jak již bylo řečeno, společenstva nejsou náhodná uskupení rostlin – jejich složení podmiňují ekologické faktory. Mimo ně je ale dalším důležitým prvkem historie: ať již se jedná o dlouhodobější perspektivu, tak i o poměrně (alespoň z geologického pohledu) „kratší“ období, ve kterém hrál svou roli i člověk.

11. Jaké klimaticky dobře ohraničené období hrálo největší vliv na vývoj současných (nejen) rostlinných společenstev ve střední Evropě před příchodem prvních zemědělců?

12. Jaký byl dopad prvních zemědělců na krajinu střední Evropy? Které jejich činnosti a procesy s nimi spojené se podepsaly na změně v zastoupení společenstev v krajině?

13. Které typy vegetace pravděpodobně vděčí za své široké rozšíření právě činnosti člověka?

14. Zastoupení společenstev rostlin v naší krajině se měnilo i tak krátké době jako je jedno století. Zkuste jmenovat alespoň tři procesy, které jsou zodpovědné za změny v zastoupení rostlinných společenstev za poslední století.

Úloha 2: Příroda zabíjí

Autor: Kateřina Čermáková

Počet bodů: 23

V druhé sérii letošního ročníku jste mohli nahlédnout pod pokličku farmakognosii, jež vám přiblížila, která vám mohou látky přírodního původu život prodloužit či zkvalitnit. Vězte však, že původní úmysl “léčivých rostlin” byl mnohem sobečtější, nežli stát se součástí babyčiny čajové směsi na zánět průdušek. Sesilní rostliny mohou jen stěží uniknout věčně hladovým herbivorům a parazitům. Aby jim rostliny nebyly vydány doslova napospas, neřídí se Ženevskými konvencemi a vybavily se účtyhodným chemickým arsenálem. Toxikologie přírodních látek je neobyčejně zajímavý široký obor na pomezí biologických, chemických a medicínálních disciplín. Zaměříme se především na fytotoxiny. Rozhodně tato úloha není kompletním výčtem různých skupin a účinků rostlinných

jedů - jedná se spíše o krátký exkurz k těm nejvýznamnějším a několika zajímavým příkladům. Společně se nyní podíváme na zub těm situacím, kdy příroda usiluje o váš život a zdraví.

1. Na začátek si vyjasníme význam několika pojmů běžně užívaných v toxikologické literatuře. Za určitých podmínek jsou mezi sebou sice zaměňovány, je ovšem dobré tušit rozdíly v jejich významu. Definujte následující základní toxikologické pojmy:

noxa, xenobiotikum, toxikant, toxin

2. Pod pojmem “toxicita” rozumíme schopnost dané látky poškodit zdraví organismu - vyvolat otravu. Bez dalšího upřesnění se však jedná o pojem značně vágní, neboť to, zda podání toxikantu vyvolá otravu či nikoliv záleží na mnoha faktorech. Již známý lékař Paracelsus, považovaný za jednoho ze zakladatelů toxikologie, dobře věděl, že rozdíl mezi lékem a jedem představuje podaná dávka. Nikoho nepřekvapí, že i na první pohled neškodné látky jako kuchyňská sůl nebo voda se mohou při překročení jisté dávky chovat toxicky.

- a. Nejčastěji nás zajímá, jaké množství podané látky usmrtí cílového jedince - letální dávka. Značí se LD (z anglického lethal dose). Pokud však uvedu, že LD pro kofein je 10 gramů, stále to není moc říkající. Proto se za zkratku LD přidávají doplňující informace. Které 3 elementární parametry musíme při uvádění LD blíže specifikovat? Jakými jinými způsoby vyjma LD (uved'te alespoň jeden) můžeme kvantifikovat míru toxicity např. u plynných látek?

- b. Je jasné, že i v rámci jednoho druhu může existovat značný rozptyl v dávce potřebné k usmrcení jedince. Například pro již zmíněný kofein jsou známé kauzistiky smrtelného předávkování po konzumaci nižších jednotek gramů, ale také máme dokumentované případy, když člověk přežil konzumaci více než 23 g kofeinu (se střední letální dávkou 10 g). Napište minimálně 4 faktory, které mohou být zdrojem této vnitrodruhové variability.

3. Ricin je vysoce toxická bílkovina obsažená ve vysokých koncentracích v semenech skočce obecného (*Ricinus communis*). Skládá se ze dvou podjednotek (A a B), z nichž každá má jinou funkci. Nechvalně proslul zejména případem tzv. “deštníkové vraždy” novináře a disidenta Georgiho Markova. Na autobusové zastávce k němu přistoupil neznámý muž a bodl jej speciálně upraveným deštníkem do nohy, čímž nebohému Markovovi vpravil do těla drobnou kapsli s ricinem. Ten smrtelné dávce jedu za tři dny podlehl.

- a. Molekulární mechanismus účinku ricinu je poměrně dobře prozkoumán. Jakou roli hrají jednotlivé podjednotky ricinu? Jak a na jakou cílovou strukturu působí? Jak se k ní dostane?

- b. Z dostupných zdrojů si zjistíte potřebné informace a vypočítejte, jaké množství semen skočce obecného obsahuje dávku jedu potřebnou k vašemu usmrcení. Uved'te postup výpočtu!

- c. Množství, k němuž jste v předchozí otázce došli, není nikterak vysoké. Lze i přes tuto skutečnost spolykat hrst semen (s mnohem vyšším obsahem noxy než odpovídá LD50), aniž by to vedlo ke smrti? Proč ano či ne?

- d. Každoročně je na celém světě lisováním skočcových semen vyprodukováno přes 600 tisíc tun ricinového oleje. Ten nalézá hojně mnohoúčelové využití nejen technického charakteru, ale také v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu. Díky čemu (uved'te dva faktory) je možné ze značně toxických semen získat olej, jehož použití je zcela bezpečné?



Obr. 1: Semena skočce obecného (*Ricinus communis*.); Wikimedia commons

4. Mnohé rostlinné jedovaté lektiny (bílkoviny vážící se na cukry) mohou reagovat s lidskou krví. Různé takové proteiny obsahuje např. fazol měsíční (*Phaseolus lunatus*) nebo čičorka pestrá (*Securigera varia*).
- Budou zmíněné lektiny výše zmíněných rostlin reagovat stejně s krví všech lidí? Jaký je rozdíl v působení lektinů z fazolu a čičorky?
 - Jak je možné, že lektin ledence nachového (*Lotus tetragonolobus*) specificky reaguje s krví krevní skupiny 0 (nikoliv A nebo B), ačkoliv ta se vyznačuje absencí aglutinogenů A i B?
5. Mezi vůbec nejrozšířenější metody chemické obrany rostlin patří produkce kyanogenních glykosidů. Identifikovány byly u více než 3 000 druhů cévnatých rostlin minimálně ze 110 čeledí. Zajímavé je, že mezi jedlými plodinami jich je ještě větší procentuální zastoupení - kyanogenní je více jak pětina. Jako příklad lze jmenovat amygdalin z mandlí, třešní a meruněk, dhurin z čiroku, či linamarin a lotaustralin z bobovitých.
- Samotné kyanogenní glykosidy samy o sobě toxický účinek nemají, jsou však zdrojem malé extrémně toxické molekuly. Jaký je molekulární mechanismus účinku tohoto toxikantu? Na co intoxikovaný jedinec umírá?
 - Z molekulárního mechanismu účinku toxikantu vyplývá, že by měl být stejně jako pro živočichy toxický i pro rostliny. Jak je možné, že se rostliny neotráví? Kde a jak dochází k uvolnění vysoce toxické molekuly?
 - Mnohem méně zastoupena je skupina tzv. pseudokyanogenních glykosidů. Účinkují skrze stejnou toxickou molekulu jako kyanogenní glykosidy? Pokud ano, uveď rozdíl v uvolňování toxikantu mezi nimi. Pokud ne, uveď jak jinak působí.
6. Různé glykosidy mají i jiné účinky než kyanogenesi.
- Kardioaktivní glykosidy se od sebe sice poměrně liší svou strukturou, využívají však stejný mechanismus účinku. Na který protein v lidském těle působí a jaký to má efekt na kardiomyocyty?
 - Thioglykosidy (glukosinoláty) jsou zastoupeny u několika čeledí rostlin. Jsou mimo jiné zodpovědné i za charakteristickou chuť a vůni jedné čeledi, která bývá častou součástí lidského jídelníčku. O jakou čeleď se jedná? Za běžných okolností nepůsobí jejich konzumace žádné potíže. Při nadměrné konzumaci a absenci některých důležitých látek v potravě se může projevit jejich negativní efekt na jistý orgán. Jak a na jaký orgán působí?
 - Mezi glykosidy řadíme i saponiny. Ty mají jednu klíčovou vlastnost odvozenou od chemické struktury, která jim umožňuje například poškození buněk střevního epitelu či hemolýzu. Jaká je to vlastnost?
7. O alkaloidech se dá jen obtížně mluvit obecně. Jedná se o extrémně heterogenní skupinu látek, která by vydala na samostatnou úlohu. Jde se spíše o jakousi sběrnou skupinu zahrnující dusíkaté sekundární metabolity rostlin. Zásadně se mezi sebou liší svou chemickou strukturou i účinkem. Pojd'me si krátce demonstrovat jejich rozmanitost. Uveďte:
- Dva alkaloidy jichž biosyntéza nevychází z aminokyseliny, ale z izoprenu.
 - Alespoň jeden alkaloid, který narušuje zdárný průběh mitózy. Jakým způsobem tak činí?
 - Dva alkaloidy, které v centrální nervové soustavě mimetizují fyziologicky přítomný neurotransmitter.
 - Dva alkaloidy, které ovlivňují uvolňování adrenalinu či noradrenalinu a působí stimulačně.
 - Alespoň jeden alkaloid, jenž inhibuje syntézu proteinů.
 - Jeden alkaloid, který libovolným mechanismem tlumí srdeční činnost a jeden který ji stimuluje.
8. V padesátých letech 20. století byla na Balkánském poloostrově zaznamenána epidemie endemické nefropatie, a to především na vesnicích. Poruchy ledvin tenkrát postihly asi 25 000 lidí. Epidemie byla po dlouhou dobu nevysvětlitelnou záhadou. Svého vysvětlení se dočkala až v devadesátých letech téhož století, kdy selhávaly ledviny více než stovce především belgických žen toužících po štíhlé

- linii. Příčinou byla pouhá chybná transkripce z čínských znaků do latinky. Jak je možné, že chybná transkripce čínských znaků přivede člověka až k dialýze a transplantaci ledvin?
- U podivných případů zůstaneme. Turečtí včelaři dobře ví, že nahořklý med zanechávající palčivou stopu v krku je lepší nekonzumovat. "Šílený med" způsobil v minulosti nejméně jednu otravu s halucinacemi, neurologickými potížemi a srdeční arytmií. Hrozí riziko vzniku "šíleného medu" i evropských zemích? Zdůvodněte.
 - Někjaká forma chemické obrany je přítomná u většiny rostlin. Přesto jsou rostliny ve značných počtech konzumovány herbivorními živočichy (včetně člověka) i hojně napadány parazity, jakými jsou například houby. Způsobů, jakými se organismy mohou toxickým rostlinným metabolitům bránit je mnoho. Vyhledejte a napište konkrétní způsob, jakým se jeden parazit a jeden fytofág vypořádávají s nějakým libovolným rostlinným toxinem (toxiny).

Úloha 3: Down and out in Prague, aneb jak by to nenapsal ani Dickens

Autor: Kristýna Minářová

Počet bodů: 8

V pondělí ráno je do nemocnice přivezen 46 letý pacient po resuscitaci. Pacient je přivezen v doprovodu lékaře rychlé záchranné služby (RZS) s čelovkou na hlavě. Pacienta nalezl v rozpadající se chatě bez oken a bez elektřiny, v přítomnosti postarší ženy pochybné pověsti, která mu prováděla pochybným způsobem nepřímou masáž srdce. Udávala, že mu nebylo dobře, poté zkolaboval a zůstal ležet na zemi. Lékař RZS zjistil bezvědomí, zástavu dechu, těžkou cyanosu a desaturaci (poruchu zásobení krve kyslíkem) a po natočení EKG zjistil pravidelný srdeční rytmus s akcí cca 110/min. Zároveň byla přítomna těžká miosa (stažení) zornic. Pojal podezření na předávkování jistým typem drog a podal pacientovi naloxon. Poté došlo k obnovení dechu a vědomí. Pacient zůstal nezaintubovaný a byl k observaci přivezen na resuscitační JIP. Zde bylo nutné pro udržení vědomí a spontánního dýchání podat další dvě ampule naloxonu. Při přijetí do nemocnice nebyla slyšitelná střevní peristaltika, po podání naloxonu se pacient pozvracel. Šířka zornic se postupně normalizovala. Během dne došlo k úplné obnově vědomí, ale zároveň k rozvoji abstinčního syndromu. Odpoledne se pacient začal domáhat propuštění, protože byl právě propuštěn po 25 letech z výkonu trestu a musí nastoupit do zaměstnání jako hlídač. Ošetřující lékař zvážil možná rizika a usoudil, že si nenechá udělat z oddělení kůlničku na dříví. Proto pacient podepsal negativní revers a ještě ten den odešel.

- Po příjmu do nemocnice byla provedena toxikologie s následujícím výsledkem: V moči pacienta byl zachycen kokain, heroin, pervitin a clonazepam (Rivotril®). Jistě se jednalo o podávanou party na oslavu nového zaměstnání. Která ze složek ovšem dovedla pacienta na jednotku intenzivní péče, tedy jaká droga z uvedeného seznamu byla zodpovědná za předávkování? Jaké klinické příznaky vedly lékaře RZS k podezření na předávkování právě touto drogou?

- V textu je zmíněno, že pacient dostal naloxon. Jedná se o látku, která dokáže navázat na určité receptory těsnější vazbou, než původní droga, což zablokuje její účinky. Nevýhodou je, že působí kratší dobu, než původní droga, proto se musí podávat opakovaně. Jak se odborně nazývají látky, které ruší účinky jiných látek?
- Pacient byl hospitalizovaný na jednotce intenzivní péče na infekční klinice z jednoduchého důvodu – na jiných odděleních nebylo místo. Infekční oddělení musí při popuštění každého pacienta hlásit krajské hygienické stanici diagnosu hospitalizace. Tento pacient evidentně hygienu zaujal, protože asi za dva týdny od propuštění volala hygienička, že nechápe, proč byl pacient hospitalizován na infekčním a jestli měl alespoň nějakou infekční diagnosu. Pravda byla, že byl již od roku 1993 veden v národní referenční laboratoři pro syfilis a bylo vyšetřeno, že v minulosti prodělal virovou hepatitidu B. Navíc ošetřující infektolog, který sice nemá příliš zkušeností s intoxikacemi, zato kapavku pozná bezpečně, odhadl podle stavu pacientova genitálu, že syfilis nebylo jediné prodělané venerologické (pohlavní) onemocnění. Nicméně to nebylo všechno. Jaké virové onemocnění, které se přenáší krví a poškozují játra, je velmi často asociované s intravenózními narkomany?
- Po obnovení vědomí pacient kromě výše uvedených drog připustil, že si ještě aplikoval injekčně lék Vendal®, což je retardovaná forma morfinu, který se za léčebných podmínek užívá v tabletách. Pokud ovšem dojde k aplikaci do žíly, lék funguje jako běžný morfin a retardace účinku se neprojeví. (Prodloužené uvolňování z tablet nefunguje) Napadá vás proč?

Pozn.: V textu jsou používány názvy léků a léčivých přípravků. Co se týče pravopisu, léčivé přípravky, tedy účinné látky, se dle pravopisu píšou s malým písmenem na začátku (naloxon, morfin, clonazepam). Názvy léků se píšou s velkým písmenem (Vendal, Rivotril, Pervitin).

Úloha 4 (experimentální): Karanténní

Autor: Šimon Zeman

Počet bodů: 39

Začátek jara se kvapem blížil a Bioslav už se nemohl dočkat, až se biodiverzita začne probouzet ze zimního spánku. Ne vždy však vše vychází podle plánu. Bioslav neuměl šít a vzhledem ke karanténním opatřením nemohl vyrazit ven. Byl smutný, že se nemůže bezstarostně prohánět mezi běloskvocími kvítky bledulí a sněženek nebo že si nemůže zajít zalovit s cedníkem do křišťálově čistých vod nějaké půvabné bystřinky. Aby si trochu zlepšil náladu, rozhodl se dát si něco k snědku. Zamířil do kuchyně a nasypal si plnou misku mouky, kterou se v uplynulých týdnech poctivě předzásobil. Už už chtěl vložit první sousto lahodné pochutiny mezi svá patra, když v tom zpozoroval na lžici pohyb. Lehce poprášen moukou, zachovav si však svůj typický zjev, zamžoural na něj z vrchovatého kopečku sypké slasti lesák skladištní. V tu ránu Bioslavovi došlo, že biodiverzitu může obdivovat i u sebe doma, obklopen svými synantropními soustolovníky.

Vrátil se tedy do spíže a začal probírat jednotlivé potraviny, aby zjistil, která havěť mu ztenčuje jeho železné zásoby.

Jako první se chopil mouky. Nasypal trochu mouky na talíř a počal se v ní horlivě hnípat. Prvním obyvatelem moučného království byl jeho starý známý lesák skladištní (*Oryzaephilus surinamensis*), nezaměnitelný pro svůj typicky zoubkovaný štít. Tento maličký brouček je celosvětově rozšířen a škodí nejen na mouce, ale i na čokoládě, arašídech, těstovinách, pečivu, a především na obilí. Je velice plochý a umí se prokousat některými obalovými materiály, dostane se tedy téměř kamkoliv.

1. Když si Bioslav pomyslel, že lesák skladištní je nezaměnitelný druh, neměl tak úplně pravdu. Proč? Od kterého druhu je lesák skladištní těžko odlišitelný a jak je tedy rozeznáme?
2. Bioslavovi na mysli vytanulo, že tento brouček má velice zajímavé namlouvací chování – při kopulaci samec samici ožďibuje prostředek štítu. Nemohl si ale za žádnou cenu vzpomenout, ve kterém odborném článku tuto informaci četl. Pomozte Bioslavovi najít kýžený článek a napište jeho citaci. Pro více informací o vyhledávání odborných článků vizte druhou úlohu druhé série letošního Biozvěstu o mršnicích.

Kromě lesáků našel Bioslav v mouce i potměníky – zavalité černé brouky spolu s jejich bledými protáhlými larvami. Bioslav se podivil, jak vlastně mohou tito zvláštní broučci přežít v takovém dusném prostředí, kde se jim nedostává téměř žádného vzduchu (tento fakt si můžete ověřit sami – zkuste zapálit hořící špejli mouku v misce a poté zkuste nad hořící špejli mouku rozprášit). Larvy potměníků se s touto patálií vypořádali jedním prostým přizpůsobením, které ovšem vyvolalo mezi entomology vášnivě diskuse.

3. O jaké přizpůsobení se jedná a čím tak rozvířilo vody vědecké obce?

Když se Bioslav dostatečně nakochal zvláštním zjevem lesáků a podivuhodnými potměníky, nasypal je i s moukou nazpět do vany, kterou si za účelem skladování potravin přemístil do kuchyně. Špetičku mouky, která zbyla na talíři, dal na podložní sklíčko a jal se pozorovat moučný mikrokosmos pod mikroskopem. Okulárem na něj nožkou zamával jakýsi rozmilý roztoč. Těch můžeme najít v domácnostech několik druhů, nejslavnější (a i jeden z nejčastějších) je sladokaz moučný (*Acarus siro*). Tento nepatrný tvoreček, měřící pouze několik desetin milimetru, dokáže napáchat značné škody – pokud se přemnoží, je možné si ho povšimnout jak vizuálně, tak i olfaktoricky a gustatoricky – napadená potravina má nepříjemnou pachut' a zápach.

4. Tipněte si, kolik procent právě zakoupených obilných výrobků z Velké Británie obsahovalo alespoň nějaké roztoče. Poté si přesné číslo dohleďte a porovnejte je se svým odhadem. (Napište svůj tip, poté dohledaný údaj a článek, ze kterého jste údaj získali.)

Kromě roztočů užíval Bioslav v mikroskopu i pisivky rodu *Liposcelis* (obr. 2). S těmito placatými potvůrkami, vzdáleně příbuznými plošticím a mšicím, se můžeme setkat nejen v potravinách, ale často i mezi knihami či v koupelnách. Ačkoliv se s chutí pustí do našich zásob, podobně jako roztoče je často do spíže nepřivedou samotné potraviny, ale něco jiného, nad čím si pisivky obližují pysky.

5. Co je to?

6. Pisivky, stejně jako potměníci, dovedou žít i v extrémně suchém prostředí. Jakým hlavním přizpůsobením k tomuto způsobu života disponují pisivky a jakým potměníci?



Obr. 2: *Pisivka* *Liposcelis* sp.; <https://bugguide.net/node/view/925011/bg-page>



Obr. 3: Červotoč spíží (*Stegobium paniceum*); <http://www.cirbus.com/pest/cervotoc.htm>

Po prozkoumání sypkého mikrosvěta si to Bioslav zamířil nazpět do spíže. Do oka mu padl značně petrifikovaný chléb, který si skladoval již od dob záplav v roce 2002. Po několika málo úderech kalačem se chléb bez problémů rozlomil a vykulilo se z něj pomálu drobných broučků (obr. 3). „Tot' červotoč spíží (*Stegobium paniceum*), známý to brach pobývající ve starém chlebu, sušenkách, těstovinách a jiných tvrdých potravinách!“ zajásal Bioslav. Poňuchnal se s červotoči a spolu s chlebem je schoval dozadu do spíže na horší časy. Na závěr se Bioslav rozhodl prozkoumat své zásoby těstovin. Při nahlédnutí do sudu se mu po tváři rozlil blažený úsměv – celou hromadu těstovin pokrývala překrásná křehoučká pavučinka, po které lozila stádečka maličkých bělavých larviček. Bioslav už se nemohl dočkat, až dospějí a po pokoji mu začnou poletovat malí motýlci s šedou páskou na zádech.

7. Jací tvorečkové si pravděpodobně debužují na Bioslavově sudu těstovin?

Jakmile byla spíž náležitě proexplorována, rozpomněl se Bioslav na pokoutnici Oldřišku, která se zabydlela v koutě za knihovnou a každý večer mu bodře zamávala makadlem na dobrou noc. I rozhodl se ji navštívit. Poklekl před její skromné obydlí. Oldřiška neměla zrovna dobrou náladu a nechtěla se ukázat, tak se Bioslav aspoň jal obdivovat její příbytek. Byl velice důmyslně sestaven. V přední části je rozprostřená pla-

chetka, značně už zaprášená, na kterou chytá Oldřiška svou potravu. V zadní části se pak nalézá jakási rourka, odkud teď Oldřiška neohlášeného hosta nevráživě pozorovala. „No nemrač se na mě,“ povídá Bioslav, „kdybych z bytu nevystěhoval všechny třesavky, byla bys tu už nebydla“. Oldřiška se zatvářila provinile a nechala se od Bioslava podrbat na karapaxu.

8. Proč by měla být Oldřiška vděčná Bioslavovi za vyklizení všech třesavek?
9. Oldřiška nemá ráda chemii, proto, uvarovavši se jakýchkoliv lepů, přišla na jiný způsob, jak v pavučině znehybnit svou nebohou večeři. O jaký způsob se jedná?
10. Oldřiška náleží k druhu pokoutníka, který nejčastěji obývá vnitřek našich domácností. O který druh konkrétně se jedná?
11. Nedávno zavolala Bioslavovi jeho kamarádka Geoslávka, vyprávějíc třesoucím hlasem, že se jí domů nastěhovala západnice jedovatá (*Cheiracanthium punctorium*). Bioslav ji uklidnil, že se nejspíš jedná o neškodný, v domácnostech často žijící druh západnice. Jaký druh se tedy ke Geoslávce pravděpodobně nastěhoval?

Po dohrání Oldřišky se Bioslav rozhodl prozkoumat starou mohutnou skříň, ve které dlel masivní kožešinový kabát po babičce a úhledná vlněná uniforma po praděděčkovi. Hned jak otevřel dveře skříně, vylétl na něj houf molů šatních (*Tineola bisselliella*). Housenky těchto překrásných zlatavých motýlků si rády pošmáknou na vlně či kožešinách, pokud se jim těchto komodit nedostane, nepohrdnou ani bavlnou. Bioslav se nechal chvíli těmito vlnožravými vily obletovat, pak upřel svou pozornost na kapsy babiččina kabátu. Zalovil v nich a vytáhl extrémně chlupatou larvičku, patřící některému z kožojedů (*Dermestidae*). Fascinován si ji prohlížel a obdivoval její dlouhostrstost. Kožojedi se v přírodě vyskytují především na mrtvolách, kde požírají ztvrdlou kůži a srst. Pokud je jim ale nabídnut prostřený stůl v podobě huňatého kožichu, rozhodně jim nepohrdnou a ochotně se k vám do skříně nastěhují.

12. Moli, stejně jako kožojedi, získávají živiny rozkladem určité chemické látky, kterou ale většina jiných organismů jako krmí opovrhuje. O jakou se jedná?
13. Moli se vyznačují jistým zvláštním způsobem, jak si obstarat vodu. Získávají ji metabolicky v zadní části střeva (proctodeu) při rozkladu cysteinu. Proč ale zrovna v zadním střevu, a ne ve středním (mesenteronu)? A k čemu mají v mesenteronu tak zvláštní podmínky, že se zde nemůže tvořit voda?
14. Kromě kožojedů se naučila požírat suchou kůži, srst a peří i jiná skupina brouků, se kterou se kromě mrtvol můžeme setkat i v ptačích či savčích hnízdech. O jaké brouky se jedná?
15. Kdyby se Bioslav chtěl nedej bože svých kabátových kamarádů zbavit, co byste mu poradili?
16. Bioslav si jako správný přírodovědec buduje sbírku organismů. Kdyby do ní chtěl zařadit i dospělého kožojeda rodu *Dermestes*, raději by ho napíchl na špendlík, než aby jej nalepil na obdélníkový štítek. Proč?

Z prachu ve skříni se Bioslav rozkuckal, a tak opustil zatuhlou zátišinu s moly a kožojedy a vyběhl na balkón, aby se nadýchal čerstvého vzduchu. Málem při tom svrhnul květináč s šalvějí lékařskou, kterou si kvůli omamné vůni pěstoval. Když se dostatečně vydýchal, rychle zaběhl zase zpátky, aby

nebyl udán, že se vyskytuje mimo byt bez roušky. S sebou si stihl vzít šalvěj. V bezpečí před sociální kontrolou se na ni pozorně zadíval a k jeho nemalému překvapení spatřil malíčké mšice (*Aphidoidea*), kterak se po šalvěji šmrdolí a různě na ní posávají. Kromě mšic poskakovali listech i pidikřísci rodu *Eupteryx*.

17. Bioslav si všiml, že po nabodnutí rostliny pidikřískem zůstane na listu malý bílý flíček, ale po posátí mšicí žádné bílé flíčky nepozoroval. Proč tomu tak je?
18. Kdyby Bioslav mšici a pidikříska vypytval, pozoroval by v anatomii jejich trávicí soustavy (a přidružených orgánů s trávením souvisejících) dva výrazné rozdíly, které souvisí s jejich způsobem výživy. Jaké?

Bioslava napadalo, že poodhalí závoj tajemství, kterým byla obklopena půda, ve které byla šalvěj zasazena. Nejprve nabral trochu hlíny na bílý talíř a pečlivě ji probral. Rozněžně pak pozoroval poskakování chvostoskoků rodu *Folsomia* (obr. 4), kteří v květináči ochroustávali různé houby a rostlinné zbytky. Kromě nich se mezi hručkami hlíny plazily i malé průsvitné larvičky smutnic (*Sciaridae*), které, ačkoliv většinou preferují vlákna hub, neváhají se pustit ani do kořenů květináčové rostliny. Dospělé smutnice pak jako čilí černí rarášci poletují po bytě a navzdory svému jménu vždy Bioslavovi vykoulí úsměv na tváři.

19. Ne každý ale dokáže ocenit křehkou krásu smutnic. Bioslavova teta se svého synovce před časem ptala, jak se takových smutnic zbavit, ale pokud možno bez chemie a éček. Bioslav se zamyslel a poradil jí způsob, kterým nejen zredukuje smutnice, ale dokonce zvýší míru biodiverzity ve svém květináči. Jaký způsob měl Bioslav na mysli?
20. Chvostoskoci rodu *Folsomia* jsou velice dobře známi i mnohým environmentalistům, kteří se jinak příliš chvostoskoky nezabývají. Proč tomu tak je?

Když si Bioslav dosyta vyhrál s květináčem, sklouzl jeho pohled k parapetu. Bioslav měl stále ještě dvojité okna s meziprostorem mezi jejich křídly, kam již notnou chvíli nezabloudila žádná prachovka. Nastevřel tedy okno a zahleděl se do jeho útrob. Krom chuchvalců prachu ve tvaru katráňů přitáhlo Bioslavovu pozornost malé pohřebišťátko v rohu okna. Tam, bez křížů, bez náhrobků, ležely myriády tělesných schránek nejrůznější mušek, broučků, ploščic a kříšů. Ti všichni zde zakončili svou životní pouť, nemohouce vyprostit se ze sevření skleněného království, hledě ven na svět, který už se jim nikdy více nedostane navštívit. Bioslav při té myšlence posmutněl, chmurné myšlenky však po chvíli zapudila jeho zvědavá nátura. Co mají asi všichni ti nebožáci společného, proč zrovna tyto druhy museli prožít své poslední dny mezi dvěma okenicemi?

21. Zamyslete se, jaké ekologické skupiny by mohl Bioslav nejspíše najít za okenicemi a napište alespoň čtyři. U každé uveďte, proč si myslíte, že zrovna ona by měla na meziokenním hřbitově skončit. Ekologickou skupinu zvolte dle vlastního rozmyslu, definujícím parametrem může být potravní či biotopová preference, endotermnost, odolnost vůči chemtrailům či cokoliv jiného.

Po chmurném zážitku u parapetu se Bioslav odebral prozkoumat přestarávaný pracovní stůl vévodící obývacímu pokoji. Zastavil se u něj, podřepil a téměř se dotýkáje uchem masivní nohy stolu pozorně poslouchal.

22. Proč to Bioslav dělal? Co čekal, že uslyší?



Obr. 4: *Chvostoskok Folsomia candida*; <https://www.flickr.com/photos/tricosz/16825751517>



Obr. 5: *Tesařík drobný (Gracilia minuta)*; http://www.cerambyx.uochb.cz/gracilia_minuta.php

Po chvíli ticha si Bioslav povzdychl a rozhodl se prohledat stůl vizuálně. Po chvíli oblézání stolu našel báječného broučka – malilinkatého tesaříka drobného (*Gracilia minuta*; viz obr. 5). Ale hned jak jej spatřil, bylo mu jasné, že se larvička tesaříka nevyvinula ve dřevě prastarého stolu, nýbrž v jiném neživém dřevěném objektu u něj doma.

23. Kde se pravděpodobně vyvíjel tesařík drobný, než přiletěl k Bioslavovi na stůl?

Když už si Bioslav myslel, že prošmejdil celý svůj byt, vzpomněl si, že téměř pokaždé, když jde v noci na záchod, potká tam na zemi rybenku. Vydal se tedy do koupelny a těšil se, kolik dalších dechberoucích druhů tam objeví. Chvilí trvalo vstup do koupelny uvolnit od 112 rolí toaletního papíru, jež si stihl na dvoukoláku navozit před poslední vlnou karanténních opatření. Pak koupelnu prohlédl dlaždičku po dlaždičce, ale kromě jedné ustrašené rybenky domácí (*Lepisma saccharina*) a několika pilných mravenečků faraónů (*Monomorium faraoensis*) nic nenašel.

24. Zamyslete se, proč se asi Bioslav mylně domníval, že v koupelně žije takové množství našich bezobratlých spolubydlících, i když jich tam zas tolik při podrobném průzkumu nenašel.

Bioslav se však nenechal odradit nepřilíši vysokou mírou biodiverzity a vzal zavděk alespoň rybenkou. S rozkoší pozo-

roval to malé stvořeníčko, ne nepodobné kapičce rtuti, jak se ochomýtá okolo záchodové mísy a zmateno ostrým světlem zářivky snaží se najít nějaký stinný úkryt.

25. V současné době se Evropou šíří ještě jeden druh rybenky, který byl v České republice poprvé zaznamenán roku 2017. Tento druh však na rozdíl od klasické rybenky domácí dovede napáchat nemalé škody, pošmákne si nej-různějších potravinách, kancelářském papíru či rodinném albu od vaší tety z druhého podvrtnutého kolene. Když se zpráva o teror rozsévající rybence dostala mezi širší veřejnost, vyvstaly však obavy o ochranu především jedné komodity, která očividně představuje klíčový a nezbytný artikl přežití v krizových situacích, neboť i v dnešních dnech je lidem syslena v nemalých množstvích. O jaké zboží se jedná a jak se nazývá nově přistěhovalá rybenka?

Pak se Bioslav zaměřil na mravence. Tento všudypřítomný a pravděpodobně nejpočetnější souputník se do ČR dostal asi před 120 lety, od té doby se stal téměř nedílnou součástí všech domácností. Ačkoliv dovede v domácnostech tropit různé alotrie (rád baští všelijaké sladoučké i nesladoučké laskominy), mnohem větší problémy způsobuje v jedné konkrétní instituci.

26. O jakou instituci se jedná a jaké problémy zde způsobuje?

Po chvilce šmírování mravenců se Bioslavovi začaly klížit oči. Ani si nevšiml, že studiem synantropní biodiverzity strávil celý den! Příjemně unaven se tedy odebral na kutě. Ulehl do postele, zamával Oldřišce na dobrou noc, a ještě než upadl do slastného spánku plného snů o prozářených jarních dnech strávených venku s kamarády, pomyslel si, s jak úžasnými tvory má tu čest sdílet bytlo.

27. Následujte příkladu Bioslava a prozkoumejte, co žije ve vaší domácnosti.

- a. Vyberte si alespoň pět různých míst ve vašem bytě nebo domě a pokuste se najít co nejvíc bezobratlých živočichů. Místa zvolte dle vašich možností, pro inspiraci můžete vybírat z následující nabídky: parapet okna, temný kout za nábytkem, koupelna (do té doporučujeme podívat se v noci), spíž, kuchyňská linka, skříň s kožešinovým kabátem po prababičce, mrtvola ve vaně, květináče s pokojovými rostlinami, kožich vašeho psika či morčete, police se zavařeninami ve sklepě, trámy na půdě, špalky v dřevníku... Fantazii se ovšem meze nekladou, a pokud vaše obydlí skýtá i jiné zajímavé prozkoumání hodné místo, nic vám nebrání si jej zvolit. Hledání věnujte dostatek času i úsilí a nevzdávejte to, pokud na první pohled nic nenaleznete – většina vašich spolubydlících je dosti malých rozměrů. Klidně každé místo navštivte několikrát v průběhu jednoho týdne a výsledky se jistě dostaví. Metodiku sběru na jednotlivých místech přizpůsobte způsobu života živočichů, které byste zde mohli očekávat. Tu pak nezapomeňte podrobně popsat v protokolu. Nalezené organismy se pokuste určit co nepřesněji se vám povede s využitím všech dostupných možností (klíče, atlasy, internet, přítel/odborník na telefonu). V některých případech vám určitě přijde vhod binolupa či mikroskop, ale obejdete se i bez tohoto vybavení (pro pozorování detailů bez mikroskopické techniky pomůže vyfotit zvíře na chytrý telefon a fotku poté přiblížit).
- b. Alespoň tři své úlovky fotograficky zdokumentujte a s náležitým popiskem zařaďte do konečného protokolu

- c. U všech nalezených druhů se zamyslete, proč se vyskytují právě na tom místě, na kterém jste je našli.
- d. Zamyslete se nad svými výsledky. Na kterém stanovišti v domě jste našli nejvíce různých druhů? Objevili jste nějaký druh na jiném místě, než jste očekávali? Čím si to vysvětlujete? Zaznamenali jste na některých místech podobnou druhovou skladbu? Čím myslíte, že jsou si tato místa podobná? Zamyslete se i nad dalšími otázkami, pokud vás napadnou.
- e. Své výsledky pečlivě zpracujte formou protokolu. Vzorový protokol najdete na stránkách Biozvěstu.

Bonusová otázka:

Na druhý den k ránu poslala Bioslavovi jeho teta Růžena SMS zprávu, že se jí v domácnosti objevil hrozivý škůdce a potřebuje poradit, co je zač. V MMS zprávě pak poslala „rychlou a trochu mázlou mobilovku“.

Pomozte Bioslavovi a určete, jaký druh se k tetě do domu nastěhoval (vizte obr. 6).



Obr. 6: Rychlá mobilovka tety Růženy.

Úloha 5 (seriálová): Počátky aplikací matematiky v biologii

Autor: Vojtěch Brož

Počet bodů: 16

Velká část vědeckých prací v biologii se v současnosti neobejde bez použití alespoň některých výtěžků matematických věd. Takto tomu nebylo vždy, využití matematických postupů se stalo všeobecně rozšířeným teprve v průběhu 2. poloviny 20. století. V této části letošního seriálu se podíváme na to, jaké byly počátky využití matematických postupů v biologii. Zaměříme se na několik oblastí, kde měla matematika obzvláště velký vliv. Naopak opomineme popis novodobých aplikací matematiky v biologii, protože těch je takové množ-

ství, že by bylo obtížné popsat uceleně, a spočívají často na značně abstraktním matematickém základě.

Jak se chová populace v čase

Jako jeden z úplně prvních využil matematiku k popisu biologických zákonitostí italský matematik Leonardo Pisánský (cca 1180–1250). Ve svém díle *Liber abaci* („Kniha počtů“) představil model vývoje velikosti populace králíků. Vycházel z následujícího zadání. Na louku je vypuštěn pár králíků. Králíci se na louce začnou rozmnožovat, a to tak, že dospělý pár králíků porodí během každého měsíce jeden mladý pár králíků. Tito mladí králíci se rozmnožují teprve po uplynutí jednoho měsíce života. O králících dále platí, že nikdy neumírají. Každý měsíc (například první den každého měsíce) jsou spočítány páry králíků a sleduje se vývoj početnosti králíků v čase. Kvůli tomu, že mladí králíci dospívají až po jednom měsíci života, jsou do součtu započítáni hned po narození, ale množství králíků ovlivní počtem svých potomků až ve třetím sčítání po svém narození. Leonardo Pisánský odvodil, že velikost populace v čase bude určena následující posloupností vyjadřující počty králíciích párů:

1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, ...

Každé číslo v této posloupnosti je součtem počtu králíků při předchozím sčítání a počtu nově narozených králíků, který je roven počtu králíků v předminulém sčítání (tedy těch králíků, co jsou již dospělí). Při pohledu na tuto posloupnost Vás pravděpodobně nepřekvapí, že Leonardo Pisánský je známý i pod jiným jménem – Fibonacci.

1. Představme si, že králíci nedospívají po 1 měsíci života, nýbrž až po dvou měsících. Rostla by velikost populace rychleji, nebo pomaleji oproti populaci, kterou popsal Fibonacci? Proč tomu tak je?

Nyní se přidržíme matematického popisu velikostí populací, avšak přeneseme se o několik set let dopředu. Věhlasný matematik švýcarského původu Leonhard Euler (1707–1783) působící v Petrohradě zmínil ve své práci model růstu populace v některých rysech podobný tomu Fibonaccimu. Tento model byl však zamýšlen spíše jako popis reality, konkrétně růstu lidské populace. Předpokládal, že za jednotku času se velikost populace zvětší na svůj R -násobek, přičemž R (rychlost růstu) zůstává v čase konstantní. Z toho plyne, že velikost populace (P_t) závisí na uplynulém čase (t) exponenciálně:

$$P_t = R^t \cdot P_0,$$

(Zde P_0 je velikost populace na začátku pozorování.) Růst populace není tedy podle tohoto modelu ničím omezen a populace by měla narůstat do nekonečna.

Euler rovněž uvádí konkrétní příklady, na kterých vypočítává populační růst. Ukazuje například, že pokud po potopě světa zbylo na Zemi šest lidí a o 200 let později činila velikost populace jeden milion, tak se každý rok musela populace zvětšit 1,06krát.

2. Tento model lze samozřejmě aplikovat na různé jiné organismy. Dokonce ani není nutné, aby množícími entitami byli samostatní jedinci, obdobně se chovají například i buňky v rámci jednoho rostoucího organismu. Dobrým příkladem je raný embryonální vývoj živočichů, při kterém dochází k takzvanému rýhování. Rýhování je série buněčných (nebo jaderných) dělení následujících velmi rychle po sobě, ke které dochází krátce po vzniku zygoty. Předpovídání tohoto procesu napomáhají některé

vlastnosti rýhování – jednak že se buňky při rýhování dělí obvykle synchronně (tj. všechny naráz) a jednak, že dochází k dělení všech buněk v embryu. Uvažujme nyní raný embryonální vývoj modelového druhu hmyzu octomilky *Sophophora melanogaster* (taxonomicky korektní název pro *Drosophila melanogaster*). U ní během rýhování nedochází k oddělování buněk, ale pouze k duplikování jader, která dále po omezenou dobu zůstávají v soubuní (syncytiu). Během rýhování dojde k 9 synchronním dělením.

- Určete, kolik jader v embryu octomilky by mělo být přítomno po 9. dělení.
- Jaká je hodnota růstového koeficientu R ve výše zmíněném vztahu, jestliže jako časovou jednotku zvolíme dobu mezi dvěma následujícími děleními?

Model geometrického (exponenciálního) růstu zpopularizoval anglický ekonom Thomas Robert Malthus (1766–1864) ve své stati z roku 1798. Na rozdíl Eulera nepopsal konkrétní matematickou podobu, nýbrž tohoto modelu využil při argumentaci v sociálních otázkách. Tvrdil, že anglické zákony podporující chudinu, budou ve svém konečném důsledku škodlivé, neboť způsobí právě takový exponenciální růst populace, avšak předpokládal, že množství dostupné potravy bude růst pouze lineárně (tedy výrazně pomaleji). Tento stav měl vést k hladomoru a omezení růstu populace.

Na Malthusovu úvahu o omezení růstu populace navázal Belgičan Pierre-François Viserhulst (1804–1849), který toto omezení popsal matematicky. Zavedl parametr, který nazval kapacitou prostředí, s významem počtu jedinců, na kterém se ustálí velikost populace po uplynutí dostatečného času. Pokud je populace menší než kapacita prostředí, tak je v každé generaci vyprodukováno tolik potomků, že se populace do následující generace zvětší, naopak přesáhne-li populace kapacitu prostředí, počet vyprodukovaných potomků nestačí k udržení velikosti populace. Velikost kapacity prostředí zohledňuje především množství dostupných zdrojů (potravy, u rostlin světla či vody, prostoru apod.), ale i další vlivy.

O další přiblížení modelů realitě se zasloužili Alfred Lotka (1880–1849) a Vito Volterra (1860–1940), kteří přišli s ekologickým modelem popisujícím velikosti populací dvou druhů – predátora a kořisti. Došli k zajímavému výsledku, že mimo specifické případy by mělo (alespoň teoreticky) docházet ke stálým oscilacím velikosti populací obou druhů, oscilace predátora by měly být opožděny za oscilacemi kořisti. Podařilo se jim ukázat, že těmto předpovědím odpovídá vývoj počtu dravých paryb chycených italskými rybáři.

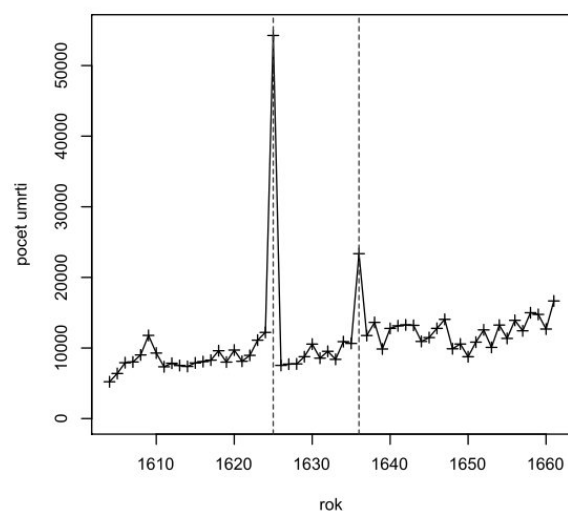
Důvod těchto oscilací je jednoduchý. Uvažujme, že na určitém prostoru je malé množství predátora i kořisti a prakticky neomezené množství zdrojů využívaných kořisti. Vzhledem k malému množství predátorů není bráněno populaci kořisti v růstu. Rychlost růstu populace predátora ale závisí na aktuální velikosti populace kořisti (tedy na množství potravy), takže množství predátorů začne také s jistým zpožděním narůstat. Kvůli tomu se ale začne růst populace kořisti postupně zpomalovat a následně se množství kořisti začne zmenšovat. Ve chvíli, kdy se množství kořisti začne zmenšovat, je kořisti největší množství, takže množství predátorů nadále narůstá a začne klesat teprve ve chvíli, kdy množství kořisti podstatně poklesne. Později klesne množství predátorů natolik, že populace kořisti začne opět růst.

- V přírodě jsou i jiné vztahy než mezi predátorem a kořistí. Pokud bychom uvažovali podobně zjednodušený model se stálými podmínkami prostředí, bylo by možné pozorovat podobné oscilace i ve velikostech populací dvou kompetitorů? Proč ano, nebo proč ne?

O populační ekologii by se dalo psát jistě dále. Byly například vyvinuty modely, které zohledňují to, že v populaci nejsou všichni jedinci stejně plodní, modely, které berou v potaz prostorové uspořádání populace nebo jiná specifika studovaných populací. My se ale teď přesuneme k popisu historie velice plodné spolupráce mezi biologii a statistikou.

Rozvoj biostatistiky

Pro statistické postupy používané v biologickém výzkumu se vžil název biostatistika. Počátek rozvoje statistiky můžeme datovat do 17. století. K jejímu rozvoji došlo ve dvou oblastech. První z nich byla matematická statistika věnující se zejména teorii pravděpodobnosti a jejím aplikacím. Tě se věnovali například Pierre de Fermat (1601–1665), Jacques Bernoulli (1654–1705) nebo Abraham de Moivre (1667–1754). Druhou, pro účely našeho seriálu zajímavější, oblastí byl výzkum demografie člověka. Anglický obchodník John Graunt (1620–1674) zkoumal záznamy týkající se počtu úmrtí z různých příčin na území Londýna. Data v záznamech pojmá kriticky, uvědomoval si, že jsou zatížena chybou, a hodnotil, u kterých typů záznamů je chyba pravděpodobně větší. Věnoval se také tomu, kolik lidí zemřelo z jakých příčin v různých letech. Vypozoroval, že ač smrt jednotlivce nelze v dlouhodobějším horizontu předpovědět, tak úmrtí způsobená většinou příčin jsou v čase rozložena velice rovnoměrně. To je poznatek (jakkoliv se nám dnes může zdát triviální), kterého je často využíváno při aplikaci statistiky na biologická data. Rovněž sestavil tabulku dožití tehdejších Londýňanů, tedy odhad podílu čerstvě narozených dětí, který se dožije určitého věku.



Obr. 7: Počet úmrtí v Londýně v jednotlivých letech počátku 17. století.

- Na obrázku 7 vidíte, kolik lidí zemřelo na území Londýna v jednotlivých letech počátku 17. století podle záznamů, které zpracovával John Graunt. V některých letech, například roku 1625 nebo 1636 lze pozorovat výrazně větší množství úmrtí. Co bylo příčinou nárůstu úmrtí v těchto letech? Čím se mechanismus působení této příčiny úmrtí

na populaci liší od ostatních, že působí takto nepravděpodobně?

Aplikace statistiky v biologických vědách se dočkala významného rozvoje v 19. století. Ve Velké Británii zkoumal bratranec Charlese Darwina sir Francis Galton (1822–1911) dědičnost znaků mezi generacemi. Při pozorování dědičnosti kvantitativních znaků si povšiml, že pokud u rodičů nabývá znak neobvykle velké, nebo malé hodnoty, tak u jejich potomků bývá hodnota tohoto znaku také odchýlena od průměru, ale méně výrazně. Tento jev nazval regresi k průměru. Dále zjistil, že pro semena hrachu platí, že odchylka jejich velikosti od průměru je u potomka násobkem (menším než 1) odchylky rodičovských semen – jde tedy o vztah přímé úměrnosti. Na základě těchto pozorování popsal statistickou metodu sloužící k popisu závislosti dvou proměnných – lineární regresi. Jeho spolupracovník Karl Pearson (1857–1936), který na rozdíl od Galtona měl formální matematické vzdělání, upřesnil matematický popis lineární regrese a navíc zavedl výpočet tzv. korelačního koeficientu. Obě tyto metody jsou základním způsobem popisu vztahu dvou kvantitativních proměnných (např. výšky, hmotnosti apod.). Korelační koeficient nabývá hodnot od -1 do 1 a vyjadřuje nakolik hodnota jedné proměnné souvisí s hodnotou druhé proměnné. Pokud je roven nule, tak proměnné na sobě nezávisí, je-li roven 1, tak hodnoty vynesené do bodového grafu leží na stoupající přímce (tj. čím je větší hodnota jedné proměnné, tím je větší hodnota druhé proměnné). Naopak pokud je korelační koeficient roven -1, tak hodnoty v grafu leží na klesající přímce (tj. čím je větší hodnota jedné proměnné, tím je menší hodnota druhé proměnné). V případě, že je korelační koeficient roven 1 nebo -1 tedy lze hodnoty jedné proměnné zcela vysvětlit hodnotami druhé proměnné. Korelační koeficient ale neříká, o kolik vzroste hodnota druhé proměnné, zvětší-li se hodnota první proměnné např. o 1. Na tuto otázku dává odpověď právě lineární regrese. Ta umí určit sklon té pomyslné přímky umístěné v bodovém grafu s naměřenými hodnotami, od které jsou body znázorňující jednotlivá pozorování celkově co možná nejblíže.

5. Pravděpodobně jste slyšeli známou větu, že přítomnost korelace mezi dvěma veličinami neznamena nutně kauzalitu – příčinnou souvislost.

- Zkuste vlastními slovy vysvětlit, co je touto větou myšleno. Uved'te nějaký mechanismus, který způsobí korelaci dvou veličin bez toho, aby mezi nimi byla příčinná souvislost.
- Pokud je v rámci nějaké studie zjištěna korelace mezi dvěma veličinami, o nichž se domníváme, že jedna by mohla ovlivňovat druhou, jakými způsoby je možné se o příčinném vztahu mezi dvěma veličinami přesvědčit?

Karl Pearson seznámil vědeckou veřejnost i s dalšími statistickými metodami, které jsou dnes často používány. Byl pravděpodobně prvním, kdo použil ke znázornění hodnot nějaké proměnné histogramu, tedy diagramu znázorňujícího pomocí výšky sloupců počet pozorování, kdy hodnota číselné proměnné (opět např. výška, hmotnost, počet výtrusů atd.) náležela do intervalu, který odpovídá vybranému sloupci. Dále popsal základní principy statistického testování hypotéz, tedy postupů, které umožňují určit, nakolik je pravděpodobné, že nějaká odchylka pozorované veličiny (pozorovaných veličin) od očekávání by mohla být způsobena pouhou náhodou, a jestli je na místě přehodnotit očekávání.

6. Představme si situaci, že v rámci měření hmotností jistého počtu samců a samic jednoho druhu živočicha narazíme na rozdíl v průměrných hmotnostech mezi pohlavími. Na základě těchto dat však nedokážeme rozhodnout, zda je pozorovaný rozdíl způsoben pouhou náhodou (někteří jedinci jsou větší než jiní a v našem vzorku zrovna příslušeli ti větší k jednomu pohlaví), nebo se pohlaví doopravdy liší v průměrné hmotnosti. Jakou jednoduchou změnou ve sběru dat lze zařídit, abychom mohli odlišit náhodné odchylky od skutečných rozdílů? Zkuste říct vlastními slovy, proč tato změna pomáhá k odlišení náhody a reálných rozdílů. Tento postup je obecný, nemusí se týkat jen porovnávání průměrných hodnot.

Na začátku 20. století se biostatistice věnoval anglický vědec Ronald Aylmer Fisher (1890–1962). Rozšířil metodiku věnující se testování hypotéz, popsal některé statistické testy a rozvinul další statistické metody. Poměrně dlouho dobu působil na Rothamstedské výzkumné stanici věnující se experimentům s pěstováním zemědělských plodin. V rámci tamějšího působení zpracovával data získaná za dlouhou dobu existence stanice a také sepsal zásady designu experimentů tak, aby z nich získané informace byly statisticky co možná nejprůkaznější. Zdůrazňoval nutnost zabránit vnějším okolnostem prostředí v ovlivnění výsledku experimentu.

7. Příkladem, na kterém Fisher uváděl způsoby, jak se vyhnout experimentálními chybám, byly zemědělské experimenty. Typickým zadáním bylo porovnávání výnosu různých odrůd za daných podmínek na experimentálních poličkách:

- Jednou ze zásad byla nutnost replikace, tedy opakování jednotlivých součástí experimentu. Každá odrůda by měla být pěstována na více experimentálních poličkách ve stejných podmínkách. Proč takové uspořádání vede k menším experimentálním chybám, než kdyby byla jedna odrůda pěstovaná na jednom poličku, které by bylo tolikrát větší, aby jeho celková plocha byla rovna součtu ploch menších poliček v alternativním experimentu?
- Ve výše uvedeném experimentu Fisher doporučuje, aby se každé opakování experimentu odehrávalo v podlouhlé ploše rovnoběžné s ostatními experimentálními plochami. Délka každé plochy je pak rozdělena na sektory, ve kterých by měly být vysazeny jednotlivé odrůdy. Nabádá k tomu, aby pořadí jednotlivých odrůd bylo zvoleno náhodně, v každém opakování jinak. Zkuste zdůvodnit, proč je takový postup lepší, než kdyby odrůdy byly seřazeny pokaždé stejně.

V průběhu dvacátého století čím dál větší část biologických prací obsahovala nějaké kvantitativní výstupy, rovněž jejich statistické zpracování se stávalo čím dál běžnějším. K rozvoji a rozšíření složitějších statistických metod pak na konci dvacátého století výrazně napomohl rozvoj výpočetní techniky. Většina ze současných metod by se bez využití výpočetní techniky neobešla. Používané matematické vztahy mnohdy nemají analytické řešení, ale je třeba je řešit numericky. To znamená, že není možné hledanou proměnnou (či hledané proměnné) vyjádřit nějakými úpravami z rovnic popisujících zkoumaný systém. Místo toho se zkouší dosazovat (podle nějakého klíče) mnoho různým možných hodnot hledaných proměnných a hledají se ty, které nejlépe odpovídají skutečnosti popsané pomocí určitých matema-

tických vztahů. Takový postup vyžaduje mnohonásobné opakování výpočtů, které by „ručně“ nebylo možné uskutečnit.

Genetika

Tradičně velkého využití nalézala matematika v genetice. V následujících odstavcích si popíšeme pouze nejvýznamnější případy, při kterých matematika podala genetice pomocnou ruku.

Již Johann Gregor Mendel (1822–1844) ve své práci *Veruche über Pflanzenghybriden* (Pokusy s křížením rostlin) z roku 1866 svá pozorování dědičnosti některých jednoduchých znaků u hrachu podkládá záznamy o tom, kolik rostlin v dané generaci vykazuje kterou formu znaku. Z pozorovaných počtů rostlin, které se řídily kombinatorickými pravidly, vyvodil Mendel základní poznatky o dědičnosti jednoduchých znaků: Znaky se dědí samostatně, každý jedinec nese dva „faktory“ (alely jednoho genu), které předurčují rostlinu k tvorbě těchto, nebo různých forem znaku a do další generace se přenáší vždy jen jeden z nich. Rozlišují se „faktory“ (alely) dominantní a recesivní, jsou-li v jedné rostlině přítomny oba typy, projevuje se jen ten dominantní. Pokud jsou při křížení sledovány dva znaky, jejichž formy se liší u rodičovských rostlin, tak v následujících generacích vznikají všechny kombinace forem těchto dvou znaků v charakteristických poměrech.

V době publikace se práci nedostalo velkého ohlasu a byla takřka zapomenuta. K jejímu znovuobjevení pro vědeckou komunitu došlo až na přelomu 19. a 20. století.

8. Mendelův úspěch lze částečně přičíst i vhodné volbě modelové rostliny:

- To se také ukázalo, když chtěl své experimenty původně provedené na hrachu zopakovat na jiném druhu. Jako další druh si vybral ještěbníky (*Hieracium* sp.). Vysvětlíte, kvůli které vlastnosti zvolené rostliny, se tato volba neukázala být vhodnou.
- Jmenujte alespoň dvě další vlastnosti hrachu, které nejsou společné všem rostlinám a napomohly úspěchu Mendelovy experimentální práce.

Na začátku 20. století koexistovaly v Anglii dvě velké myšlenkové školy vědců, které přistupovaly ke zkoumání dědičnosti odlišnými způsoby. Jedna představovaná biologii působícími na Cambridge, jako byl Gregory Bateson nebo Reginald Punnett, se snažila dědičnosti přijít na kloub, vycházejíc z Mendelových pozorování a zákonů. Druhá škola vědců působících v Londýně využívala ke zkoumání dědičnosti především statistické nástroje. Jejimi představiteli byli například Karl Pearson nebo Udeny Yule. Na sjednocení obou přístupů měl velký podíl Ronald A. Fisher. Mendelovský přístup ke genetice převážil, ale i londýnská škola po sobě zanechala v historii biologie nesmazatelnou stopu, například už zmíněným rozvojem statistických metod.

Další slavnou aplikací matematiky v genetice byl Hardy-Weinbergův zákon. Jeho znění bylo odvozeno matematikem G. H. Hardym (1847–1947) a nezávisle na něm německým biologem a lékařem W. Weinbergem (1862–1937). Hardy-Weinbergův zákon je odpovědí na otázku, co se stane, pokud se v populaci organismů nechají nositelé nějakého genu s dvěma alelami (dominantní a recesivní) volně křížit. Hardy-Weinbergův zákon říká, že podíl dominantních a recesivních homozygotů a heterozygotů je v ideálním případě určen pouze četností výskytu obou alel v populaci. Podíl jednotlivých genotypů (heterozygotů a homozygotů obou alel) je dán prav-

děpodobnostmi toho, že se setkají dvě gamety nesoucí ty dvě alely, které jsou zastoupeny v daném genotypu. (Podíl homozygotů je druhou mocninou podílu příslušné alely v populaci, podíl heterozygotů je dvojnásobkem součinu podílu obou alel.) Aby se populace chovaly skutečně takto, musí být splněny některé podmínky, především by žádný z genotypů neměl být v evoluci zvýhodněn oproti jinému a množení jedinců (výběr partnera) musí být naprosto náhodné (tj. kterýkoliv jedinec se může se stejnou pravděpodobností spářit s kterýmkoliv jiným jedincem opačného pohlaví). Tyto podmínky mohou být u reálných populací splněny do různé míry a z odchylek od rovnováhy můžeme usuzovat, že některá z podmínek neplatí.

9. Jednou ze situací, kdy Hardy-Weinbergův zákon neplatí, je množení preferenčně mezi příbuznými jedinci, čili inbreeding. Jakým způsobem změny inbreedingu zastoupení homozygotů obou alel a heterozygotů v populaci? Proč může vést k častějšímu výskytu geneticky podmíněných vad a onemocnění?

Počátkem 20. století se o propojení evoluční biologie a genetiky postarali především Sewall Wright (1899–1988), J. B. S. Haldane (1892–1964) a nám již známý Ronald A. Fisher. Mimo jiné využili Hardy-Weinbergova zákona a představili modifikované matematické vztahy zahrnující vliv selekce, migrace jedinců mezi populacemi a nově vzniklých mutací. Stali se tak spolu s Hardym a Weinbergem zakladateli populační a evoluční genetiky. Mimo to také dosáhli mnohých výsledků na poli teoretické evoluční biologie.

10. Předpokládejme, že na některou ze dvou alel daného lokusu působí přírodní výběr takovým způsobem, že jedinci, kteří ji nesou, se nerozmnoží, případně se rozmnoží výrazně méně než jedinci s druhou alelou. To povede k mizení této alely z populace. Jak se bude lišit rychlost mizení (doba za kterou zmizí úplně) v případě, že je daná alela dominantní, a v případě, že je daná alela recesivní? Proč tomu tak bude? Tento rozdíl lze odvodit pouhou úvahou, ačkoliv matematické vztahy publikované výše zmíněnými pány by nám na otázku také daly odpověď.

Pro další vývoj evoluční genetiky bylo významné přesunutí pozornosti výzkumníků od selekce k náhodným evolučním procesům. Jedním z takových je genetický drift, tedy náhodná změna zastoupení alel v populaci nesouvisející s jejich výhodností v evoluci. Ukázalo se, že takovéto náhodné procesy hrají v evoluci genotypu (a zprostředkovaně i fenotypu) významnou roli, což umožnilo aplikaci statistických metod pro popis evolučních procesů. Příkladem mohou být fylogenetické metody, které modelují příbuznost jednotlivých organismů (např. druhů) na základě znaků, které vykazují (ať už morfologických nebo molekulárních).

V druhé polovině 20. století genetiku také výrazně ovlivnil rozmach molekulárních metod. Ty umožnili přímo studovat ony dědičné faktory – geny – a navíc zpřístupnily přímému zkoumání velké množství znaků, které jsou patrné pouze na molekulární úrovni. K jejich zpracování jsou využívány různé matematické a statistické metody, které z velkého množství dat dokáží zjistit užitečné informace. V některých případech je zjištěných informací velmi velké množství, takže jejich zpracování je výzvou i pro současnou vysoce výkonnou výpočetní techniku.

