

O plži, který se raději dusí, než by ztrácel tělní vodu

Ovsenka skalní (*Chondrina avenacea*) je jedním z kalcikolních epilitických druhů plicnatých plžů (*Pulmonata*), kteří obývají vápencové skalní stěny. V Evropě tvoří centrum jejího výskytu vápencové Alpy až do 2 000 m n. m., vzácněji i výše. Areál se táhne od severozápadního Španělska až po Chorvatsko na východě a od Sicílie na jihu až po střední Německo na severu. V Čechách žije velmi izolovaně, pouze na skalách a opuštěných lomových stěnách v Českém krasu a na Křivoklátsku (viz Živa 1984, 2: 65–66). Ačkoli IUCN neshledává tento druh vzácným ani ohroženým, u nás je ovsenka skalní vzhledem ke svému omezenému výskytu zařazena v červené knize ohrožených druhů. Místní populace ovsenky ale bývají většinou docela silné, takže jsme získali od Správy CHKO Český kras povolení k odběru jedinců pro výzkumné účely na lokalitě Solvayovy lomy (obr. 1–3; viz také Živa 2012, 3: 129–131).

Zajímalo nás, jaké adaptace umožňují těmto drobným plžům trávit celý život na tak extrémním stanovišti, jako je téměř holá vápencová skalní stěna (obr. 4–6). Ovsenky navíc upřednostňují stěny exponované k jihu, což ještě umocňuje míru proměnlivosti a nepříznivosti abiotických podmínek. Teploty zde kolísají v rozmezí mnoha desítek °C, od silných zimních mrazů až po rozpálenou skálu v letním odpolední. Vlhkost se může drasticky měnit od stékající vody až po několikátý denní sucho. Se změnami vlhkosti a teploty souvisí i dostupnost potravy (nárůsty lišejníků a řas). Tyto změny se odehrávají na časové škále od minut (zaplavení deštěm), přes typické denní cykly teploty nebo několikadenní výkyvy počasí, až po sezonní střídání ročních období. Na pravidelné denní a sezonní cykly je možné se předem

připravit a naprostá většina organismů to dobře umí díky svým vnitřním časovým systémům, jako jsou biologické hodiny nebo fotoperiodický kalendář. Horší to bývá se změnami, které přicházejí náhle a nepředvídatelně, což je právě situace typická pro skalní stěny. Ovsenky se musejí vyrovnat i se změnami náhlými. Jak to tedy dělají?

Fyziologie přežití na skále

Plží ulita představuje první a velmi účinnou obrannou linii před nepříznivými abiotickými podmínkami. Je prakticky nepropustná pro vodu a samozřejmě chrání i před slunečním zářením. Suchozemští ulitnatí plži obecně špatně tolerují ztrátu tělní vody, ale dokážou jí účinně předcházet. Jsou schopni rychle zareagovat na vysychání okolního prostředí stažením se do

ulity a uzavřením jejího ústí pomocí pláště (dýchají přes pneumostom – otvor vedoucí do plicního vaku). Navíc na povrch pláště postupně sekretují rychle tuhnoucí směs mukopolysacharidů (tzv. epifragma), jež učiní plášť nepropustným pro vodu. Sníží se také rychlost výměny dýchacích plynů a celková rychlost metabolismu poklesne zhruba na třetinu klidového stavu. Plž vstupuje do dormantní fáze nazývané letní spánek neboli estivace. Zjistili jsme, že ovsenky jsou schopny provést tento obranný manévř kdykoli během roku, okamžitě a bez jakékoli přípravy, a poté zůstat v ulitě velmi dlouho. To znamená dva měsíce bez ztráty životaschopnosti a maximálně až jeden rok (3,4% míra přežití). Tělo drobné ovsenky (průměrná celková hmotnost dospělého jedince i s ulitou je 12 mg) obsahuje pouze kolem 4 µl vody. Takto malá, nechráněná kapka by se na vzduchu odpařila během několika sekund až hodin (v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu). Ovsenka s ní ale dokáže vystačit i celý rok! Průměrná naměřená ztráta vody během estivace tvořila pouze kolem 6 % výchozího objemu za jeden měsíc (a to při vysoké teplotě 25 °C a nízké relativní vlhkosti vzduchu pod 10 %). To je nesmírně málo, uvědomíme-li si, že plž nesmí přestat dýchat a přitom dýchání vede nevyhnutelně ke ztrátám vody. Estivující ovsenka tento fakt vyřešila schopností dýchat přerušovaně (diskontinuálně). Dlouhé intervaly „bez dechu“ (apnoe) střídají krátké periody výměny plynů (viz obr. 7). Velmi nízká rychlost metabolismu spolu s diskontinuálním způsobem dýchání výrazně snižují ztráty tělní vody.

Co se ale děje během apnoických period? Plž se doslova dusí. Koncentrace kyslíku v jeho tkáních klesá (hypoxie) a naopak koncentrace oxidu uhličitého stoupá (hyperkapnie). Oxid uhličitý se částečně mění na kyselinu uhličitou, což vede k postupnému okyselení tělních roztoků (acidóza). Metabolismus, ve snaze zajistit životně nutný obrat chemické energie, přepíná na výrobu adenosintrifosfátu (ATP) rozkladem a fermentací glukózy bez přístupu kyslíku (anaerobie). Přitom se hromadí typické metabolické zplodiny, jako jsou laktát a alanin (viz obr. 8 a 10 na str. 78). Pokud tyto fyziologické změny překročí určitou míru, poškodí organismus a mohou vést až k úhynu. Očekávali bychom tedy, že ovsenky budou na tento stav částečně anaerobie evolučně připraveny (adaptovány), neboť právě na něm závisí jejich přežití na suché skále. Když jsme však estivující ovsenky vystavili podmínkám bez kyslíku, 10 % z nich nepřežilo ani jednu hodinu a prakticky všechny zahynuly během 6 hodin. Ve srovnání s človkem nebo s jinými aktivními obratlovci to vypadá, že snáší anoxii poměrně dobře. Ale oproti jiným, skutečně dobře adaptovaným a dormantním živočichům (vodní želvy přezimující v bahně tůňek, karasi přezimující pod ledem) je jejich tolerance anoxie mizivá. Pokuřhávají ve schopnosti přežít v anoxických podmínkách nejen za většinou fakultativních anaerobů (živočichů, kteří občas musejí přežívat v prostředí bez kyslíku), ale dokonce je předčí mnoho zcela neadaptovaných a plně aktivních bezobratlých (např. saranče za





1 až 6 Léto na lokalitě Solvayovy lomy v CHKO Český kras (obr. 1), podzim (obr. 2) a zima (obr. 3) r. 2010. Ovsenka skalní (*Chondrina avenacea*) se vyskytuje celoročně na lomové stěně. Dospělí plži s průměrnou délkou ulity 7 mm jsou aktivní (obr. 4), pokud jim to vlhkost a teplota dovolí a když nacházejí dostatek potravy (nárůsty řas a lišejníků na skále). Na podzim vstupují do zimního spánku (hibernace, obr. 5) a zimu přečkávají nejraději v puklinách skály (obr. 6).

anoxie dokáže žít až hodiny). Ukazuje se tedy, že estivující ovsenky balancují „na ostrí nože“, kdy za cenu obrany tělní vody „dobrovolně“ podstupují dlouhé periody dušení, které přitom poměrně špatně snášejí.

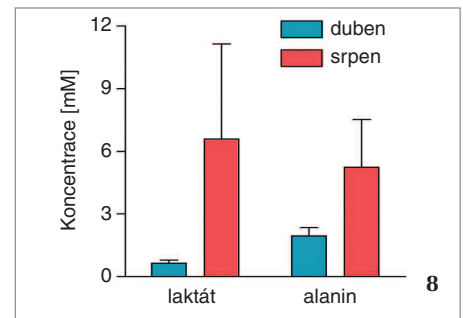
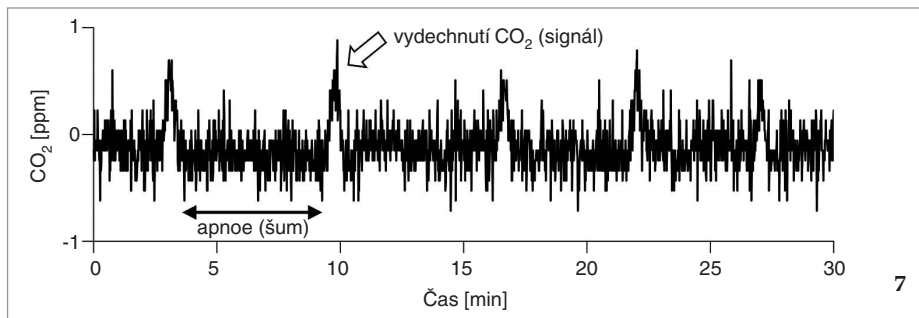
Kromě sucha jsou ovsenky na holé skále ohrožovány extrémními teplotami. My jsme se zabývali teplotami nízkými, tedy přežitím za zimních mrazů. Začátkem února 2012 udeřily na Berounsku extrémní mrazy. Po dobu 11 dnů za sebou klesala noční minima na hodnoty mezi $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a denní maxima nepřekročila $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ihned po skončení tohoto období jsme se vydali do lomu a sesbírali přezimující ovsenky přímo ze skály a také zpod kamenů na dně lomu (tam jich moc není, resp. možná se těžko hledají, ale teplotní výkyvy jsou na těchto místech oproti holé skalní stěně velmi utlumené). V laboratoři jsme potom zjistili, že na skále přeživalo zhruba 50 % jedinců a pod kameny asi

60 % jedinců. To dokazuje, že ovsenky vydrží na skále i velmi silné mrazy. Totéž jsme potvrdili v laboratorních testech. Tento plž již časně na podzim vstupuje do zimního spánku neboli hibernace. Na rozdíl od estivace, kterou spouští přímo nedostatek vlhkosti, a může tak začít kdykoli v roce nebo také nemusí proběhnout vůbec, je hibernace typickou sezonní událostí. Zahájí ji patrně zkracování délky dne (ne tedy přímo teplota), a tudíž začíná každoročně přibližně ve stejnou dobu (od konce září). Naše experimenty ukázaly, že estivace a hibernace mají společný fyziologický základ, kterým je vstup do dormantního stavu, následně zpomalení metabolismu (snížení respirace, šetření energetických zásob ve formě glykogenu) a přísná obrana tělní vody (přerušované dýchání, částečná anaerobie). Samozřejmě že i během hibernace hrozí ztráty tělní vody, a tak se „estivační adaptace“ hodí. A naopak, zdánlivě i trochu protismyslně, také estivující ovsenky uprostřed léta vykazují mírně zvýšenou odolnost vůči chladu. Ovšem skutečná chladová odolnost je vyhrazena pouze hibernujícím jedincům. Ti dokážou snížit teplotu, kdy již mrznou jejich tělní tekutiny (bod podchlazení) velmi hluboko, a to až na průměrných $-16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (rozpětí $-12,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Hibernující ovsenky to udělají tak, že odstraní ze svého těla všechny tzv. nukleátory ledu (obr. 9, viz grafy na následující str. 78), čili látky, které by mohly katalyzovat přechod vody z kapalného skupen-

ství do pevného. Cílem je zabránit tvorbě ledu neboli zmrznutí, které by znamenalo smrt. V těle hibernujících plžů jsme nenalezli (ani velmi podrobnou analýzou) žádné sloučeniny, jež by fungovaly jako ochrana proti účinkům chladu a mrazu (volné aminokyseliny, jednoduché cukry, polyoly atd.). Naproti tomu četné hmyzí druhy za tímto účelem v zimě vyrábějí a hromadí prolin, glycerol, sorbitol, trehalózu i jiné látky. A někteří přezimující ektotermní obratlovci, tedy živočichové s nestálou tělesnou teplotou (ryby, žáby, mloci, želvy, ještěrky) mohou z podobných důvodů hromadit glukózu nebo glycerol. Ovsenky však během přezimování příliš nemění své metabolické složení a využívají schopnost dokonale odstranit nukleátory ledu.

Závěrem lze říci, že i tak nepatrný živočich, jako je ovsenka, dokáže velké věci. Jejich populace přežívají na holých skalách a přitom se zdá, že jako jedinci nejsou k tomuto způsobu života optimálně přizpůsobeni. Jejich chladová odolnost se pohybuje právě na hranici toho, co je v zimě čeká. Část populace zřejmě každoročně padá za obětí mrazům. A jejich rezistence proti vyschnutí, ačkoli relativně vysoká, je draze vykoupena nutností podstoupit život ohrožující periody zástavy dechu, metabolické anaerobie a částečného rozvratu biochemické rovnováhy.

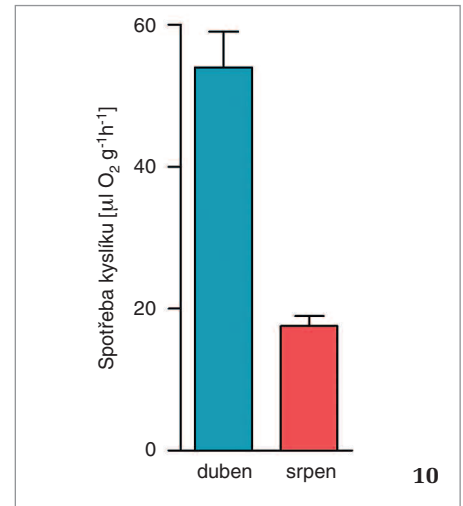
Použitou a doporučenou literaturu uvádíme na webových stránkách Živý.



7 až 10 Fyziologické změny spojené s dormancí ovsenek skalních. Po zatažení do ulity přechází plž na přerušovaný (diskontinuální) způsob dýchání. Záznam produkce oxidu uhličitého (obr. 7) u jednoho jedince snímáný hodinu po zatažení do ulity ukazuje, že k výměně plynů docházelo zhruba v 5–7minutových intervalech. I při použití velmi citlivých přístrojů je poměr signálu během výdechu (šipka) oproti šumu během apnoické periody (tedy bez dechu; úsečka) na hranici měřitelnosti (normální hladina oxidu uhličitého ve vzduchu je 380 ppm). Obr. 10 ukazuje rozdíl průměrné klidové hodnoty spotřeby kyslíku u aktivních plžů (duben 2010) a u těch, kteří právě procházejí letním spánkem neboli estivací (srpen 2010). Spotřeba kyslíku byla měřena pomocí Warburgova respirometru, vždy u 8 skupin plžů po 10 exemplářích v obou měsících. Během apnoických period přechází ovsenka na částečnou anaerobii, což dokazuje akumulace zplodin anaerobního dýchání, laktátu a alaninu (koncentrace



jsou zjištěny pomocí plynového chromatografu spojeného s hmotnostním spektrometrem). U estivujících plžů je anaerobie výraznější (obr. 8), neboť apnoické periody jsou delší. Na podzim vstupují plži do zimního spánku neboli hibernace



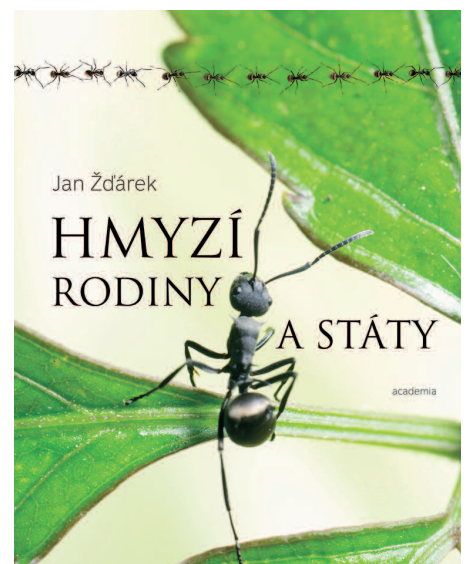
(obr. 9). Před hibernací ještě vyprázdní střevo (šipka ukazuje trusinky), čímž se patrně zbaví potenciálních nukleátorů ledu a posílí svou schopnost podchlazovat tělní vodu (viz obr. 5). Blíže v textu. Snímky: P. Pech, orig. grafů V. Košťál

Kniha roku 2013 v Nakladatelství Academia

Jan Žďárek: Hmyzí rodiny a státy



„Knihu jsem připravil jako aktualizované vydání předcházejícího titulu PROČ vosy, včely, čmeláci, mravenci a termity... aneb HMYZÍ STÁTY (ÚOGBH Praha, 1997). I přes amatérský způsob distribuce byl náklad poměrně brzy rozebrán, kniha obdržela literární cenu Josefa Hlávky a dodnes jsem dotazován, zda a kde je ještě ke koupi. Proto jsem uvítal nabídku Nakladatelství Academia připravit doplněnou verzi. Když jsem začal shromažďovat dodatky k původnímu rukopisu, samotného mne překvapilo, co nových poznatků se objevilo ve vědecké literatuře a co otazníků mého PROČ bylo mezitím zodpovězeno, ale i kolik jiných se naopak vynořilo. Jen pro ilustraci, na jediné úzké téma – společenství pavouci – vyšlo 169 nových vědeckých prací. Bylo mi jasné, že odlehčené a nezávazně poučné čtení, určené hlavně dospívající mládeži, poněkud ztěžkne a snad i zvažní. Rozšířil jsem i titul knihy, aby po připsání 9 nových kapitol ze života hmyzích rodin vyváženěji obrazel její obsah v duchu vývojové i sociologické



zkušenosti, že rodina je základem společnosti. Beletrizujícímu přepisu mnohých příběhů z říše hmyzu se kniha snaží dodat na důvěryhodnosti i zařazením kompletního seznamu citovaných pramenů a řady unikátních makrofotografií ze života popísaných šestinohých hrdinů.“

Z předmluvy autora

1 Samička – zakladatelka hnízda vosika žltoskvrnného (*Polistes biglumis*) hlídá svůj plodový plást zatím jen s vajíčky a malými larvami. Foto D. Šípková