

Koretra – fantom našich vod

Z obálky tohoto čísla se na nás „dívá“ tvor, kterého většina čtenářů, snad vyjma akvaristů a jiných lovců planktonu, asi v životě neviděla. Přinejmenším ne v této podobě, jde totiž o volně pohyblivou, ve vodě žijící kuklu. Je ale klidně možné, že jste se ho v dospělém stadiu pokusili někde „plácnout“ v domnění, že se zbavujete krvežíznivého komára. Pokud jste se trefili, byla to křivda, i když taxonomicky jste byli blízko. Dospělec vylíhlý z této kukly krev nesaje a ani kukly se nemusí nikdo bát – ta potravu nepřijímá. Zato předchozí vývojové stadium, larva, může být pro mnohé planktonní živočichy ve stojatých vodách postrachem.

Mluvíme tu o koretrách, dvoukřídlém hmyzu z čeledi koretovití (Chaoboridae), které jsou systematicky řazeny do blízkosti komárů (Culicidae, sdílejí stejnou nadčeleď Culicoidea) a stejně jako oni jsou svým životem vázány na stojaté vody. Díky antipredačním adaptacím ale dokážou alespoň některé z nich osídlovat mnohem širší spektrum biotopů než komáři. V našich vodách a v jejich okolí se setkáme s méně než 10 druhy koreter, rozdělenými do tří rodů (*Chaoborus*, *Mochlonyx*, *Cryophila*), přičemž nás bude zajímat ten první – *Chaoborus*, který si zcela zaslouží

titulkové označení fantom našich vod. Vypůjčili jsme si ho z angličtiny, kde se koretřám říká phantom midge, což na rozdíl od nicneříkajícího českého názvu docela přesně vystihuje jedinečnost jejich larválních stadií. O larvách koreter jsme se už letmo zmiňovali v předchozím čísle Živy (2022, 4: CVII–CX), jsou totiž ukázkovým příkladem adaptace na pelagický způsob života i za přítomnosti ryb.

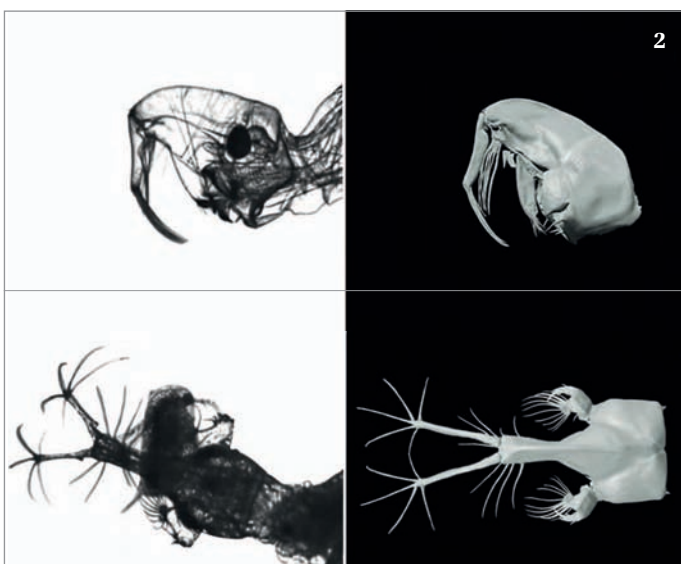
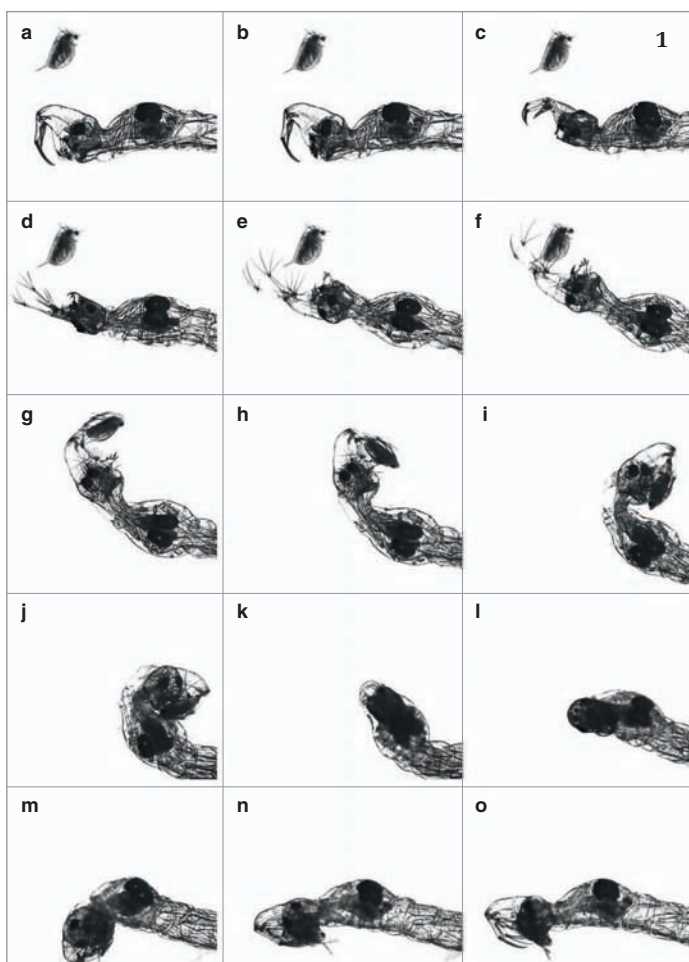
Právě proto je toto stvoření tak zajímavé a najdeme ho pravidelně nejen v mnoha planktonních společenstvech (jako jednoho z mála zástupců hmyzu), ale také snad

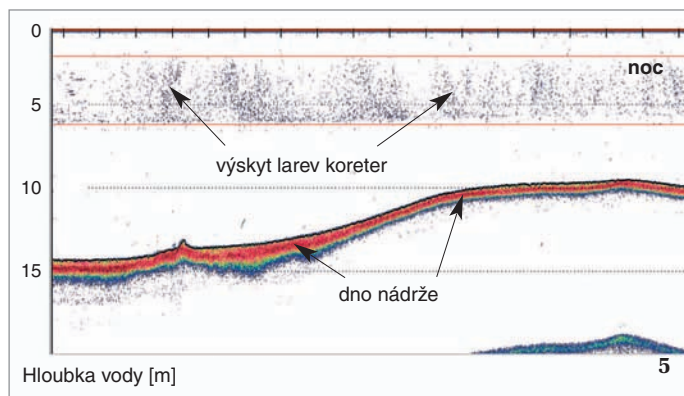
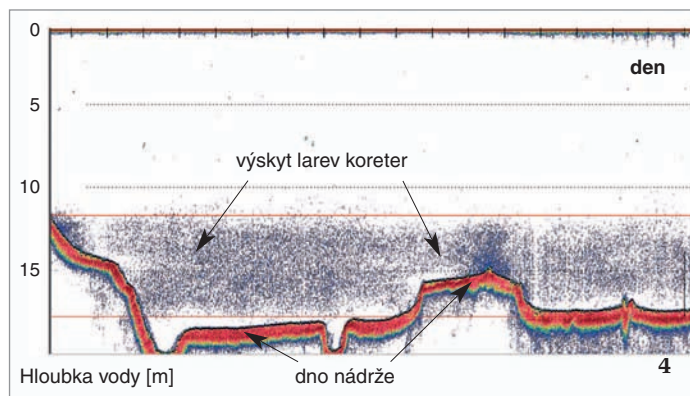
ve všech učebnicích limnologie a hydrobiologie. Na dospělých, aspoň pro ekologa, nic příliš zajímavého není. Snadno si je spleteme s komáry nebo vzhledem podobnými, ale méně příbuznými pakomáry (Chironomidae). Stejně jako pakomáři nebo samci komárů se živí nektarem a rostlinnými šťávami. Dospělci, jak bývá u těchto forem hmyzu obvyklé, žijí jen několik dní a jejich hlavním úkolem je se rozmnožit. Samička po páření klade vajíčka pod vodní hladinu, snůšky po 100 a více vajíčkách pak plavou jako malé rosolovité koláčky ve vodním sloupci, jímž postupně sedimentují ke dnu, kde se z nich po několika dnech líhnou malé larvy. Na rozdíl od většiny jiných vodních larev hmyzu, které obvykle žijí na dně, mezi rostlinami

1 Larva koretry rodu *Chaoborus* chytá juvenilní hrotnatku obecnou (*Daphnia pulex*). Ze záznamu vysokorychlostní kamery (snímková frekvence 8 000 fps), mezi obrázky b a h uběhlo 14,9 ms.

2 Postavení tykadel a příústních končetin koretry při číhání (nahore) a rozevření lapacího koše (dole) před uchopením kořisti. Vlevo záběr z vysokorychlostní kamery, vpravo trojrozměrná rekonstrukce struktur založená na mikrotomografii. Orig. S. Kruppert, převzato se souhlasem autorů (Kruppert a kol. 2019, obr. 1 a 2). Záznam kamery a animace jsou ke zhlédnutí na webové stránce Živy.

3 Takřka průhledná larva koretry v posledním instaru před kuklením. U předních plynových měchýřků jsou vidět již připravené dýchací růžky budoucí kukly. Foto M. Černý





v litorálu nebo v mělké vodě, se larvy koretery odstěhují do vodního sloupce a vedou plnohodnotný zooplanktonní život. A tady to začíná být zajímavé.

Fantom – dravec v temnotě i neviditelná kořist

Larvy koreter jsou totiž dravci, živící se jiným, menším zooplanktonem. Byť jsou evolučně omezeny stavebním plánem larev dvoukřídlých, což mimo jiné obnáší absenci hrudních končetin využitelných k pohybu nebo chytání kořisti, jsou k dravému způsobu života velmi dobře vybaveny. Sice mají vyvinuté oči, ty ale pravděpodobně slouží pouze ke vnímání změn intenzity světla ve vodním sloupci, podle níž koretry upravují své antipredační chování. Kořist totiž nacházejí po hmatu, díky senzilám, registrujícím změny proudění vody. Larva koretry číhající na kořist se nehybně vznášá na jednom místě ve vodním sloupci a z nepatrných turbulencí odhaduje vzdálenost, směr pohybu a velikost planktonu ve svém nejbližším okolí.

Pokud se nějaký velikostně vhodný jedinec zooplanktonu dostane do její blízkosti, larva podnikne prudký výpad a kořist uchopí, nemajíc nožičky, pomocí modifikovaných tykadél, která spolu s příústními končetinami tvoří jakýsi skládací lapací koš (obr. 1 a 2). Celá akce trvá jen okolo 14 ms a patří mezi nejrychlejší útoky v živočišné říši. V tuto chvíli ale koretra ještě nemá vyhráno, protože si musí kořist před pozřením sadou příústních končetin správně natočit, což může trvat jednotky až desítky sekund. Tento čas se polapená kořist obvykle snaží využít doslova k „vycukání se“ ze smrtícího úchopu, přičemž řada obětí dokáže prodloužit dobu, kdy s ní zaživa predátor manipuluje, přesně pro tento účel vytvořenými obrannými morfologickými strukturami na povrchu těla. Získává tak cenný čas k možné záchráně života (více o těchto a dalších „na míru šitých“ obranách zooplanktonu proti konkrétnímu typu dravce viz zmiňovaný článek v minulém čísle Živy).

V relativním měřítku velikostních škál běžného zooplanktonu pevninských vod, nejsou larvy koreter žádní drobečci. V největším instaru, před zakuklením, mohou dosahovat délky těla až 15 mm. „Obří“ velikost s sebou přináší jak výhody (schopnost polapit i relativně velké planktonní korýše), tak nevýhody – zejména nebezpečí, že se koretra sama stane obětí predace. Vrcholovými predátory našich vod jsou samozřejmě ryby, jež se orientují zrakem a většinou pro ně platí, že čím větší

sousto, tím lépe. Vzrostlé larvy koreter jsou tedy soustem potenciálně lákavým – není náhodou, že mražené koretry jsou ke koupí v akvaristikách jako kvalitní krmivo. Jednou z obvyklých strategií zooplanktonů, jak se sežrání rybami vyhnout, je například zmenšení velikosti těla (viz článek v minulém čísle Živy). To by však larvě koretry nevyhovovalo – hůře by sama lovila, a navíc potřebuje vyrůst, aby se mohla řádně proměnit v životaschopného dospělce. Volí proto jinou běžnou strategii, jak splynout s uniformním prostředím vodního sloupce, a to zprůhlednění těla. Od úplné neviditelnosti zrazuje larvu koretry jen tmavá barva jejich relativně malých očí a dva páry plynových měchýřků na začátku a na konci těla (obr. 3).

Zneviditelnění ale není jedinou obranou koreter proti rybí predaci. K jejich pověsti fantomů přispívá i další způsob, jak se vypořádat s rizikem predace – rybám mohou doslova zmizet z očí tím, že se přes den schovávají v hloubce. Za svou potravou, menším zooplanktonem koncentrujícím se na „zelených pastvinách“ fytoplanktonem bohatého epilimnia, se v tom případě koretry vydávají až se soumrakem a nad ráno se zase ukryjí. Stejnou obrannou strategii proti rybí predaci, diurnální vertikální migraci (viz uvedený článek v Živě 2022, 4), volí často i jiný zooplankton, například hrotnatky (*Daphnia*). Tím se ale ocitají ve dvojím ohni – vyhnou se sice rybám, ale nabídnou se taktálně lovicím koretrám, kterým tma pro lov nevadí. Alternativou je vyhnout se koretrám, zvolit raději riziko přítomnosti ryb v osvětleném pelagiálu, a v noci, kdy koretry vystoupají do epilimnia s vidinou prostředního stolu, se uklidit do relativního bezpečí chladných hlubin. Tato opačná (reverzní) diurnální migrace hrotnatek nastává však až při vysokých hustotách koreter, kdy od nich hrozí větší nebezpečí než od ryb. Migrace koreter, kterých mohou být až tisíce či desetitisíce pod jedním čtverečním metrem hladiny, lze v těchto počtech detekovat i dostatečně citlivým echolotem používaným ke sledování drobných ryb, neboť se ultrazvuk dobře odráží od jejich plynových měchýřků (obr. 4 a 5).

Až bude tma, zvýším si pH a přinesu metan

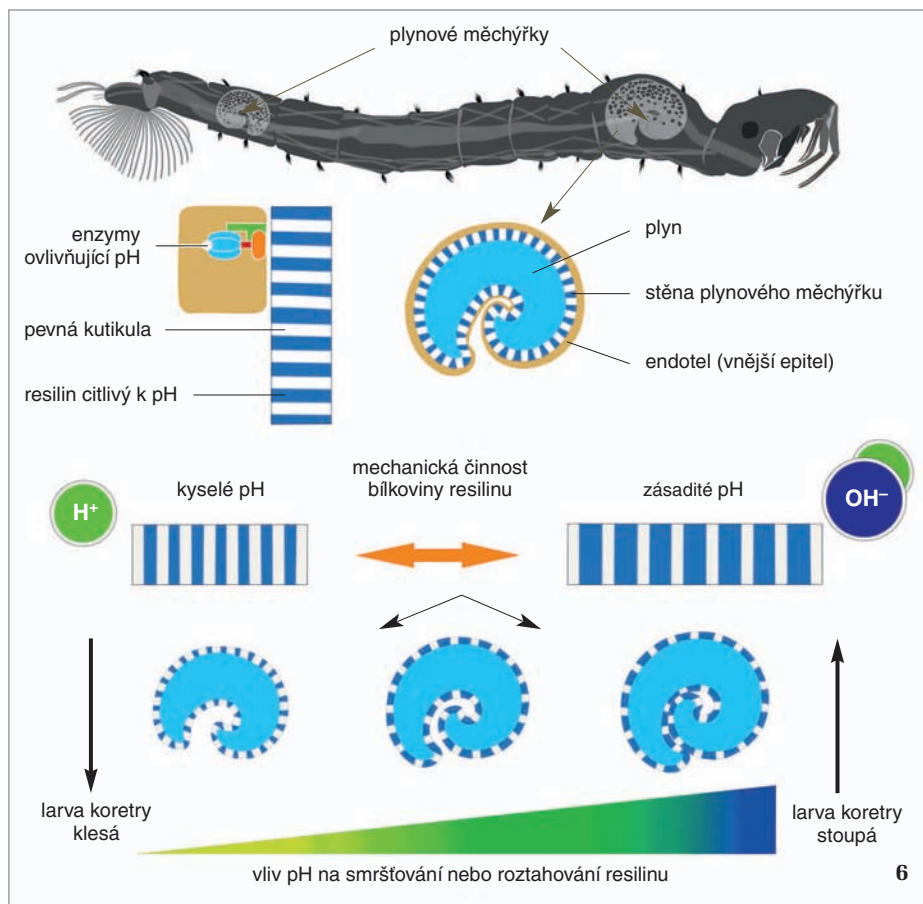
Aktivní pohyb vodním sloupcem dvakrát denně (večer nahoru a k ránu dolů) migrující zooplankton stojí hodně energie. Pro koretry evoluce našla levnější řešení – hloubku mění pasivně, změnou vztlaku svých plynových měchýřků, jež jsou nej-

4 a 5 Rozdíly v rozmístění larev koreter ve vodním sloupci mezi dnem (obr. 4) a nocí (5), jak je zachytil echolot při mobilním akustickém průzkumu rybí obsádky ve vodní nádrži Žlutice v srpnu 2019. Drobné modré tečky v oblasti vymezené červenými linkami jsou koretry, výrazná červená oblast dole je dno nádrže (jejíž hloubka se mění v závislosti na pohybu lodi). Během noci se koretry rozptýlí v teplém epilimniu (do hloubky asi 6 m), přes den se převážně zdržují v chladném, temném a téměř anoxickém hypolimniu (pod 12 m), kde jsou v bezpečí před rybami. Orig. V. Drašík, Biologické centrum AV ČR

6 Schéma fungování plynových měchýřků. Změna velikosti a tím i jejich vztlaku je vyvolána roztažením či smrštěním proteinu resilinu ve stěně měchýřků v závislosti na pH v přilehlém endotelu. Upraveno podle: E. K. G. McKenzie a kol. (2022), kreslila R. Bošková.

7 Mrak dospělců koreter *C. edulis* nad východoafrickým jezerem Malawi. Latinské jméno druhu, který se v podobných masách vyskytuje i v dalších velkých afrických jezerech, například ve Viktoriině a Edwardově jezeře, znamená nikoli nadarmo koretra jedlá. Domorodí obyvatelé z nich připravují údajně chutné a na proteiny bohaté koláčky kunga. Foto M. Grimm, se souhlasem autora

nápadnějšími strukturami na průhledném těle larvy (viz obr. 3). Za normálních okolností měchýřky zajišťují, aby byl vztlak larvy neutrální a ta se mohla bez pohybu vznášet a čekat na kořist. V případě, že se měchýřky zvětší nebo zmenší, larva vodním sloupcem stoupá nebo klesá (obdobně, jako to dělají potápěči). O tom, že koretry nastavují svou polohu ve vodním sloupci pomocí plynových měchýřků, se ví již více než století. Až v nedávné době se ale přišlo na to, jak vlastně regulují jejich objem (obr. 6). Neděje se to obvyklou změnou tlaku plynů a z ní plynoucí změnou objemu měchýře jako v případě ryb. U koreter je tomu naopak, nejdříve mění objem měchýřků, aby v nich vznikl přetlak či podtlak, a ten se posléze pasivně vyrovná plynů difundujícími z okolní vody. Způsob zvětšování a zmenšování plynových měchýřků koreter je z hlediska provedení velmi neobvyklý. Jde vlastně o výkonný chemomechanický stroj, jenž pracuje efektivně i proti hydrostatickému tlaku několika atmosfér, s nímž se koretry v hloubkách jezer nevyhnutelně setkávají.



vají (v jezeře Malawi klesají do hloubky až kolem 240 m, kde tlak vody dosahuje 25 atmosfér). Stěny měchýřků v sobě mají proužky resilinu – elastomerní bílkoviny, která se smršťuje, nebo natahuje podle pH v přilehlých tkáních. A změnu pH dokážou zařídit příslušné enzymy v endotelu (vnějším epitelu) měchýřků. Při nízkém pH je resilin smrštěn a měchýřky jsou malé, koretra klesá. Pokud je pH alkalické, měchýřky se roztáhnou a larva vodním sloupcem stoupá (obr. 6).

Protože se plyn uvnitř měchýřků doplňuje pasivně difuzí, jeho složení odpovídá tomu, jaké plyny jsou rozpuštěny v okolní vodě. To má podle nedávných zjištění i další nečekané a zajímavé důsledky.

Larvy koreter totiž díky svým diurnálním migracím mohou přispívat k uvolňování skleníkových plynů do atmosféry. Když se zdržují přes den v hloubce, nijak se nevyhýbají ani vrstvám nade dnem, kde došlo k vyčerpání kyslíku (obr. 4) v důsledku rozkladu sedimentující organické hmoty (blíže v Živě 2022, 2: 75–77), nebo anoxickým sedimentům. Naopak, toto prostředí jim zajistí ještě bezpečnější úkryt před rybami, které se do anoxie dobrovolně nevydávají. Koretry zde dokážou dlouhé hodiny bezproblémově fungovat kvůli své schopnosti přepnout respirační metabolismus na produkci adenosintrifosfátu (ATP) pomocí anaerobního malátového cyklu.



V prostředí bez kyslíku se při rozkladu organické hmoty uvolňují plyny jako metan (CH_4) a sulfan (H_2S). Jejich koncentrace v sedimentu nebo ve vodě nade dnem může být vlivem vysokého tlaku vodního sloupce a chladnější vody hypolimnia poměrně značná (viz Živa 2022, 2: XLV až XLVII). A tady se rýsuje potenciální vliv koreter na globální klima – v anoxii se jim obohacují měchýřky metanem, jedním z hlavních skleníkových plynů. Ten se cestou vzhůru s kontinuálně se snižujícím hydrostatickým tlakem uvolňuje do vodního sloupce, před ranním sestupem larev do hlubin navíc dojde díky resilinovému smrštění měchýřků k jeho dalšímu vypuzení. Metan dopravený k hladině pak z vody uniká do atmosféry. Následkem antropogenní eutrofizace i oteplováním klimatu přitom anoxických vrstev ve vnitrozemských vodách přibývá (viz zmíněná Živa 2022, 2), koretry tak mohou vynášet metanu z hlubin čím dál více.

Může mít vynášení metanu koretrami skutečně význam v jeho globální bilanci? Objem plynových měchýřků průměrné larvy koretry je 0,12 μl , což opravdu není mnoho. Na druhou stranu, hustoty larev v mnohých světových jezerech mohou běžně dosahovat i desítek tisíc jedinců na 1 m^2 plochy hladiny a svou pouť do hlubin a zpět před zakuklením vykonají mnohokrát (mnohdy v několika generacích do roka). Publikované odhady mluví o širokém rozpětí 0,01 až 32 g vneseného metanu na 1 m^2 eutrofního jezera za rok, přičemž většina odhadů se přiklání spíše k nižším hodnotám této široké škály. To je řádově méně, než kolik se uvolňuje metanu z mokřadů (jež patří mezi hlavní přirozené zdroje tohoto plynu a přispívají téměř třetinu k jeho globální produkci). Takže můžeme zůstat klidní, na fantoma našich vod se nezlobit a biologický transport metanu ode dna a ze sedimentů brát jen jako zajímavou kuriozitu.

A pochoutka na závěr

Vysoké populační hustoty koreter v mnoha světových jezerech ale hrají i veskrze kladnou roli – mohou být žádoucím zdrojem bílkovin pro místní obyvatele. Lidé z vesnic na březích velkého afrického jezera Malawi každoročně toužebně očekávají masové líhnutí koreter, které je v těchto končinách opravdu spektakulární (obr. 7). Dospělci se hned po vylihnutí z kukly na vodní hladině shlukují v mnohamiliardových počtech do hustých hejn za jediným účelem – spáření. Nepoučený cestovatel by mohl při pohledu na hladinu jezera hledat úkryt v očekávání přicházejícího lijáku, ale zdejší obyvatelé místo toho skáčou do lodiček a vyzbrojeni sítěmi vyplouvají do mraků, které nepřinášejí déšť, ale oblíbený zdroj potravy. Po lovu následuje na břehu rozžmoulání statisíců nachytaných imag a jejich zpracování do formy placiček, které pak i návštěvníci mohou ochutnat jako delikatesní kunga cake. O tomto „koláči“ prý věhlasný cestovatel David Livingstone tvrdil, že jeho chuť je „nikoli nepodobná kaviáru“.

Použitou literaturu a odkaz na v článku uvedené videozáznamy lovcí larvy koretry najdete na webové stránce Živy.