

# Zvláštnosti výživy masožravých rostlin

## 2. Vodní druhy

Lubomír Adamec

Autor věnuje honorář Nadaci Živa

Jak již bylo sděleno v úvodním díle (Živa 2006, 2: 57–59), z celkového počtu asi 650 druhů masožravých rostlin (MR) tvoří vodní nebo obojživelné rostliny asi 50 druhů z pouhých dvou rodů: bublinatka (*Utricularia*) z čel. bublinatkovitých (*Lentibulariaceae*) a aldrovandka (*Aldrovanda*) z čel. rosnatkovitých (*Droseraceae*). Na území ČR se přirozeně vyskytuje 8 druhů — 7 druhů bublinatek a aldrovandka měchýřkatá (*Aldrovanda vesiculosa*). Z těchto 8 druhů je však 6 (!) podle zákona nebo charakteru výskytu kriticky ohrožených. Na druhé straně bublinatka jižní (*Utricularia australis*) představuje zřejmě vůbec nejhojnější druh ponořené rostliny v ČR.

### Ekologická charakteristika vodních masožravých rostlin

Ponořené (či obojživelné) vodní masožravé rostliny obvykle rostou v mělkých stojatých dystrofních vodách (tj. s určitou koncentrací huminových kyselin a tříslovin). V těchto vodách se zpravidla hromadí polorozložený, minerálně chudý opad z rákosin a ostríc. Pokud jsou neovlivněné člověkem, bývají většinou velmi chudé na minerální dusík (N) a fosfor (P) (často 5–20  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ), ale nezřídka i na draslík (K) ( $< 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ ); často úplně chybějí nitráty. Na druhé straně v těchto vodách bývá dosti vysoká koncentrace volného  $\text{CO}_2$  (0,1–1 mM), což je velmi důležité, protože všechny vodní MR využívají pro fotosyntézu pouze  $\text{CO}_2$ .

Vodní masožravé rostliny se velmi výrazně liší morfologicky i ekofyziologicky od suchozemských: jsou to vždy bezkořenné druhy volně plovoucí pod hladinou nebo lehce zakotvené svými masožravými prýty v řídkém sedimentu (viz obr.). Na rozdíl od suchozemských MR rostou vodní druhy s dlouhým prýtem za příznivých podmínek zpravidla velmi rychle a mají několik růstových zvláštností. Vrcholový růst našich druhů bublinatek může v létě přesáhnout

i neuvěřitelné tři nové přesleny za den a doba zdvojení biomasy dosahuje jen 12–20 dní (u suchozemských MR 40–50 dní a více). Dospělé rostliny ale i přes tento úžasně rychlý vrcholový růst udržují v sezoně přibližně stále stejnou délku hlavního prýtu, protože přibližně stejnou rychlostí trvale odumírají bazální články prýtu a nová biomasa se tvoří jen na dorůstajících a oddělujících se větvích. Aby však byl zajištěn jejich rychlý vrcholový růst, ztráta živin ze zestárých prýtů musí být vyvažována trvalým příjmem živin z vody nebo kořisti. Velmi rychlý růst vodních MR je také významnou strategií v konkurenci s vláknitými řasami, které obvykle hustě porůstají jejich starší prýty.

Vodní masožravé rostliny obou rodů mají drobné pohyblivé pasti (nasávací nebo chňapací), které obvykle měří 1–6 mm, a mohou tak lapat jen drobnou vodní kořist — většinou zooplankton nebo drobné larvy

*Vodní masožravá rostlina aldrovandka měchýřkatá (Aldrovanda vesiculosa) na nepůvodním stanovišti v mělkých slatinných jezírkách na vytěženém slatiništi Karštejn na Třeboňsku. Toto stanoviště představuje svými podmínkami pro vodní masožravé rostliny ideální stav*

vodního hmyzu, např. larvy komárů. Co se týče jejich masožravosti, splňují všechna kritéria stejně jako většina suchozemských druhů MR a mohou se tak řadit do podskupiny holokarnivorních rostlin (Živa 2006, 2: 57–59). Z ekofyziologického hlediska je však v mnoha důležitých procesech (např. fotosyntéza) téměř nemožné tuto skupinu se suchozemskými MR srovnávat, ale lze ji dobře porovnávat s ponořenými rostlinami nemasožravými (např. růžkatce, rdesty). Příčinou jsou zcela rozdílné fyzikálně-chemické faktory působící v obou odlišných prostředích (Živa 2001, 4: 156–157).

### Záhady trávení kořisti v pastech bublinatek

V pastech téměř všech zkoumaných vodních druhů bublinatek se vyskytují a množí komenzální mikroorganismy (spolustolovníci), hlavně řasy (zejména rodu krásnoočko — *Euglena*) a bakterie. Často je proto kladena otázka o jejich významu pro bublinatky. Předpokládá se, že se v různé míře účastní trávení kořisti tvorbou vlastních trávicích enzymů, což bylo prokázáno pro enzymy fosfatázy u komenzálních bakterií a řas. Jaký mají tedy bublinatky z komenzálů prospěch?

U mokřadního druhu bublinatky *U. uliginosa* z Austrálie byl zjištěn mírný pokles růstu po přidání kultury krásnooček jako kořisti, takže skutečný vztah může být zřejmě i mírně parazitický. Přesto se u některých vodních druhů bublinatek s nízkou účinností chytání kořisti (např. *U. purpurea*) předpokládá, že komenzální společenstva v pastech mají pro rostliny větší pozitivní význam než vlastní chytání kořisti.

V tekutině pastí několika vodních druhů bublinatek byla při hodnotě pH 4,7 — tedy blízké pH naměřenému v pastech — prokázána překvapivě nízká nebo až nulová aktivita enzymů štěpících bílkoviny (proteáz), ale zato stále vysoká aktivita fosfatáz (Sirová

*Ostřicový mokřad v Přírodní rezervaci Zelenka u Lakšarské Nové Vsi na Záhorie na západním Slovensku hostí dva druhy vodních masožravých rostlin — bublinatku obecnou (Utricularia vulgaris), která na snímku kvete, a bublinatku jižní (U. australis)*



a kol. 2003). Tvorba proteáz nebyla v pastech indukována ani po ulovení kořisti nebo naplnění pastí roztokem amonných či fosfatových iontů. Bílkoviny z těla kořisti představují hlavní zásobu organického dusíku pro příjem v pastech, a zůstává proto záhadou, jak se mohou rozkládat na nízkomolekulární štěpy, které je past schopna přijmout. Mohl by se uplatňovat rozklad tkání kořisti vlastními proteázami (autolýza). Vysoká aktivita fosfatů v pastech vodních bublinek naznačuje, že příjem fosforu z kořisti může být pro rostlinu ještě důležitější než příjem dusíku. Protože do pastí se často dostává s nasátím okolní vody při náhodném spuštění pastí různý detrit, mohly by fosfaty zajišťovat uvolnění fosfátu z detritu pro jeho následný příjem. Další záhadou pastí je způsob, jímž usmrcují svou kořist. Protože některá kořist (zooplankton) přežívá v pastech vodních bublinek na světle i mnoho hodin, je pravděpodobné, že se kořist v miniaturním objemu vody sama udusí během noci.

### Výživa vodních masožravých rostlin

U vodních MR má chytání kořisti dost zásadní význam pro růst, snad ještě větší, než u suchozemských druhů. Někdy to souvisí s omezením růstu vlivem nedostatku  $\text{CO}_2$  při vyšším pH vody, s nímž se mohou

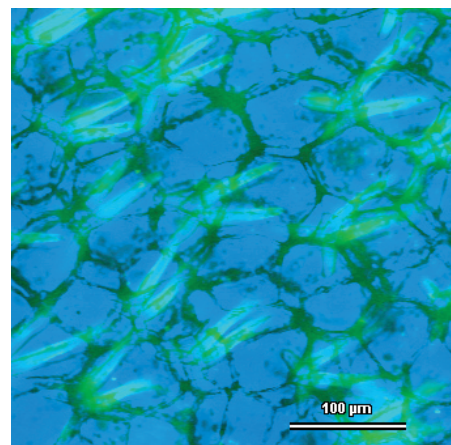
rostliny v přírodě setkat. U bublinek obecné (*U. vulgaris*) byl v živném roztoku prokázán růstový účinek chytání kořisti jen při vyšším pH (tj. při nízké koncentraci  $\text{CO}_2$ ) a aldrovandka měchýřkatá mohla ještě růst i při velmi vysokém pH nad 9, když chytala hodně kořisti. Oba výsledky potvrzují, že u vodních MR, pokud jsou limitovány nízkou koncentrací  $\text{CO}_2$  ve vodě, dochází k ekologicky velmi významnému příjmu organických látek z kořisti, čímž se částečně nahrazuje nedostatečný příjem  $\text{CO}_2$ .

V růstových pokusech s aldrovandkou vedlo krmení kořistí ke zvýšení biomasy 2–2,7×. Krmení sice zrychlilo asi o polovinu vrcholový růst prýtů, především ale mělo zcela zásadní vliv na tvorbu větví, jimiž se rostlina výhradně rozmnožuje. Chytání kořisti u vodních MR je tedy jedním z rozhodujících faktorů pro jejich rychlý sezonní růst a zejména rozmnožování

*Vlevo nahoře: Vodní bublinatka jižní (Utricularia australis) je rozšířena téměř kosmopolitně a v ČR je jednou z nejbojnějších ponořených rostlin. Past v levé části snímku částečně zachytila velkou larvu pakomára. Rostlina v létě vytváří i přes tři listové přesleny denně ♦ Aldrovandka měchýřkatá (Aldrovanda vesiculosa) ze slatiniště Karštejn na Třeboňsku. Rostliny zde vytvářejí pasti dlouhé až 6 mm, vlevo dole. Foto A. Schmidt*

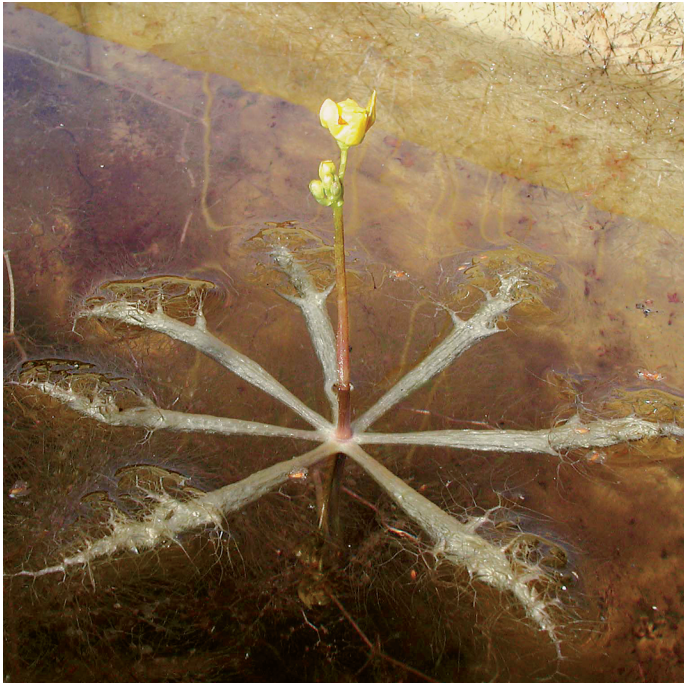
v poměrně krátké růstové sezoně. Bez kořisti rostou obvykle dosti špatně. Dalším rozhodujícím faktorem pro velmi rychlý růst vodních MR je vysoká koncentrace  $\text{CO}_2$  jako předpoklad vysoké rychlosti fotosyntézy. Na rozdíl od suchozemských masožravých rostlin, u nichž je rychlost fotosyntézy asi 2–5× nižší na jednotku listové plochy nebo biomasy než u nemasožravých rostlin, u několika sledovaných druhů vodních MR byla za optimálních podmínek zjištěna vysoká rychlost fotosyntézy listů (prýtů), která stojí na samé horní hranici rychlosti fotosyntézy u ponořených nemasožravých rostlin.

Vodní MR rostou ve vodách s nízkou koncentrací minerálního dusíku, v nichž obvykle silně převažuje koncentrace amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ) nad koncentrací iontů nitratových ( $\text{NO}_3^-$ ). U aldrovandky a několika druhů vodních bublinek bylo zjištěno, že jako typické rostliny dystrofních vod přijí-



*Nahoře: Zimní nedormantní vrcholy (pseudoturiony) krvavě červené populace aldrovandky měchýřkaté (A. vesiculosa) z jihozápadní Austrálie. Tento druh reaguje výrazně pozitivně na krmení kořistí ♦ Enzymaticky značená fluorescence (ELF) přítomnosti enzymů fosfatáz na povrchu čtyřramenných žlázek v pastech vodní bublinek jižní (U. australis). Tyto žlásky se účastní trávení kořisti a příjmu živin. Přítomnost enzymu zejména v delších ramenech žlázek je označena světle zeleným zbarvením, dole. Foto J. Vrba*

mají z vody přednostně  $\text{NH}_4^+$  před  $\text{NO}_3^-$ . Zatím bez hlubšího vysvětlení je neobvyklé zjištění, že aldrovandka přijímá  $\text{K}^+$  pouze starší polovinou prýtů. Z metodických důvodů jsou dosud údaje o účinnosti příjmu minerálních živin z kořisti u vodních MR velmi omezené. Elegantní metodikou byl kvantifikován příjem izotopu dusíku  $^{15}\text{N}$  a radioaktivního  $^{32}\text{P}$  z mladých komářích larev jako modelové kořisti u bublinek obecné (Friday a Quarmby 1994). Přibližně



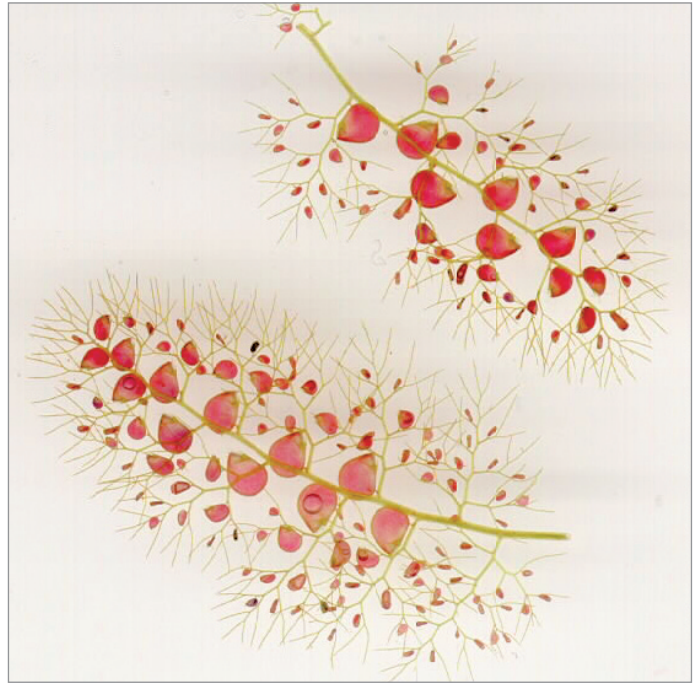
Severoamerická vodní bublinatka *Utricularia inflata* vytváří květní plovák, který stabilizuje květenství nad vodou. Snímek z venkovní kultury Botanického ústavu AV ČR v Třeboni

30 % celkového  $^{15}\text{N}$  z kořisti přešlo do nezralých částí dospělé rostliny již za dva dny a zůstalo tam dalších 18 dní. Asi 83 % celkového  $^{15}\text{N}$  z kořisti bylo stále přítomno v rostlině po 14 dnech od krmení a asi 75 % po 20 dnech. Účinnost příjmu dusíku z kořisti u vodních MR může být tedy podstatně vyšší než u suchozemských druhů.  $^{32}\text{P}$  byl také přijímán z larev a přemísťován po rostlině velmi rychle, ale nebyl uchován v zestárlých částech prýtlů a byl znovu využit (reutilizován) k růstu vrcholů a květů.

Trvale velmi rychlý rozklad bazálních částí prýtlů vodních MR vyvolává otázku o účinnosti znovuvyužití minerálních živin, ale u této skupiny MR přetrvává velký nedostatek údajů. U aldrovandky rostoucí v kultuře je účinnost reutilizace N přibližně 88 % a P 67 %, kdežto pro K, Ca a Mg je nulová. U bublinatky jižní (*U. australis*) na Třeboňsku byla průměrná reutilizace N jen 48 %, P asi 72 %, ale nulová pro K, Ca a Mg. Pomalu rostoucí americká bublinatka *U. purpurea* nemá tak účinnou reutilizaci N jako rychle rostoucí druhy vodních MR. Účinnost reutilizace N a P byla značně vyšší u rostlin ze stanovišť chudých na minerální N a P. Při podzimní tvorbě zimních pupenů (turionů) byla aldrovandka schopna využít z letního prýtlů do turionů teoreticky až 100 % letního obsahu N a P, ale jen asi 44 % Mg, 20 % K a 19 % Ca. Kromě toho však ztrácí i nezanedbatelné množství organických látek: v zestárlých prýtech ztrácela asi 14 % jejich hmotnosti jako škrob a rozpustné cukry.

Velmi rychlý vrcholový růst u vodních MR je velkou růstovou výhodou, ale ve spojení se stejně rychlým odumíráním bazálních částí prýtlů znamená pro rostliny i přes účinnou reutilizaci N a P velkou ztrátu některých minerálních živin (zejména K, Ca, Mg) i metabolicky využitelných organických látek.

Z metodických důvodů není u vodních MR možné stanovit podíl živin získaných z kořisti na sezonním příjmu živin přímo,



Detail listů s pastmi kriticky ohroženého druhu vodní bublinatky obecné (*Utricularia vulgaris*) z ČR pěstované ve venkovní sbírce v Botanickém ústavu AV ČR v Třeboni. Tento druh velmi efektivně chytá kořist do pastí velikých až 4 mm. Snímky L. Adamce, pokud není uvedeno jinak

tuto důležitou hodnotu však lze vypočítat ze změřených hodnot růstové rychlosti, organových obsahů živin v dospělých a zestárlých prýtech (tj. účinnost reutilizace), množství chycené kořisti, obsahu živin v ní a odhadu účinnosti příjmu živin z kořisti. Údajů je však dosud velmi málo. U vodní bublinatky obecné v USA byl stanoven podíl sezonního příjmu dusíku z masožravosti asi 75 %. U robustní subtropické vodní bublinatky *U. foliosa* rostoucí na živinami velmi chudém stanovišti na jižní Floridě byl spočítán průměrný podíl jen asi 0,9 % N a 3,5 % P (Bern 1997). Tak překvapivě nízký podíl příjmu dusíku a fosforu u této bublinatky s 10 000 pastmi na každé rostlině byl způsoben mimořádně nízkou nabídkou kořisti. Na stanovištích s větší nabídkou kořisti by rostlina mohla chytit i mnohem více kořisti a tyto nízké hodnoty by mohly být o řád vyšší.

Na základě mnoha údajů získaných z kultivace i přírodních stanovišť na Třeboňsku bylo možno spočítat, kolik % denního příjmu N a P mohly modelově získat rychle rostoucí aldrovandka měchyřkatá a bublinatka jižní ulovením jedné buchanky nebo malé perlóocky s čerstvou hmotností 250  $\mu\text{g}$  a sušinou 25  $\mu\text{g}$  denně (Adamce, nepublikováno). Při době zdvojení biomasy 15 dní uhradí ulovení pouze jedné buchanky denně u drobnější aldrovandky (sušina jen 30 mg) asi 15 % denního příjmu N a 4 % P, kdežto u větší bublinatky (sušina 170 mg) jen asi 0,62 % příjmu N a 0,56 % P. Pokud by však rostliny měly teoreticky nulový růst a jen udržovaly stálou délku hlavního prýtlů, což se stává při nepříznivých růstových podmínkách, pak by ulovením jedné buchanky denně uhradila aldrovandka až 100 % denního příjmu N a asi 16 % P a bublinatka asi 1,8 % N a 2,6 % P.

Zjištěné hodnoty ukazují stejně jako u suchozemských MR, že ekologický význam příjmu dusíku a fosforu z kořisti závisí v první řadě na relativní úspěšnosti chytání kořisti. Bublinatka jižní s rychlostí tvorby nových pastí řádově 50–200 denně může chytit desítky živočichů za den a aldrovandka s omezeným počtem velkých pastí může zase chytat i mnohem větší kořist. Proto u vodních MR může být při dostatku ulove-

ných živočichů podíl N a P přijatého z kořisti rozhodující.

### Regulace tvorby pastí

Vodní bublinatky jsou schopny účelně regulovat velikost a počet svých pastí (tj. investici do masožravosti), protože tvorba a udržování pastí jsou pro rostliny energeticky velmi nákladné. Mezi ekologické faktory, které regulují podíl pastí na celkové biomase rostliny, patří ozářenost, nabídka zooplanktonu jako kořisti a hladina minerálních živin (zejména dusíku). U vodní bublinatky *U. foliosa* v Amazonii výrazně stoupala investice do masožravosti při zvýšení nabídky kořisti ve vodě (pozitivní zpětná vazba). U tohoto druhu na Floridě se také zjistilo, že při růstu v podmínkách velmi nízké ozářenosti rostliny vůbec nevytvářejí pastí a rostou velmi pomalu jako nemasožravé. Tvorba pastí tedy vyžaduje, aby rostliny měly dostatek organických látek. U vodní bublinatky *U. macrorhiza* rostoucí v USA počet pastí na list velmi závisel na celkové koncentraci iontů ve vodě. Mírné minerální obohacení vody zdvojnásobilo počet pastí, ale krmení zooplanktonem slabě snížilo počet pastí (negativní zpětná vazba). Podobně u velmi příbuzné evropské bublinatky obecné krmení kořisti snížilo zřetelně podíl pastí. Je tedy možné, že u různých druhů vodních bublinek je tvorba pastí regulována různě.

I přes zjevné ekologické odlišnosti mnoha vodních druhů bublinek je poměrně snadné je pěstovat sezonně ve venkovních plastových nádržích nebo v malých zahradních jezírkách (zejména bublinatku jižní a bublinatku obecnou). Turiony se přes zimu snadno uchovávají ve vodě v lednici a jako nejlepší substrát je možno použít opad z ostríc nebo orobinců. Krmení planktonem samozřejmě podporuje růst.