

Nevstoupíš dvakrát do téhož rybníka – předběžná zpráva o stavu dnešních hypertrofních rybníčních ekosystémů

Jaroslav Vrba, Zdeňka Benedová, Jitka Jezberová, Anna Matoušů, Martin Musil, Jiří Nedoma,
Libor Pechar, Jan Potužák, Klára Řeháková, Karel Šimek, Michal Šorf, Jana Zemanová

*Tento článek vyšel v časopise Vodní hospodářství, ročník 68,
číslo 8/2018.*

*Jakékoliv dotazy týkající se nakládání s tímto článkem
z hlediska autorských a vlastnických práv směrujte prosím
na stransky@vodnihospodarstvi.cz*



www.vodnihospodarstvi.cz

Nevstoupíš dvakrát do téhož rybníka – předběžná zpráva o stavu dnešních hypertrofních rybníčních ekosystémů

Jaroslav Vrba, Zdeňka Benedová, Jitka Jezberová, Anna Matoušů, Martin Musil, Jiří Nedoma, Libor Pechar, Jan Potužák, Klára Řeháková, Karel Šimek, Michal Šorf, Jana Zemanová

Abstrakt

Po staletí byly jihočeské rybníky využívány k produkci ryb, ovšem díky nadměrné živinové zátěži a vysokým obsádkám ryb prošly rybníční ekosystémy v minulém století nápadnou proměnou. Jejich současný hypertrofní stav potvrzují předběžné výsledky z 10 sledovaných rybníků. Struktura a dynamika planktonu v rybníce je určována zejména velikostní/věkovou strukturou konkrétní rybí obsádky (především kapra). Planktivorní ryby – jak kapří plůdek, tak tzv. plevelné ryby – nápadně redukovaly početnost, velikost a druhové složení planktonních korýšů, zejména velkých perlooček rodu *Daphnia*, zatímco větší kapři tak silný predanční tlak (tzv. top-down efekt) nevytvářeli. Všechny ostatní skupiny planktonu, tedy fytoplankton, bakterie, prvoci i vířníci, dosahovaly vysokých počtů a diverzity a indikují velký dopad a intenzitu různých mikrobiálních procesů a interakcí na kvalitu vody v současných hypertrofních ekosystémech.

Klíčová slova

hypertrofní rybníky – živiny – plankton – diverzita – potravní sítě – mikrobiální aktivita

Historický úvod

České rybníkářství má staletou tradici a vždy bylo považováno za optimální způsob obhospodařování zamokřené krajiny – Třeboňsko bylo dokonce právě kvůli tomu vyhlášeno biosférickou rezervací UNESCO. Český hydrobiologický výzkum rybníků má dlouhou tradici od poloviny 19. století [1, 2] a v 60.–80. letech minulého století zásadním způsobem ovlivnil rozvoj světové limnologie (např. [3–5]). V posledních desetiletích však náš základní výzkum rybníky téměř ignoroval. Ekologický monitoring probíhající od 90. let na Třeboňsku a Blatensku nicméně dokládá silnou eutrofizaci většiny rybníků, řádový nárůst živin oproti polovině minulého století, častou absencí velkého zooplanktonu a enormní výskyt vodních květů sinic [6, 7] (obr. 1).



Obr. 1. Náhlý odpolední kolaps koloniálních sinic na rybníce Dehtář za klidného slunečního dne (srpen 2017) – zřejmě důsledek přesvětlení a přehřátí sinic v husté vrstvě nakumulované u hráze. Foto Petr Znachor

Tato výrazná proměna rybníčních ekosystémů zůstala badateli téměř nepovšimnuta, ale nyní je zřejmé, že dnešní rybníky jsou úplně jiné ekosystémy, než jaké znali Josef Šusta (původně oligo–mezotrofní či dystrofní rybníky limitované živinami [1]) či Jaroslav Hrbáček (ekosystémy řízené hlavně rybí obsádkou [4, 8]). Před 150 lety, kdy J. Šusta prováděl své výzkumy na 20 velkých třeboňských rybnících, se jejich produkce pohybovala mezi 11 kg·ha⁻¹ (dystrofní Spolský ryb.) až 94 kg·ha⁻¹ (Bošilecký ryb.) ryb ročně [1]. Jím zavedená opatření (vápnění, organické hnojení, přikrmování atd.) podpořila jen mírně přirozenou produkci ryb. K zásadní proměně rybníčních ekosystémů vedla až další intenzifikace rybářské produkce během minulého století, především synergický efekt nárůstu živinové zátěže a nárůstu rybníčních obsádek v poválečném období, který nedávno pro Vodní hospodářství podrobně zrekapituloval Pechar [7].

S vědomím tušených důsledků těchto změn jsme se zaměřili na komplexní výzkum rybníků, především poznání diverzity a struktury planktonních potravních sítí, přenosu energie a koloběhu živin v těchto mělkých hypertrofních ekosystémech s různou rybníčnou obsádkou. Již předběžné výsledky přinesly mnohé očekávané, ale i překvapivé poznatky ohledně početnosti mikrobů a intenzity mikrobiálních procesů, které jsou obsahem tohoto příspěvku.

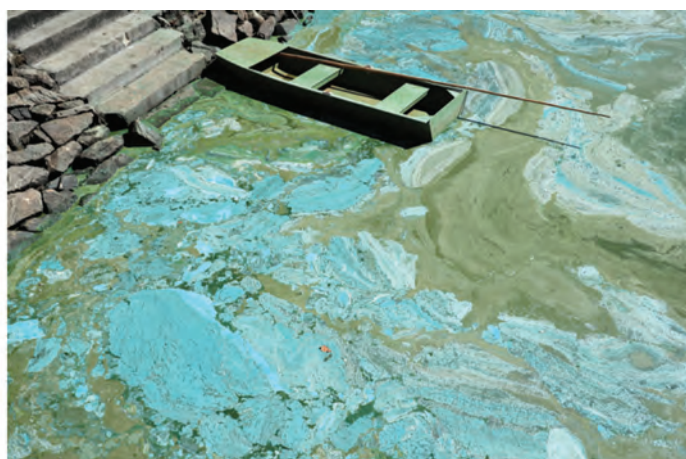
Sledované rybníky a parametry

Celkem jsme sledovali 10 rybníků na Českokubějovicku (7) a Třeboňsku (3) v podobné nadmořské výšce (407–428 m n. m.), které reprezentovaly různé typy od plůdkových výtažníků (několik ha) až po hlavní rybníky (desítky až stovky ha). Základní charakteristiky s kódy rybníků a typem obsádky, resp. dominantní ryby jsou uvedeny v tabulce 1.

Sledované rybníky byly vzorkovány třikrát za sezonu (v dubnu, červnu a srpnu 2017), jen Beranov a Roubíček dvakrát (v dubnu ještě nebyly napuštěny), naopak Dehtář a Rod častěji (1× měsíčně). Fyzikálně-chemické parametry (vertikální profily teploty, pH, vodivosti, rozpuštěného kyslíku a světla sondami, průhlednost vody Secchiho

Tabulka 1. Geografické charakteristiky rybníků a typ obsádky (hlavní násada: K0–K2 – plůdek kapra, K2–KV a K3–KV – tržní kapr, Š0–Š1 – plůdek štiky, Ca-gen – generační candát; složení obsádky pro sportovní rybolov není známo, rybník se neloví). z_{max} – maximální hloubka

Rybník	Kód	GPS souřadnice	Plocha (ha)	z _{max} (m)	Typ obsádky
Beranov	BR	48.980N, 14.321E	13,3	2,5	K0–K2
Dehtář	DH	49.006N, 14.294E	228	5,0	K2–KV
Kvítkovický	KV	48.963N, 14.337E	24	3,0	K3–KV
Podvrázký	PV	48.976N, 14.330E	6,1	2,1	Sportovní
Posměch	PM	48.996N, 14.295E	36,6	3,2	K2–KV
Roubíček	RK	48.981N, 14.261E	4,4	1,4	K0–K2
Zběhov	ZB	48.992N, 14.305E	2,0	1,1	Š0–Š1 + plotice
Klec	KL	49.090N, 14.767E	64	2,0	K3–KV
Potěšil	PT	49.079N, 14.766E	64	2,6	K3–KV
Rod	RD	49.121N, 14.745E	22	1,3	K2–K3 + Ca-gen



deskou) byly měřeny *in situ* v dopoledních hodinách (cca 8–10 h). Směsný vzorek vodního sloupce (0–1 m) byl odebírán z lodi van Dornovým sběračem (1 m, 6,4 l). Ze směsného vzorku (cca 45 l) byly odebrány podvzorky přefiltrované přes 200- μ m sítko na mikrobiální a chemické analýzy vody a sestonu a neprodleně dopraveny do laboratoře. Další nefiltrované podvzorky byly odebrány na analýzy fytoplanktonu, nálevníků a ostatních mikrobů a příslušně nafiloxovány. Z dalších 30 l směsného vzorku byli v 200- μ m planktonní síti zakoncentrováni a nafiloxováni planktonní koryšiči a z výsledného filtrátu byl zakoncentrován a nafiloxován drobný zooplankton (frakce 20–200 μ m, resp. vířníci).

Všechny chemické analýzy vody a sestonu byly provedeny standardními metodami v akreditované laboratoři ENKI. Pro základní porovnání rybníků byly použity koncentrace celkového dusíku (TN), celkového fosforu (TP), rozpuštěného organického uhlíku (DOC) a chlorofylu *a* (Chl*a*). Koncentrace metanu byly stanoveny na plynovém chromatografu a obrát metanu metodou přidavku radioaktivně značeného CH₄ [9]. Ostatní analýzy planktonu, včetně determinace či speciálních mikrobiologických a molekulárních metod, probíhaly v příslušně vybavených laboratořích Hydrobiologického ústavu BC AV ČR nebo Přírodovědecké fakulty JU (podrobnosti k jednotlivým metodám viz [10]).

Obsah živin

V tomto příspěvku prezentujeme výsledky především s důrazem na obsah živin a složení planktonu. Chemismus vody českobudějovických a třeboňských rybníků se lišil, významné rozdíly jsme zjistili u vodivosti (**tab. 2**); třeboňské vs. českobudějovické, průměr \pm SD: 197 \pm 17 vs. 308 \pm 28 μ S.cm⁻¹) a celkové alkality (KNK_{4,5}: 0,96 \pm 0,38 vs. 2,07 \pm 0,20 meq.l⁻¹). Tyto výsledky ukazují na rozdíly v chemismu hlavních iontů, ale z hlediska míry eutrofizace se třeboňské a českobudějovické rybníky nijak neliší. Všechny rybníky měly podobné koncentrace živin (TN = 3,0 \pm 1,5 mg.l⁻¹; TP = 0,25 \pm 0,14 mg.l⁻¹; TOC = 24,2 \pm 7,6 mg.l⁻¹; DOC = 16,0 \pm 3,9 mg.l⁻¹), přičemž maximální koncentrace celkových živin (**tab. 2**) byly v letním období, resp. korespondovaly s vyšší biomasou fytoplanktonu. Přesto jsme v 64 % případů zjistili potenciálně limitující koncentrace rozpuštěného reaktivního fosforu (DRP < 10 μ g.l⁻¹; medián 7 μ g.l⁻¹), často doprovázené zvýšeným poměrem C:P v sestonu (**tab. 3**). Sezonní koncentrace chlorofylu *a* výrazně kolísaly (2,2–500 μ g.l⁻¹; medián 83 μ g.l⁻¹), často i u téhož rybníka v závislosti na složení a početnosti zooplanktonu (srov. **tab. 2 a 3**).

Struktura a diverzita planktonu

Plankton studovaných rybníků tvořilo 13–36 taxonů fytoplanktonu a 7–24 druhů zooplanktonu, z toho 1–10 druhů perlooček, 0–4 druhy klanonozočů a 3–19 taxonů vířníků (**tab. 3**). Významnou složku rybníčního planktonu tvořily také různé skupiny mikroorganismů (**tab. 4**): nálevníci (medián 280 buněk.ml⁻¹), heterotrofní bičíkovci (5840 buněk.ml⁻¹), bakterie (15,1 mil. buněk.ml⁻¹) a pikosinice (drobné, jednobuněčné i koloniální sinice, < 2 μ m; 0,53 mil. buněk.ml⁻¹). U nálevníků bylo možno obvykle rozlišit 20–30 morfotypů, převážně omnivorních taxonů (**obr. 2**); v přítomnosti perlooček rodu *Daphnia* ovšem převažovaly zejména druhy rodu *Halteria/Pelagohalteria*, které jsou schopny rychlé únikové reakce v blízkosti zooplanktonu [11]. Strukturu a diverzitu rybníčního planktonu nepochybně ovlivňuje jak složení rybí obsádky (tzv. top-down efekt, tj. vliv konzumentů vyšší trofické úrovně [8]), tak další hospodářské zásahy (tzv.

Tabulka 2. Průměrné hodnoty (rozsahy) vybraných fyzikálně-chemických parametrů vody. Třeboňské rybníky jsou ve spodní části, u Rodu jsou odlišena období jarní čiré vody (RDj) a letní (RDI); Prūhl. – průhlednost (Secchi), TN – celkový dusík, TP – celkový fosfor, DOC – rozpuštěný organický uhlík, Chl_a – chlorofyl *a*

Kód ryb.	Prūhl. (cm)	Vodivost (μ S.cm ⁻¹)	TN (mg.l ⁻¹)	TP (mg.l ⁻¹)	DOC (mg.l ⁻¹)	Chl _a (μ g.l ⁻¹)
BR	55 (40–70)	345 (329–361)	2,0 (1,6–2,4)	0,16 (0,14–0,19)	17,3 (16,4–18,3)	43,8 (18,5–69,2)
DH	49 (30–60)	308 (288–322)	2,9 (2,1–4,4)	0,19 (0,13–0,31)	12,8 (4,9–17,3)	104 (41,6–253)
KV	35 (20–55)	311 (303–319)	2,7 (2,1–3,5)	0,28 (0,14–0,43)	14,0 (11,9–15,2)	87,3 (86,9–87,5)
PV	33 (30–40)	292 (282–309)	3,0 (2,2–4,4)	0,29 (0,13–0,44)	17,4 (13,9–21,4)	134 (50,6–202)
PM	35 (25–40)	305 (300–310)	2,5 (1,9–2,9)	0,41 (0,21–0,78)	15,3 (15,1–15,8)	135 (85,7–182)
RK	45 (20–70)	256 (254–257)	3,3 (3–3,7)	0,17 (0,16–0,18)	17,2 (13,4–21)	88,8 (68,7–109)
ZB	25 (20–30)	346 (338–353)	2,5 (2–2,8)	0,25 (0,19–0,31)	17,1 (16,5–18,3)	51,8 (33,3–76,3)
KL	47 (20–80)	197 (196–199)	3,4 (1,7–6,8)	0,23 (0,09–0,40)	15,4 (10,2–19,9)	148 (19,9–387)
PT	40 (20–60)	196 (193–198)	4,0 (1,7–7,5)	0,26 (0,1–0,52)	15,0 (10,7–19,0)	200 (53,7–489)
RDj	> 130	158	1,4 (1,1–1,7)	0,11 (0,09–0,14)	16,2 (14,7–17,7)	0,8 (0,4–1,1)
RDI	47 (20–90)	207 (193–212)	4,0 (2,0–5,9)	0,29 (0,26–0,34)	21,6 (16,2–24,7)	140 (7,0–326)

Tabulka 3. Diverzita (počet taxonů) fytoplanktonu a zooplanktonu, průměrný počet všech perlooček (ind.l⁻¹), podíl hrotnatek (*Daphnia* spp. – % celkového počtu perlooček) a molární poměr C:P v sestonu (třeboňské rybníky dole)

Kód	Fytoplankton	Zooplankton	Perloočky	Hrotnatky	C:P
BR	27–32	21–23	973	6 %	323
DH	18–31	13–16	377	34 %	332
KV	15–29	13–16	368	70 %	130
PV	21–24	12–24	40	29 %	207
PM	22–29	17–21	375	35 %	171
RK	19–21	13–19	725	16 %	594
ZB	19–27	11–18	33	1 %	131
KL	18–32	7–17	169	39 %	483
PT	23–35	9–15	16	35 %	297
RD	13–33	10–16	242	95 %	170

Tabulka 4. Průměrné početnosti (rozsahy) vybraných skupin planktonu (třeboňské rybníky dole, u Rodu opět odlišena dvě období jako v tabulce 2)

Kód ryb.	Bakterie (10 ⁶ b.ml ⁻¹)	Pikosinice (10 ⁶ b.ml ⁻¹)	Bičíkovci (10 ³ b.ml ⁻¹)	Nálevníci (b.ml ⁻¹)	Vířníci (ind.l ⁻¹)
BR	20,8 (17,7–24,0)	0,40 (0,24–0,55)	3,5 (1,6–5,5)	219 (141–298)	5092 (4656–5828)
DH	15,2 (7,5–25,1)	0,90 (0,02–3,35)	4,5 (1,5–8,1)	247 (53–597)	4842 (306–11005)
KV	14,9 (13,7–17,1)	0,30 (0–0,53)	10,1 (1–26,5)	208 (106–278)	2986 (83–4821)
PV	16,6 (12,7–20,7)	0,52 (0,21–0,83)	6,4 (3,5–10,6)	310 (144–406)	31140 (1001–63054)
PM	17,1 (11,4–20,8)	0,28 (0,02–0,75)	8,7 (2,2–20,1)	426 (103–798)	5187 (3844–6572)
RK	17,1 (15,1–19,2)	0,002 (0,002–0,002)	10,9 (4,4–17,3)	124 (97–152)	2320 (177–4464)
ZB	19,0 (12,9–23,2)	2,15 (0,75–4,19)	13,9 (7,9–25,3)	277 (80–420)	13177 (2133–33790)
KL	15,8 (8,7–26,4)	0,93 (0,14–1,59)	8,8 (3,2–16,8)	262 (86–587)	10232 (5630–15717)
PT	15,6 (7,5–27,6)	1,08 (0,21–1,75)	10,3 (5,8–17,7)	364 (308–460)	9570 (3085–17639)
RDj	3,7 (2,1–4,7)	0,011 (0–0,034)	0,5 (0,1–0,9)	23,7 (0,3–69)	81 (7,2–154)
RDI	17,0 (12,8–21,2)	2,64 (1–4,25)	11,2 (7,3–16)	454 (279–770)	1900 (29–5549)

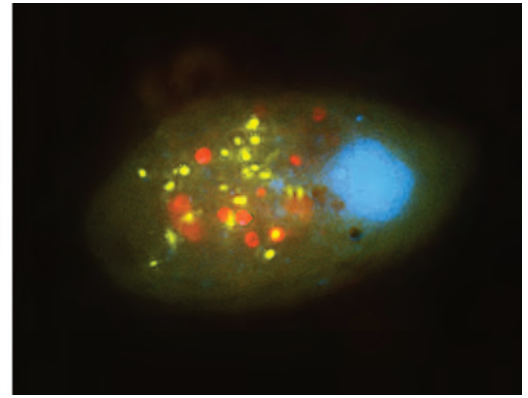
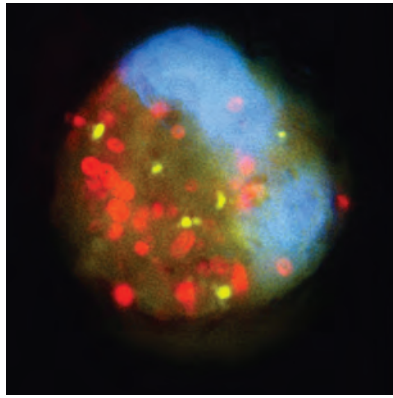
bottom-up efekt, tj. ovlivnění dostupností živin: hnojení, krmení apod.) (viz schéma na obrázku 3).

Obecný předpoklad, že biologická diverzita klesá s intenzitou hospodaření, tj. především s velikostí obsádky, rozhodně neplatí všeobecně a souvisí s velikostí konkrétních planktonních organismů, a tudíž i s jejich pozicí v potravním řetězci. Vyžírání ryby obsádky určitě významně ovlivnil (snížil) jak početnost, tak velikost i druhové složení koryšů (perlooček a klanonožců) (srov. [4, 5]), ale ve všech ostatních skupinách planktonu (fytoplankton, bakterie, prvoci i vířníci) početnost, biomasa i taxonomická diverzita rostla (tab. 3, 4). Nejméně taxonů fytoplanktonu, vířníků i nálevníků jsme nacházeli v souvislosti se zvýšeným filtračním tlakem hrotnatek (zejména *D. pulicaria*), kdy z nálevníků přežívali jen omnivorní filtrátoři rodu *Halteria/Pelagohalteria*.

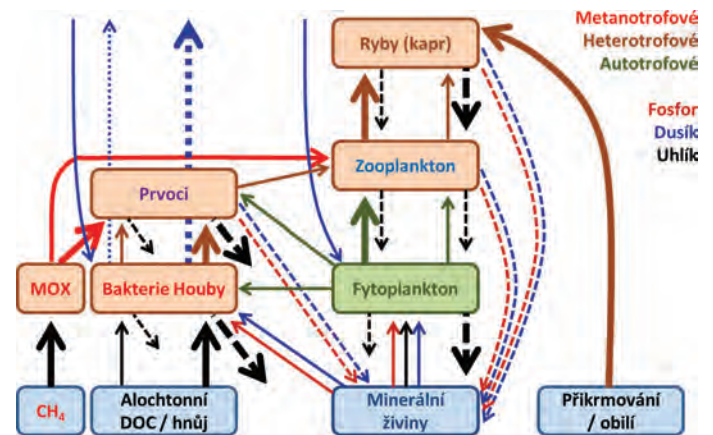
Tzv. hrubý zooplankton sledovaných rybníků prakticky tvořily hlavně hrotnatky (*Daphnia* spp. – viz rámeček). Dospělé buchanky (*Acanthocyclops trajani*, *Cyclops vicinus*) a vznášivky (*Eudiaptomus gracilis*) jsme nacházeli jen vzácně, nejpočetnější byly jejich naupliové larvy (medián 89 % počtů všech klanonožců), kopepoditová stadia byla hojněji zastoupena jen v některých rybnících, resp. vzorcích. Rostoucí vyžírání ryby obsádky vedl k úbytku, případně vymizení hrotnatek, zejména za situací, kdy jejich reprodukční potenciál byl omezen také nedostatkem fosforu (vysoký poměr C:P, tab. 3). V takové situaci (C:P > 200) totiž mají hrotnatky menší snůšky (rámeček). Přitom poměr C:P v sestonu přesahoval 180 v celé polovině případů. V takovém planktonu zcela dominovaly drobné perloočky (zejména *Bosmina longirostris*), filtrující vířníci (*Brachionus*, *Keratella*, *Polyarthra* aj.) a naupliové larvy klanonožců. Relativně nízký obsah fosforu v biomase fytoplanktonu, resp. sestonu, jenž se promítal i do vyšší trofické hladiny, byl ve sledovaných rybnících poměrně častým jevem. V těchto případech byl zjevně růst fytoplanktonu limitován dostupností fosforu, takže právě omezení přísunu této živiny (z povodí i jiných zdrojů) by mohlo neefektivněji omezit vysoké biomasy fytoplanktonu a snížit tak navazující rizika.

V biomase jarního fytoplanktonu dominovaly především rychle rostoucí druhy rozsivek (*Aulacoseira*, *Stephanodiscus* aj.) a skryténěk (*Cryptomonas*, *Rhodomonas*), v letním období hlavně chlorokokální řasy, obrněnky a vláknité sinice. Nekonzumovatelné formy (např. *Planktosphaeria*, *Ceracium*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* aj.) často tvořily velkou biomasu, která nebyla dostupná pro filtrující herbivorní zooplankton. Náhradním zdrojem zřejmě v té době byly také početné pikosinice (tab. 4), suspendované částičky porostlé bakteriemi, či jejich vločky a vláknité formy, které se ovšem vyskytovaly hojně už v jarních odběrech, kromě situací tzv. čiré vody. K rozvoji vláknitých a koloniálních sinic (tzv. vodního květu) došlo až v srpnu. Za klidného letního dne se ovšem sinice mohou hromadit u hladiny, kde pak často dojde k jejich náhlému kolapsu (obr. 1) s nepříznivými důsledky pro ekosystém rybníka (kyslíkový deficit, toxiny aj.).

Sezonní vývoj planktonu v rybnících tedy v hrubých rysech odpovídal modelu, který popisuje Plankton Ecology Group [12], zejména jeho revidované verzi pro eutrofní jezera s vysokou předací ryby [13]. Velikostní struktura i druhové složení zooplanktonu odpovídaly typu a velikosti rybníkové obsádky a v zásadě se potvrdily známé vztahy [4, 5, 14]. Zatímco kapří plůdek (K0) byl účinným konzumentem



Obr. 2. Snímky nálevníků *Rimostrombidium* sp. (vlevo) a *Cyclidium* sp. (vpravo) s pohlčenými bakteriemi a fytoplanktonem z rybníka Zběhov. Mikrofotografie kombinují zobrazení z epifluorescenčního mikroskopu při různých vlnových délkách: modře jádra nálevníků obarvená fluorochromem DAPI, žluté pohlčené bakterie obarvené fluorochromem DTAF a červeně autofluorescence chlorofylu *a*, tj. pohlčené pikosinice a drobné řasy (<4 μm). Foto J. Nedoma a K. Šimek



Obr. 3. Schematické znázornění planktonních potravních sítí, jednotlivých zdrojů (dole), trofických hladin a koloběhu živin (odlišeny barevně). Klasický potravní řetězec je naznačen uprostřed, mikrobiální sítě jsou v levé části (MOX – metanotrofové). Plně šipky představují toky energie (uhlíku) a hlavních živin (fosforu a dusíku, včetně fixace N₂ bakteriemi i sinicemi), čárkované je respirace a regenerace živin, tečkované denitrifikace. Alternativní síly šipek naznačují různý kvantitativní význam přenosu energie a respirace pro rybníční ekosystém, resp. produkci ryb – vlevo toky v méně úživných rybnících, vpravo v hypertrofních rybnících

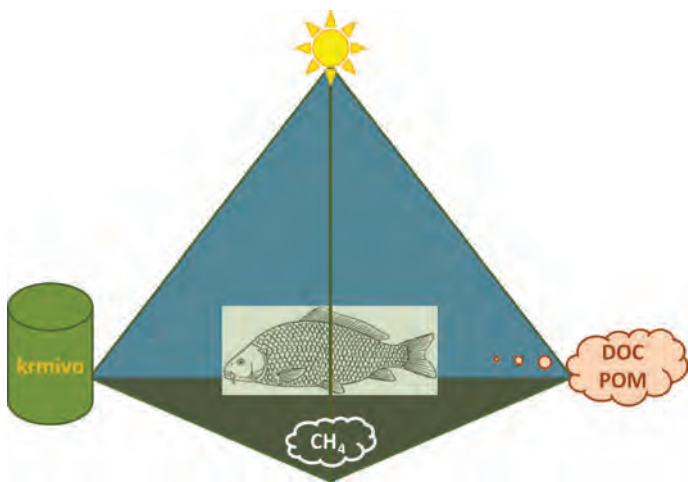
Koryši hrotnatky (*Daphnia* spp.) jsou velké (až několik mm) perloočky, jež jsou ideální přirozenou potravou ryb a zároveň představují klíčové herbivorní filtrátory stojatých vod (tzv. keystone species), protože svou efektivní filtrací dokáží udržovat čistou vodu s dobrou průhledností (tzv. clear water). Tvoří podstatnou složku tzv. hrubého zooplanktonu – tedy zásadního transformačního článku pro produkci ryb, neboť koncentrují a zpřístupňují energii a živiny nejen z primární produkce fytoplanktonu, ale i z bakterií a mikrobů rybám. V optimálních podmínkách se rozmnožují partenogeneticky (bez samců, z neoplozených vajíček), ovšem samice regulují velikost snůšky (počet embryí – viz foto) podle množství a kvality dostupné potravy (maximální snůšky často dosahují i >20 embryí). Nedostatek fytoplanktonu, ale především jeho limitace fosforem (vysoký poměr C:P v sestonu, tab. 3) proto výrazně zpomaluje růst jejich populací. Hrotnatky tak vlastně koncentrují fosfor pro ryby (tedy obratlovce s kostrou), jež naopak efektivně (a často také selektivně) loví velké perloočky, takže při nedostatku fosforu z planktonu snadno hrotnatky eliminují úplně (tab. 3).



planktonních koryšů (viz malý podíl hrotnatek v BR a RK), násada tržního kapra (K2–KV; tab. 1) většíinou umožňovala lepší rozvoj velkých perlooček, zejména v případě nízké násady v Rodu (přírodní rezervace) (tab. 3). Nepříznivý vliv planktonožravých, tzv. plevelných ryb byl nesporný např. v rybníku pro sportovní rybolov (PV) nebo po nechtěném výtěru plotice (ZB). Podobný efekt měla zřejmě střevlička východní, hojně rozšířená v třeboňských rybnících – její letní výtěr způsobil také dočasné zhoršení stavu v Rodu, kde ale situaci patrně dokázaly zvrátit dravé ryby (candát).

Mikrobiální procesy

Celkové počty bakterií, pikosinic i prvoků v rybnících byly řádově



Obr. 4. „Rybníční čtyřstěn“ znázorňuje čtyři možné alternativní zdroje energie pro produkci ryb v hypertrofních rybnících – na přirozené produkci má zásadní podíl primární produkce (shora) a mikrobiální transformace organických látek (zprava), ale nejspíš k ní přispívá i produkce metanu v sedimentu (zdola). Chybí-li ovšem v planktonu transformační článek (velké perloočky), hlavním a jediným zdrojem produkce ryb zůstává krmení

vyšší (tab. 4) než hodnoty obvyklé v eutrofních povrchových vodách [10], což ukazuje důležitou roli tzv. mikrobiální smyčky v ekosystémech hypertrofních rybníků. Její mimořádný význam ilustrují jak vysoké mikrobiální aktivity (viz dále), tak překvapivě nízký poměr biomasy (vyjádřený v $\mu\text{g C.l}^{-1}$) fytoplanktonu a bakterií v rozmezí 0,6–92 (medián 14,4), přičemž hodnot <1 dosahoval v jarním období čiré vody (srov. RDJ v tabulkách 2 a 4). To znamená, že biomasa heterotrofních bakterií byla v té době větší než biomasa primárních producentů (pikosinice do poměru nebyly zahrnuty).

Celková bakteriální produkce dosahovala v průměru 21 (2–66) milionů buněk. ml^{-1} denně. Významnými konzumenty bakterií (zřejmě i pikosiníc) byli heterotrofní bičíkovci a nálevníci (převážně omnivorní druhy, obr. 2), ale asi také vířníci a některé perloočky. Samotní prvoci zkonsumovali v průměru 60 % produkce volných bakterií ($<1 \mu\text{m}$) za den. Příjem bakterií některými nálevníky převyšoval publikované rychlosti z povrchových vod (např. [9]) až řádově – medián příjmu běžně dosahoval stovek bakterií. hod^{-1} na 1 nálevníka, ale např. 1090 (maximum 5870) bakterií. hod^{-1} pro rod *Halteria/Pelagohalteria*, resp. až 10,5 (max. 18,9) tisíc bakterií. hod^{-1} pro *Vorticella* spp. Podobné hodnoty jsou charakteristické spíše pro aktivovaný kal v čistírnách odpadních vod.

V sedimentu hypertrofních rybníků zřejmě také může vznikat značné množství metanu, zejména při vyšších letních teplotách. Koncentrace metanu ve vodě (0,07–5,9 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) kolísaly jednak v zá-

vislosti na typu obsádky, respektive na intenzitě disturbance (oxidace) sedimentu rybami, jednak na aktivitě metanotrofních bakterií, které tvořily až 6 % celkových počtů bakterií v planktonu některých rybníků. Rychlost oxidace metanu dosahovala až 2,8 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ a medián doby obratu CH_4 byl 1,7 dne. Metan možná představuje nezanedbatelný alternativní zdroj uhlíku pro plankton hypertrofních a organickými látkami zatížených rybníků (obr. 3, 4).

Souhrn

Naše předběžné výsledky jasně potvrzují vysokou zásobu jak minerálních živin, tak organických látek v rybnících, což podporuje enormní rozvoj a aktivitu mikrobů i fytoplanktonu v současných rybníčních ekosystémech (obr. 3). Tento stav představuje potenciální riziko krátkých epizod kyslíkových deficitů v případech, kdy mikrobiální biomasa (a to včetně fytoplanktonu!) není filtrujícím zooplanktonem účinně regulována. Navíc v posledním desetiletí jsou typická delší letní období s tropickými teplotami vzduchu (nad 30 °C), jež dále zhoršují kyslíkové poměry ve vodě a výrazně zvyšují odpar. Snížení maximálních dosahovaných biomas fytoplanktonu by se dalo neefektivněji dosáhnout omezením přísunu fosforu, který růst fytoplanktonu zpravidla limituje. V kombinaci s účinnou eliminací plevných ryb (obr. 5) a udržením oxických podmínek, jež brání mobilizaci fosforu ze sedimentů, by se toto opatření mohlo příznivě promítnout do nárůstu velkého filtrujícího zooplanktonu, právě díky lepší reprodukci hrotnatek.

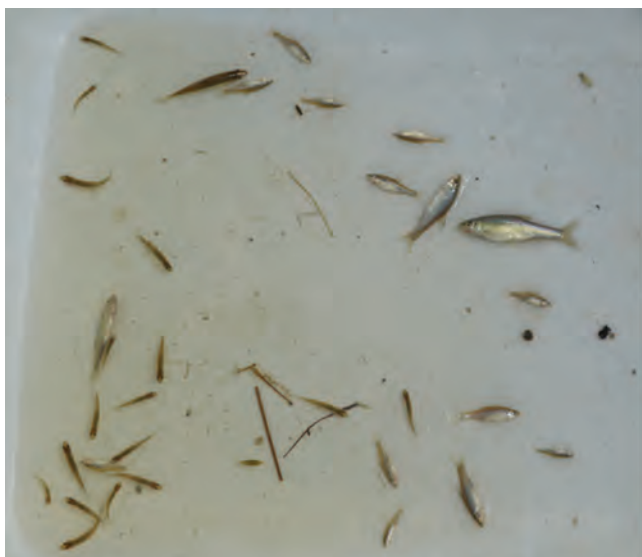
Současné běžné obsádky tržních kaprů zjevně nemohou vysvětlit dramatickou redukcí až vymizení korýšů v některých studovaných rybnících, ale jejich potravní aktivita nejspíš výrazně snižuje produkci metanu v sedimentech rybníků, a také prakticky eliminuje výskyt makrofyt v hlavních rybnících, jak ukazují výsledky Francové a kol. [15]. Naproti tomu v plůdkových rybnících, nebo v případech velkých abundancí drobných planktonofágních ryb (plotice, střevlička východní aj.) v hlavních rybnících, se vliv početné rybí obsádky projevil odpovídajícím způsobem: zaznamenali jsme nižší diverzitu i abundance korýšů spolu s nárůstem abundance i druhové diverzity ostatních sledovaných skupin, a to včetně fytoplanktonu a vířníků.

Každopádně jsme teprve na počátku porozumění současným rybníčním ekosystémům – náš projekt zatím přinesl víc otázek než odpovědí a hodně práce na náš tým ještě čeká.

Poděkování: Tento výzkum podpořila GAČR (projekt 17-09310S: *Rybníky jako modely pro studium diverzity a dynamiky planktonu hypertrofních mělkých jezer; 2017–2019*).

Literatura/References

- [1] Šusta, J. 1997. Výživa kapra a jeho družiny rybníčné (1. vydání 1884). Carpio, Třeboň, 180 s.
- [2] Frič, A.; Vávra, V. 1895. Výzkumy zvířeny ve vodách českých IV. Zvířena rybníků Dolnopočernického a Kačležského. Archiv pro přírodovědecké prozkoumání Čech 9 (12): 1–118.



Obr. 5. Hlavní podezřelí – pravděpodobní spoluviníci současného stavu mnoha rybníků: invazní střevličky východní (vlevo, Kvítkovický), plotice, okouni a ježdíci (vpravo, Dehtář). Foto Ján Regenda



Obr. 6. Hypertrofní rybníky asi mohou být také významnými zdroji skleníkových plynů – měření emisí metanu na Rodu. Foto A. Matoušů

- [3] Dykyjová, D.; Květ, J. (eds.) 1978. Pond littoral ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 371 s.
- [4] Fott, J.; Pechar, L.; Pražáková, M. 1980. Fish as a factor controlling water quality in ponds. In: Barica, J.; Mur, L. R. (eds.), Hypertrophic ecosystems. Developments in Hydrobiology 2: 255–261.
- [5] Kořinek, V.; Fott, J.; Fuksa, J.; Lellák, J.; Pražáková M. 1987. Carp ponds of central Europe. In: Michael R. G. (ed.) Managed aquatic ecosystems, Ecosystems of the World 29. Elsevier, Amsterdam: 29–63.
- [6] Pechar, L. 2000. Impacts of long-term changes in fishery management on the trophic level and water quality in Czech fish ponds. Fisheries Management and Ecology 7: 23–32.
- [7] Pechar, L. 2015. Století eutrofizace rybníků – synergický efekt zvyšování zátěže živinami (fosforem a dusíkem) a nárůstu rybích obsádek. Vodní hospodářství 7/2015: 1–6.
- [8] Hrbáček, J. 1962. Species composition and the amount of the zooplankton in relation to the fish stock. Academia, Praha. Rozpravy ČSAV 72 (10), 114 s.
- [9] Matoušů, A.; Osudar, R.; Šimek, K.; Bussmann, I. 2017. Methane distribution and methane oxidation in the water column of the Elbe estuary, Germany. Aquatic Sciences 79: 443–458.
- [10] Šimek, K.; Bobková, J.; Macek, M.; Nedoma, J.; Psenner, R. 1995. Ciliate grazing on picoplankton in a eutrophic reservoir during the summer phytoplankton maximum: A study at the species and community level. Limnology and Oceanography 40: 1077–1090.
- [11] Šimek, K.; Jürgens, K.; Nedoma, J.; Comerma, M.; Armengol, J. 2000. Ecological role and bacterial grazing of *Halteria* spp.: Small oligotrichs as dominant pelagic ciliate bacterivores. Aquatic Microbial Ecology 22: 43–56.
- [12] Sommer, U.; Gliwicz, Z. M.; Lampert, W.; Duncan, A. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. Archiv für Hydrobiologie 106: 433–471.
- [13] Sommer, U.; Adrian, R.; Domis, L. D. S.; Elser, J. J.; Gaedke, U.; Ibelings, B.; Jeppesen, E.; Lürling, M.; Molinero, J. C.; Mooij, W. M.; van Donk, E.; Winde, M. 2012. Beyond the plankton ecology group (PEG) model: mechanisms driving plankton succession. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 43: 429–448.
- [14] Potužák, J.; Hůda, J.; Pechar, L. 2007. Changes in fish production effectivity in eutrophic fishponds – impact of zooplankton structure. Aquaculture International 15: 201–210.
- [15] Francová, K.; Šumberová, K.; Čtvrtlíková, M.; Kučerová, A.; Borovec, J.; Exler, N.; Schmidt-Mumm, U.; Janauer, G. A. 2017. Interconnection between fishpond management and aquatic macrophytes. In: 10th Symposium for European Freshwater Sciences 2017, June 2–7, Olomouc, Abstract Book: 231. (Navštíveno 30. 4. 2018; <http://www.sefs10.cz/sites/default/files/images/SEFS-abstract-book.pdf>)

prof. RNDr. Jaroslav Vrba, CSc.^{1,2)} (autor pro korespondenci)

Ing. Zdeňka Benedová³⁾

RNDr. Jitka Jezberová, Ph.D.²⁾

Mgr. Anna Matoušů, Ph.D.²⁾

Ing. Martin Musil, Ph.D.^{3,4)}

RNDr. Jiří Nedoma, CSc.²⁾

doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.^{3,4)}

Ing. Jan Potužák, Ph.D.^{5,6)}

RNDr. Klára Řeháková, Ph.D.²⁾

prof. RNDr. Karel Šimek, CSc.^{1,2)}

RNDr. Michal Šorf, Ph.D.^{1,7)}

Mgr. Jana Zemanová^{1,5)}

¹⁾ Přírodovědecká fakulta
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Branišovská 1760
370 05 České Budějovice
jaroslav.vrba@prf.jcu.cz

²⁾ Hydrobiologický ústav
Biologické centrum AV ČR, v.v.i.
Na Sádkách 7
370 05 České Budějovice

³⁾ ENKI, o.p.s.
Dukelská 145
379 01 Třeboň

⁴⁾ Zemědělská fakulta
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Studentská 1668
370 05 České Budějovice

⁵⁾ Povodí Vltavy, s.p.
E. Pittera 1
370 01 České Budějovice

⁶⁾ Fakulta rybářství a ochrany vod
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zátiší 728/II
389 25 Vodňany

⁷⁾ Agronomická fakulta
Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 1
613 00 Brno

You cannot step into the same fishpond twice – A preliminary report on the current status of hypertrophic fishpond ecosystems (Vrba, J.; Benedova, Z.; Jezberova, J.; Matousu, A.; Musil, M.; Nedoma, J.; Pechar, L.; Potuzak, J.; Rehakova, K.; Simek, K.; Sorf, M.; Zemanova, J.)

Abstract

For centuries, shallow manmade fishponds in South Bohemia were used for fish production; however, their ecosystems have changed dramatically due to excessive nutrient loading and fish stocking. Preliminary results of ten sampled fishponds suggested their hypertrophic status at present, while their plankton structure and dynamics reflected the actual size/age class of fish stock consisting predominantly of common carp. Planktivorous fish (both young carp and the so-called weedy fish) remarkably reduced the abundance, size, and species diversity of crustacean zooplankton, in particular large daphnids, whereas larger carp itself did not cause such a strong top-down effect. All other plankton components, i.e. phytoplankton, bacteria, protists, and rotifers showed rather high abundance and diversity, and suggested a reasonable impact of various microbial processes and interactions in the recent hypertrophic ecosystems.

Key words

hypertrophic fishponds – nutrients – plankton – diversity – food webs – microbial activity

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 30. září 2018. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.