

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



Význam vodních rostlin pro potravní sítě mělkých vod

Bakalářská práce

Jana Zemanová

Školitel: prof. RNDr. Jaroslav Vrba, CSc.

Konzultant: Mgr. Michal Šorf

České Budějovice

2012

Zemanová J. (2012): Význam vodních rostlin pro potravní sítě mělkých vod.

[The importance of aquatic plants for food web of shallow lakes. Bc. Thesis, in Czech] 18 pp., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Tato bakalářská práce představuje grantovou žádost o financování projektu, který je zaměřený na ověření denní horizontální migrace zooplanktonu a srovnání kvality a dostupnosti potravy zooplanktonu v litorální a pelagické zóně.

Annotation:

This bachelor thesis presents a grant application for funding the project aimed at a verification of the diel horizontal migration of zooplankton and comparison of food quality and availability in the littoral and pelagic zone.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 11. prosince 2012

Jana Zemanová

Abstrakt:

Mnoho českých rybníků se nachází v eutrofním až hypertrofním stavu s vysokou biomasou fytoplanktonu a kalnou vodou. K tomuto stavu dále negativně přispívají vysoké obsádky kapra obecného (*Cyprinus carpio*). Biomanipulací můžeme dosáhnout obnovy čiré vody. Snížením celkové rybí obsádky a ochranou makrofyt proti herbivorům může být zvýšena biomasa zooplanktonu. Filtrující zooplankton účinně redukuje biomasu fytoplanktonu a tím stabilizuje vodní ekosystém.

V mělkých nádržích se uplatňuje denní horizontální migrace, při které se pelagický zooplankton během dne přesouvá do zarostlé litorální zóny. Makrofyta slouží zooplanktonu jako úkryt před pelagickými predátory. Účinnost úkrytu závisí zejména na hustotě a druhu makrofyt a přítomných planktivorních ryb. Porost makrofyt tedy podporuje populaci herbivorního zooplanktonu, jehož vyšší hustoty napomáhají obnovit stav s čirou vodou.

Denní horizontální migrace stále není zcela prozkoumána. Cílem této práce je zhodnotit význam makrofyt pro potravní sítě mělkých vod. Pomocí mezokosmového pokusu dále ověřit přítomnost denní horizontální migrace a porovnat dostupnost a kvalitu potravy pro zooplankton v litorální a pelagické zóně. Získané informace o denní horizontální migraci by mohly být užitečné během revitalizací vysoce úživných rybníků v České republice.

Poděkování:

Ráda bych velmi poděkovala svému školiteli prof. RNDr. Jaroslavu Vrbovi, CSc. a odbornému konzultantovi Mgr. Michalu Šorfovi za odbornou pomoc, bezmeznou trpělivost a ochotu poskytovat cenné rady.

Obsah

1	Současný stav poznání.....	1
1.1	Definice pojmů.....	1
1.2	Vliv abiotických faktorů na růst vodních rostlin.....	1
1.2.1	Světlo.....	1
1.2.2	Teplota.....	2
1.2.3	Obsah živin ve vodě.....	2
1.2.4	Vlastnosti sedimentu.....	3
1.2.5	Pohyby vody a sklon dna.....	3
1.2.6	Záplavy a sucho.....	3
1.3	Vliv biotických faktorů na růst vodních rostlin.....	4
1.4	Význam vodních rostlin.....	4
1.5	Alternativní stabilní stavy a zooplankton	5
1.6	Denní horizontální migrace.....	8
1.7	Vliv kapra na vodní ekosystém.....	11
1.8	Revitalizace mělkých vod.....	12
2	Cíl projektu.....	13
3	Dílčí hypotézy.....	13
4	Návrh projektu.....	13
4.1	Popis lokality a technického vybavení.....	13
4.2	Uspořádání pokusu.....	13
4.3	Odběr vzorků.....	14
4.4	Zpracování vzorků.....	14
5	Závěr.....	15
6	Literatura.....	16

1 Současný stav poznání

1.1 Definice pojmů

Termín makrofyta označuje makroskopicky pozorovatelné rostliny, které obývají vodní prostředí. Vyskytují se v příbřežní zóně (litorálu) stojatých i tekoucích vod. Z botanického hlediska rozumíme pod pojmem makrofyta zástupce různých systematických skupin řazených jak mezi bezcévné (Bryophyta, Characeae, Chlorophyta, Marchantiophyta, Sphagnopsida), tak cévnaté rostliny. Kalff (2003) rozděluje makrofyta na emerzní (vynořené), kořenující a nekořenující submerzní (ponořené) a natantní (plovoucí).

Emerzní makrofyta jsou vynořená nebo částečně ponořená a rostou i na březích vod. Příkladem emerzní vegetace jsou např. rákos obecný (*Phragmites australis*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), orobince (*Typha* spp.) a další. Submerzní makrofyta jsou zcela ponořená a dále se rozdělují do dvou skupin. Mezi submerzní makrofyta kořenující v sedimentu se řadí rdest hřebenitý (*Potamogeton pectinatus*), stolístek klasnatý (*Myriophyllum spicatum*), vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*) a rostliny s volně plovoucími listy („floating-leaved“) - lekníny (*Nymphaea* spp.) a stulíky (*Nuphar* spp.). Do skupiny submerzních makrofyt, které nekořenují v sedimentu, patří např. růžkatec ponořený (*Ceratophyllum demersum*) a bublinatky (*Utricularia* spp.). Natantní makrofyta („free-floating“) plavou na vodní hladině a jejich kořeny se volně vznášejí ve vodním sloupci. Patří sem zejména okřehky (*Lemna* spp.) nebo nepukalky (*Salvinia* spp.).

Některé druhy rostlin mají emerzní i submerzní formu. Obojživelné druhy rostlin rostou ve vodě i na souši, sekundární vodní rostliny rostou na souši a příležitostně ve vodě (Kalff, 2003).

1.2 Vliv abiotických faktorů na růst vodních rostlin

1.2.1 Světlo

Vodní rostliny potřebují světlo ke svému růstu a k fotosyntéze stejně jako suchozemské rostliny. Množství světla pronikajícího vodou může být silně omezeno vlastnostmi vodního sloupce, např. průhledností vody (Feldmann a Noges, 2007; Krolová et al., 2010; Bornette a Puijalon, 2011). Průhlednost vody je určena barvou vody a zákalem. Barva vody závisí na obsahu rozpuštěných organických látek. Zákal je určen koncentrací nerozpuštěných látek a biomasou planktonu (Lellák a Kubíček, 1991; Bornette a Puijalon, 2011). Na průhlednosti

vody tedy závisí růst rostlin (Feldmann a Noges, 2007). Z hlediska dostupnosti světla rostou makrofyta v hloubkách až 4 m, v některých případech i hlouběji (Bornette a Puijalon, 2011).

Růst makrofyt může být silně omezen stíněním fytoplanktonu a perifytonu. V případě vysokého obsahu živin ve vodě dochází díky kompetici makrofyt a fytoplanktonu o světlo k omezení růstu nebo dokonce k úplnému vymizení porostu makrofyt (Bornette a Puijalon, 2011).

1.2.2 Teplota

Vodní ekosystémy jsou díky specifickým vlastnostem vody teplotně stabilnější než terestrické ekosystémy. Teplota vody závisí na klimatických podmínkách, velikosti a hloubce nádrže, průhlednosti vody a teplotě vodních přítoků. Zejména v hlubokých nádržích dochází během roku k teplotní stratifikaci (Bornette a Puijalon, 2011).

1.2.3 Obsah živin ve vodě

Uhlík, dusík a fosfor jsou klíčové látky potřebné pro život vodních rostlin a proto jejich dostupnost řídí primární produkci ve sladkovodních ekosystémech. Zdrojem uhlíku pro vodní rostliny je oxid uhličitý a hydrogenuhličitany (HCO_3^-). Rostliny získávají CO_2 ze vzduchu (rostliny s plovoucími listy a emerzní rostliny), z vody a ze sedimentu (Bornette, Puijalon, 2011). Rozpustnost plynů (CO_2) ve vodě se řídí Henryho zákonem a závisí na parciálním tlaku plynů a teplotě kapaliny (Lellák a Kubíček, 1991). Dostupnost oxidu uhličitého závisí také na pohybech vody a pH, které určuje formy anorganického uhlíku v rovnováze s oxidem uhličitým (uhličitanový systém) (Bornette a Puijalon, 2011). Uhličitanový systém je nejvýznamnější pufrací systém ve vodách, pomáhá udržovat stabilní pH. Tento systém je narušen např. v kyselých vodách šumavských jezer (Vrba et al., 2003).

Dusík přijímají rostliny nejčastěji ve formě amonného iontu, protože asimilace dusičnanů vyžaduje více energie než asimilace amoniaku. Fosfor přijímají rostliny ve formě fosforečnanů. Makrofyta nekořenující ve dně absorbují živiny z vody, a proto se obvykle nacházejí ve vodních ekosystémech s vysokou hladinou živin ve vodním sloupci. Kořenující rostliny získávají živiny jak z vodního sloupce, tak i ze sedimentu. Diverzita makrofyt tedy závisí také na koncentraci živin ve vodě (Bornette a Puijalon, 2011).

Množství fosforu a dusíku ve vodě určuje trofii nádrže. Zvýšený přísun živin podporuje dominanci kompetičně úspěšných rostlin s volně plovoucími listy a snižuje

celkovou diverzitu vodních rostlin. Mezi mezotrofní druhy patří např. rdest smáčkнутý (*Potamogeton compressus*) a parožnatky (*Chara* spp.), zatímco okřehky (*Lemna* spp.), azola zpeřená (*Azolla filiculoides*), stulík žlutý (*Nuphar lutea*) a lekníny (*Nymphaea* spp.) se vyskytují zejména v eutrofních vodách (Bornette a Puijalon, 2011).

1.2.4 Vlastnosti sedimentu

Různé druhy vodních rostlin potřebují různou fyzikální strukturu sedimentu k zakotvení a udržení se v něm. Některé druhy makrofyt jsou schopné růst na kamenitém podloží v rychle tekoucích vodách - např. stolítek střídavolistý (*Myriophyllum alterniflorum*). Většina druhů vodních rostlin ale roste na štěrkovém nebo jemném substrátu. Pevnost substrátu neovlivňuje jen růst rostlin, ale i způsob přijímání živin (Bornette a Puijalon, 2011).

1.2.5 Pohyby vody a sklon dna

Pohyby vody, vlny a proudy, ovlivňují makrofyta několika způsoby. Hlavní přímý efekt pohybů vody je hydrodynamická síla působící na kořenující makrofyta. Makrofyta se následkem této síly mohou poškodit, vyvrátit, a nebo přizpůsobit v závislosti na velikosti této síly. Vodní pohyby mohou způsobit také vyplavení nebo usazení jemného sedimentu, souvislou erozi nebo pohřbení semen. Mírné vlny pomáhají akumulaci sedimentu a živin, a následnému růstu makrofyt. Vlny redukují biomasu perifytonu a zároveň podporují rozvoj fytoplanktonu (Bornette a Puijalon, 2011).

Silné pohyby vody způsobují resuspendování sedimentu, které má za následek snížení průhlednosti vody a zvýšení obsahu živin ve vodním sloupci (Bornette a Puijalon, 2011).

Důležitý faktor ovlivňující růst vodních rostlin je také sklon dna. Kořenující rostliny nejsou schopné růst tam, kde sklon svahu je větší než 15 - 20 %. Příčinou je pravděpodobně eroze sedimentu, větší působení vln, špatné podmínky pro zakořenění a jen krátkodobá akumulace živinově bohatého jemného sedimentu (Kalff, 2003; Krolová et al., 2010).

1.2.6 Záplavy a sucho

Záplavy způsobují jednorázové nebo opakované disturbance vodních a k vodě přilehlých biotopů. Zvyšují prostorovou a časovou různorodost a následně biologickou

diverzitu. Sucho vystavuje makrofyta vzdušným podmínkám a mění vlastnosti substrátu, proto může znevýhodňovat vodní rostliny. Opakující se sucho zvyšuje druhovou diverzitu ve srovnání se stabilním stavem hladiny vody díky střídání vodních a vynořených společenstev (Bornette a Puijalon, 2011).

V přehradních nádržích je častým jevem kolísání hladiny vody (i v řádech metrů) v důsledku vodohospodářského využívání nádrží (vodní energie, ochrana před povodněmi, regulace průtoku v toku, a další). Velké kolísání hladiny vody znemožňuje růst submerzních rostlin, které nepřežijí období vysušení (Krolová et al., 2010). To následně ovlivňuje např. rybí populace zánikem vhodného substrátu ke tření (Santos et al., 2011).

1.3 Vliv biotických faktorů na růst vodních rostlin

Výskyt makrofyt ovlivňují herbivorní druhy ryb a bezobratlých živočichů - např. amur bílý (*Ctenopharyngodon idella*), perlín ostrobřichý (*Scardinius erythrophthalmus*) nebo larva motýla vílenky bílé (*Acentria ephemerella*) (Gross et al., 2001; Hanel a Lusk, 2005). Většina herbivorních živočichů však dává přednost lehce stravitelným řasám (Kalff, 2003).

Vodní rostliny jsou ovlivněny také činností bentických nebo bentopelagických druhů ryb, např. kaprem obecným (*Cyprinus carpio*), cejnem velkým (*Abramis brama*) nebo línem obecným (*Tinca tinca*) (Lougheed et al., 1997; Jeppesen et al., 1997; Kloskowski, 2011). Kapr se živí zejména planktonem a bentosem. Vychlípitelnými ústy nasává potravu z volné vody i ze dna spolu se sedimentem (bioturbace). Ze získaného materiálu vyfiltruje potravu a ostatní nevyhovující částice odchází žaberními otvory zpět do vodního prostředí. Bioturbací dochází k resuspenzi živinově bohatého sedimentu. Během této aktivity může kapr vytrhat nebo pozřít ponořené vodní rostliny (Kloskowski, 2011). Různé druhy ryb mají jiný stupeň bentické aktivity závislé na dostupnosti potravy (Lougheed et al., 1997; Jeppesen et al., 1997).

1.4 Význam vodních rostlin

Makrofyta jsou primární producenti, vytvářejí tedy organickou hmotu ve vodním prostředí. Organický materiál uvolňovaný z makrofyt a jejich biofilm jsou důležité zdroje uhlíku pro bakterioplankton (Rooney a Kalff, 2003). Rozkladem makrofyt vznikne živinově bohatý detrit (Kalff, 2003). Makrofyta slouží také jako potrava herbivorům.

Makrofyta produkují a zároveň spotřebovávají kyslík. Při fotosyntéze odebírají makrofyta z vody CO₂ a tím ovlivňují pH vody. Množství kyslíku vypovídá o kvalitě vody, např. ve vodních nádržích s velkým organickým znečištěním je nedostatek kyslíku a rozkladné procesy proto probíhají anaerobní cestou, při které vznikají oxid uhličitý, metan a sirovodík (Lellák a Kubíček, 1991).

Makrofyta negativně ovlivňují fytoplankton díky kompetici o živiny a alelopatii. Vodní rostliny také poskytují úkryt pro velký filtrující zooplankton (viz kapitola Denní horizontální migrace), který reguluje biomasu fytoplanktonu a tím přispívá ke stavu s čirou vodou (Sagrario a Balseiro, 2010).

Účinnost úkrytu zooplanktonu v porostu vodních rostlin závisí na hustotě a druhu makrofyt a také na hustotě a druhu přítomných planktivorních ryb (Jeppesen et al., 1997). Dále se mezi makrofyty ukrývá rybí potěr (Schriver et al., 1995) a některé planktivorní ryby před predátory (piscivorními rybami). Na druhou stranu zooplankton ukrývající se mezi makrofyty představuje hlavní zdroj potravy pro ryby žijící v litorální zóně (Adamczuk a Kornijów, 2011).

Makrofyta poskytují substrát pro nárosty řas, sinic, hub a bakterií. Nárosty jsou stanovištěm, úkrytem a zdrojem potravy pro zooplankton, jiné bezobratlé živočichy (např. larvy hmyzu a plže) i obratlovce (např. ryby a vodní ptactvo) (Kalff, 2003).

Makrofyta jsou významnou součástí biogeochemických cyklů biogenních prvků. Makrofyta mohou fosfor jak zadržovat („sink“), tak uvolňovat do vodního sloupce („source“). Závisí to na stavu dna a ročním období. Během léta mají makrofyta zanedbatelný vliv na množství fosforu ve vodním sloupci (Rooney a Kalff, 2003).

Ovlivňují hydrologii a dynamiku sedimentu sladkovodních ekosystémů díky jejich vlivu na průtok (změna nebo snížení rychlosti proudu) a zachycení částic nebo resuspenzi. Makrofyta tlumí vlny a tím zabraňují pobřežní erozi (Kalff, 2003).

Díky těmto klíčovým rolím jsou vodní rostliny nezbytné pro dosažení dobrého ekologického stavu vodních ekosystémů (Bornette a Puijalon, 2011).

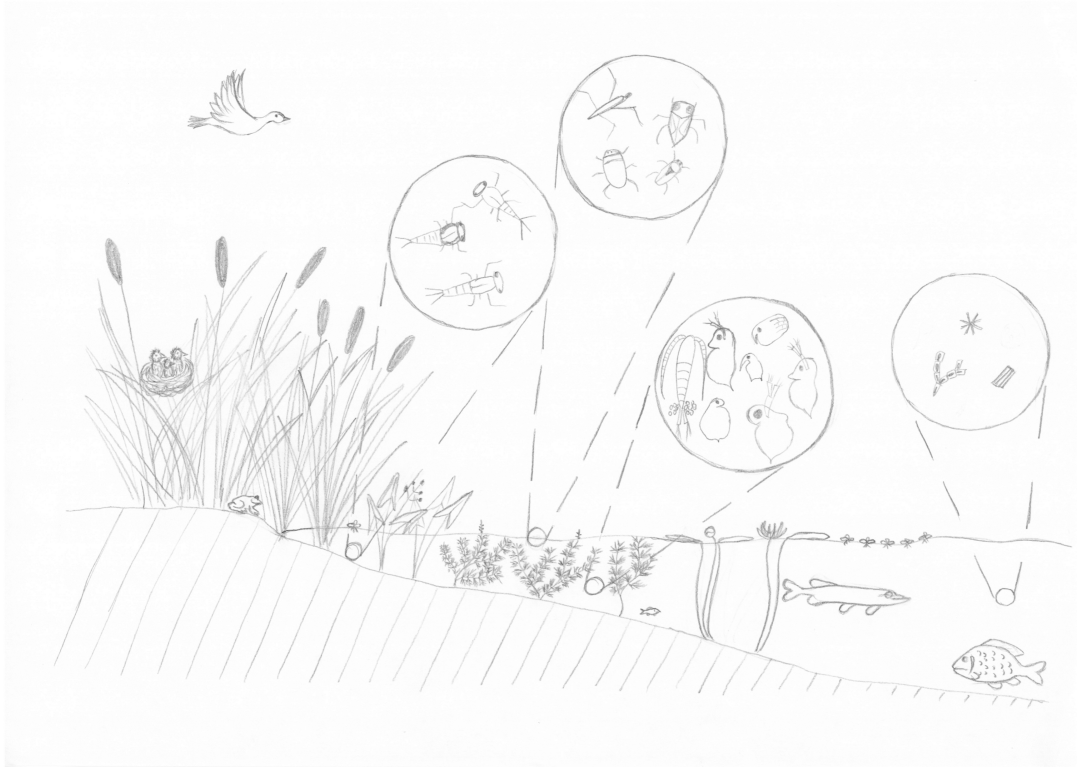
1.5 Alternativní stabilní stavy a zooplankton

V literatuře jsou popsány 2 teoretické stabilní stavy v mělkých vodách a mokřadech. Za nízké koncentrace živin ve vodě a nízkého predáčního tlaku planktivorních ryb dominují v nádrži makrofyta. V nádrži je čirá voda a hojně se zde vyskytují větší druhy filtrujících perlooček. Naopak biomasa fytoplanktonu je relativně nízká (Obr. 1). V nádržích s vysokým

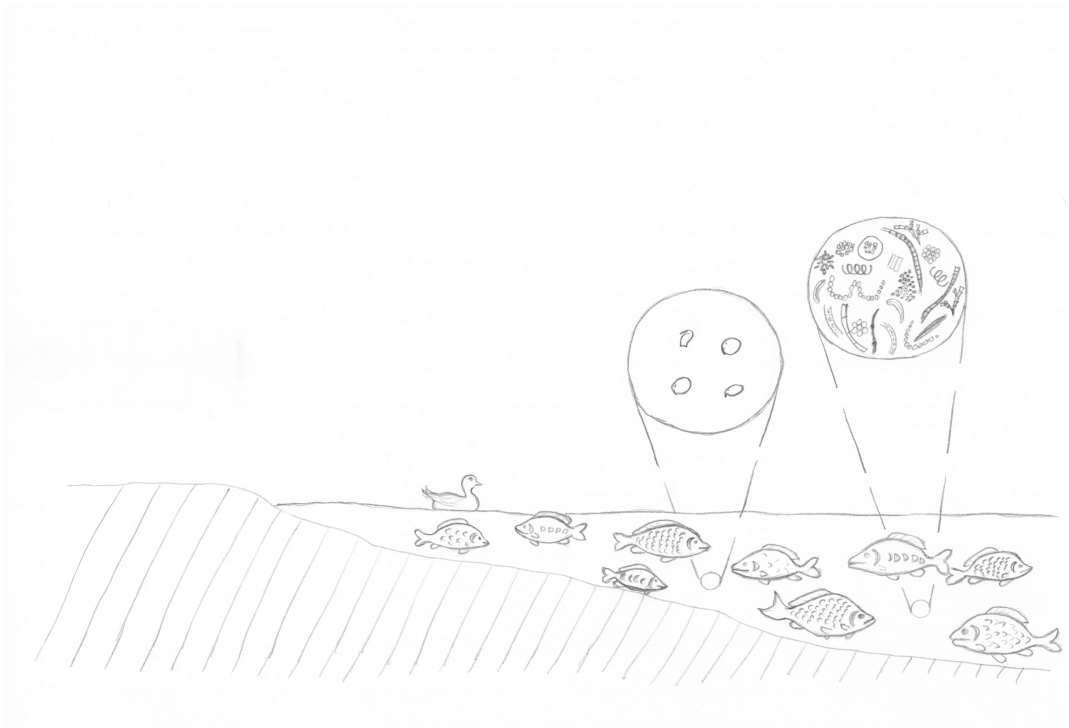
obsahem živin ve vodě a vysokým predačním tlakem planktivorních ryb dominuje fytoplankton. Následkem velké biomasy planktivorních ryb se v nádrži nevyskytují větší druhy perlooček. Díky kalné vodě zde nemohou růst submerzní makrofyta. V takových nádržích je biodiverzita obecně nižší než v nádržích s čirou vodou (Obr. 2) (Lougheed et al., 1997; Scheffer a van Nes, 2007; Bornette a Puijalon, 2011).

Zooplankton zaujímá významnou roli ve vodních ekosystémech, ovlivňuje biomasu fytoplanktonu a zároveň je významnou součástí potravy mnoha druhů ryb (Tavşanoğlu et al., 2012). Zooplankton se skládá převážně z perlooček (Cladocera), klanonožců (Copepoda) a vířníků (Rotifera). Vířníci a většina perlooček filtruje fytoplankton. Buchanky (Cyclopoida) a dva naše dravé druhy perlooček - *Polyphemus pediculus* a *Leptodora kindtii* se živí býložravým zooplanktonem. Zooplankton pravděpodobně využívá i náhradní zdroje potravy jako bakterioplankton a biofilmy na rostlinách, kamenech a sedimentu (Schriver et al., 1995).

Biomasa a složení fytoplanktonu je tedy ovlivňováno zejména býložravým zooplanktonem („ovlivnění shora“) (Burks et al., 2002). Zooplankton je schopen vyhýbat se predátorům pomocí mechanismů vertikální a horizontální migrace. Oba druhy migrace se zkoumají převážně na velkých perloočkách rodu *Daphnia*, které jsou významnými filtrátory fytoplanktonu (Van de Meutter et al., 2005). Denní vertikální migrace je účinná zejména v hlubokých nádržích (Jeppesen et al., 1997; Sagrario a Balseiro, 2010; Tavşanoğlu et al., 2012), ačkoliv Cerbin et al. (2003) tvrdí, že se uplatňuje i v mělkých nádržích (1,5 m) v přítomnosti bezobratlých predátorů - znakoplavek (Notonectidae). Jelikož je výskyt makrofyt vázán zejména na mělká vodní tělesa, bude následující část zaměřena na denní horizontální migraci.



Obr.1: Stav nádrže s nízkým obsahem živin ve vodě a s nízkým predančním tlakem na zooplankton (dominance makrofyt) (upraveno podle Scheffer a van Nes, 2007).



Obr.2: Stav nádrže s vysokým obsahem živin ve vodě a s vysokým predančním tlakem na zooplankton (dominance fytoplanktonu) (upraveno podle Scheffer a van Nes, 2007).

1.6 Denní horizontální migrace

Pelagický zooplankton se během dne přesouvá do zarostlé litorální zóny. Tento jev se označuje jako denní horizontální migrace (dále jen horizontální migrace) a vyskytuje se hlavně v mělkých nádržích. Předpokládá se, že je to strategie jak se vyhnout predátorům. Úkryt před predátory podporuje přežití populace velkých perlooček nebo dalšího herbivorního zooplanktonu (Schriver et al., 1995; Jeppesen et al., 1997; Lauridsen et al., 2001; Burks et al., 2002; Semenchenko, 2008). Horizontální migrace tak přispívá ke stavu s čirou vodou (Sagrario a Balseiro, 2010).

Makrofyta tedy poskytují úkryt pro velké perloočky, brání rybám v pohyblivosti a znesnadňují jim vizuální orientaci (Adamczuk a Kornijów, 2011). Účinnost úkrytu pro velké perloočky je závislá na růstové formě, hustotě a druhu makrofyt. Nádrže kolonizovány makrofyty brzo na jaře často vykazují vyšší biomasu velkých perlooček a delší trvání fáze čiré vody. Úkryty potenciálně mohou být účinnější v nádržích, ve kterých makrofyta zůstávají přes zimu, ačkoliv o dynamice populace velkých perlooček v mělkých nádržích během zimy je známo málo (Burks et al., 2002).

Je prokázáno, že stulík žlutý poskytuje během léta díky stínění účinný úkryt pro perloočky (*Daphnia* spp., *Simocephalus* spp. a *Ceriodaphnia* spp.) i za velké hustoty vizuálně se orientujících predátorů, např. okounů říčních (*Perca fluviatilis*). Ponořené makrofyty se zpeřenými listy, jako je rdest hřebenitý, růžkatec ponořený, stolístek klasnatý nebo vodní mor kanadský mohou pravděpodobně poskytovat účinnější úkryt pro velké perloočky než makrofyty s volně plovoucími listy. Tato myšlenka dosud nebyla testována experimentálně (Burks et al., 2002).

Emerzní rostliny mohou také sloužit jako úkryt, např. *Scapholeberis mucronata* se shromažďuje v ostřicích (*Carex* spp.) a velká hejna nosatiček (*Bosmina* spp.) byla nalezena např. v přesličkách (*Equisetum fluviatile*) (Burks et al., 2002).

Některé vodní rostliny (vodní mor kanadský, stulík žlutý) uvolňují chemické látky, které redukují růst nebo dokonce způsobují výraznou úmrtnost velkých perlooček (Burks et al., 2002). Je však prokázáno, že perloočky se přesto ukrývají mezi makrofyty navzdory jejich počátečním odpuzujícím vlastnostem. Některá makrofyta (např. stolístek) uvolňují látky, které potlačují fytoplankton (Burks et al., 2002; Semenchenko, 2008).

Zooplankton je potravou planktivorních ryb. Při vysokém poměru piscivorních ryb ku planktivorním rybám je potlačen vliv planktivorů. Když poměr piscivorních ku planktivorním klesá, stoupá vyžírání perlooček (Jeppesen et al., 1997). Za dominance litorálních predátorů, např. štiky obecné (*Esox lucius*), jsou planktivorní ryby vytlačeny

z vegetace do volné vody obývané jinými predátory. Tato situace může zlepšit účinnost úkrytu pro velké perloočky v litorální zóně (Burks et al., 2002).

Na druhou stranu více pelagických piscivorů může přimět planktivorní ryby k hledání úkrytu v litorální vegetaci, což účinnost úkrytu snižuje (Burks et al., 2002). Za této situace se mezi makrofyty schovávají hlavně malé druhy zooplanktonu (*Bosmina* spp. a Rotifera), zatímco větší zooplankton (*Diaphanosoma brachyurum* a *Moina micrura*) se nachází spíše ve volné vodě (Semenchenko, 2008; Sagrario a Balseiro, 2010). V přítomnosti litorálních predátorů se zooplankton břehům vyhýbá (Lauridsen et al., 2001; Tavşanoğlu et al., 2012).

V systémech s málo rybami může být významný predáční tlak následkem bezobratlých živočichů. Bezobratlí predátoři ve volné vodě (*Bythotrephes* spp., *Chaoborus* spp., nebo *Leptodora kindtii*) mohou silně snížit populaci zooplanktonu. Vlivy ryb a pelagických bezobratlých predátorů se mohou sčítat nebo zvyšovat pravděpodobnost, že velké perloočky hledají úkryt v litorální zóně, ačkoliv toto nebylo dosud experimentálně testováno (Burks et al., 2002; Wojtal et al., 2007).

Další bezobratlí predátoři zooplanktonu se nacházejí právě v litorální zóně. Jsou to larvy vážek (Odonata), potápníci (Dytiscidae), znakoplavky (Notonectidae), klešťanky (Corixidae), vodule (Hydrachnellae), nezmaři (Hydridae) a ploštěnci (Platyhelminthes). Někteří bezobratlí - např. různonožci (Amphipoda) žijící ve vegetaci konzumují trvalá vajíčka (efípie) hrotnatek (*Daphnia* spp.), a tím ovlivňují dynamiku populace pelagického zooplanktonu (Burks et al., 2002). Mezi makrofyty se ukrývá také rybí potěr, který je dalším predátorem zooplanktonu (Jeppesen et al., 1997; Semenchenko, 2008; Sagrario a Balseiro, 2010).

Chemické signály produkované rybami a bezobratlými predátory ovlivňují široký rozsah znaků životního cyklu hrotnatek, morfologických parametrů a chování. Horizontální migrace se pohybuje v rozmezí od centimetrů v laboratorních podmínkách do nejméně 30 m v terénu (Burks et al., 2002).

Makrofyta a fytoplankton si konkurují o živiny a světlo, čímž ovlivňují stav vody v jezeře (čirý versus zakalený). Pro perloočky toto soutěžení znamená další možné nevýhody ukrývání se v porostu makrofyt díky snížení kvality nebo kvantity potravy (Burks et al., 2002).

Perloočky rodu *Daphnia* jsou filtrátoři. Živí se především fytoplanktonem, bakteriemi, detritem a nárosty (Burks et al., 2002). Vyvážená strava je důležitá pro každý organismus. Kvalita potravy zooplanktonu je určena poměrem C:N:P v jejich potravě (Kalff, 2003). Růst perlooček je limitován zejména fosforem, protože v živých organismech je podíl fosforu

vyšší a stabilnější než v prostředí (Elser et al., 2000). Molekulární poměr N:P u hrotnatek je 14:1 (Kalff, 2003).

Pro horizontální migraci je velmi důležité srovnání dostupnosti a kvality potravy v pelagické a litorální zóně. Burks et al. (2002) tvrdí, že v litorální zóně je potencionálně vyšší dostupnost potravy. Naproti tomu Van de Meutter et al. (2005) a Semenchenko (2008) uvádí, že v litorální zóně se fytoplankton vyskytuje vzácněji. Kvalita potravy závisí na mnoha faktorech včetně její velikosti a struktury, toxicity, poměru prvků, složení mastných kyselin, atd. Často je obtížné definovat kvalitu potravy pro perloočky. Velké druhy hrotnatek, jako je *D. magna* a *D. pulex*, jsou schopné filtrovat fytoplankton o velikosti až 60 μm . Schopnost požití potravy může být pozměněna morfologií potravy. Žádná studie zatím nesrovnala velikost řas v litorální a pelagické zóně. Vysoký obsah nenasycených mastných kyselin (PUFA) je další důležitý faktor, který pozitivně ovlivňuje růst populace perlooček (Burks et al., 2002).

Dostupnost světla může změnit stechiometrii potravy pro perloočky v mělkých nádržích. Je-li světelná energie vyšší vzhledem k dostupnosti živin (což se může stát v čirých, oligo-mesotrofních nádržích), základ potravní sítě je pravděpodobně bohatý na uhlík a chudý na fosfor. Takové podmínky mohou populaci hrotnatek eliminovat. Je-li světlo méně dostupné ve srovnání s živinami (což může nastat v eutrofních, mělkých systémech), řasy jsou pravděpodobně bohaté na fosfor (Burks et al., 2002).

Trofie nádrže také ovlivňuje horizontální migraci. Účinnost úkrytu v litorální zóně je nízká v hypertrofních zakalených nádržích bez ponořených makrofyt a vysoká v eutrofních čirých nádržích s velkým množstvím ponořených makrofyt (Lauridsen et al., 2001).

Horizontální migraci mohou ovlivňovat i abiotické faktory, např. teplota (Burks et al., 2002), hloubka nádrže (Semenchenko, 2008), množství rozpuštěného kyslíku a pH. Teplota hraje významnou roli v ekologii zooplanktonu – od fyziologie jedince k populační dynamice – a může spolupůsobit s vlivem světla. Z hlediska růstu a reprodukce prospívá většině velkých perlooček teplota vody mezi 15 °C a 25 °C (Burks et al., 2002).

Teplota vody v pelagiálu a litorálu se liší v závislosti na klimatických podmínkách, morfologii a charakteru nádrže. U nás je obvykle za letního období teplota vody v litorálu vyšší než ve volné vodě. Teplota povrchu vody v litorální zóně nad makrofyty je často vyšší než teplota u dna. Jak ovlivňují různé teploty vody denní horizontální migraci v různých částech nádrže není zcela známo (Burks et al., 2002).

Intenzita horizontální migrace zooplanktonu klesá se zvyšující se hloubkou nádrže (Semenchenko, 2008). Horizontální migrace je jen málo ovlivněna pH a obsahem rozpuštěného kyslíku (Burks et al., 2002).

Ačkoliv se zooplankton střetává se svými predátory v pelagické i litorální zóně, měl by úkryt mezi makrofyty znamenat nižší mortalitu zooplanktonu. Účinnost úkrytu stoupá za vysoké biomasy makrofyt a piscivorních ryb. Důležitým, ale ne zcela prozkoumaným faktorem, je také dostupnost a kvalita potravy v litorální versus pelagické zóně (Burks et al., 2002). Pochopení denní horizontální migrace může pomoci při revitalizacích mělkých nádrží.

1.7 Vliv kapra na vodní ekosystém

Kapr obecný (*Cyprinus carpio*) je jeden z nejrozšířenějších druhů ryb na světě. Díky vysoké toleranci k environmentálnímu stresu a všežravému způsobu života se kapr hojně využívá v komerční akvakultuře. V mnoha zemích je kapr považován za vysoce invazivní druh, který způsobuje degradaci vodního ekosystému a patří mezi ekologicky nejškodlivější druhy vnitrozemských vod (Kloskowski, 2011).

Přítomnost většího množství kapra velmi snižuje biodiverzitu vodních ekosystémů, zvyšuje zákal vody (Cahn, 1929) a biomasu fytoplanktonu. V rybnících s poměrně nízkou biomasou malých (mladých) kaprů se hojně vyskytují také větší bezobratlí živočichové a obojživelníci (Kloskowski, 2011).

Hustota ryb mění také druhové složení zooplanktonu. Za nízké hustoty (0,04 - 0,2 ryby na m²) ryb dominují velké perloočky, za velké hustoty ryb dominují malé perloočky. S rostoucí pokryvností makrofyt se postupně zvyšuje početnost perlooček (Schriver et al., 1995).

Kapr svou činností (rytí ve dně) podporuje uvolňování živin ze sedimentů, zvyšuje zákal vody, vytrhává vodní rostliny a vylučuje do vody velké množství živin (Lougheed et al., 1997; Adámek et al., 2010; Kloskowski, 2011). To vše přispívá k eutrofizaci vodních nádrží.

1.8 Revitalizace mělkých vod

Rybníky jsou umělé vodní nádrže, jejichž hlavním účelem je chov ryb. Jezera se na našem území téměř nevyskytují a jejich funkce (klimatické, hydrologické, hospodářské a ekologické) přebírají právě rybníky. Kvůli snahám o zvýšení produkce ryb se již před 2. světovou válkou začalo s vápněním rybníků, hnojením a příkrmováním. Rybníky jsou díky tomuto rybníkářskému managementu a zvýšenému přísunu živin z povodí (zemědělství, obyvatelstvo, průmysl) přesyceny živinami a stávají se z nich eutrofní až hypertrofní nádrže (Adámek et al., 2010).

Ve vysoce úživných nádržích dochází k velkému nárůstu biomasy fytoplanktonu, která je příčinou destabilizace vodního ekosystému. Dochází ke značnému rozkolísání klíčových parametrů vodního prostředí, jako jsou koncentrace kyslíku a volného amoniaku a pH. Tyto fluktuace mají často fatální následky pro vodní ekosystém (např. úhyn ryb) (Adámek et al., 2010).

Jen snížením koncentrace živin nedojde ke zlepšení čistoty vody (Bornette a Puijalon, 2011). Důsledky eutrofizace můžeme zvrátit manipulací s jednotlivými prvky potravní sítě, neboli biomanipulací. Biomanipulace je založená na tzv. ovlivnění shora čili působením na vrcholové články potravní sítě ovlivníme nižší trofické úrovně. Podporou populací dravých druhů ryb se zvýší predační tlak na planktivorní ryby. Snížení vyžíracího tlaku planktivorů umožní rozvoj filtrujícího zooplanktonu, který účinně redukuje biomasu fytoplanktonu (Jeppesen et al., 1997; Adámek et al., 2010) a to má za následek zlepšení kvality vody.

Při kontrole shora působí i další faktory, které mohou ovlivnit biomanipulaci, např. trofie, doba zdržení vody v nádrži, morfologie nádrže, klimatické podmínky atd. Důležitá je nízká koncentrace fosforu odpovídající mezotrofii, jinak by se rozšířily koloniální a vláknité druhy sinic. Další podmínkou je nízká celková biomasa rybí obsádky (< 100 kg/ha) (Adámek et al., 2010). Vhodným opatřením pro zlepšení kvality vody je také snížení množství bentivorních a planktivorních ryb a ochrana makrofyt proti herbivorům (Jeppesen et al., 1997; Burks et al., 2002).

Výzvou současného managementu je naučit se jakým způsobem manipulovat s více faktory vedoucími ke zvýšení populace větších perlooček, které mohou udržet mělké nádrže v požadovaném stavu s čistou vodou. K tomuto účelu je potřeba poznat proces horizontální migrace (Burks et al., 2002).

2 Cíl projektu

Cílem mého projektu je ověření denní horizontální migrace zooplanktonu a srovnání kvality a dostupnosti potravy zooplanktonu v litorální a pelagické zóně.

3 Dílčí hypotézy

1. Zooplankton se během dne ukrývá před predátory v litorální vegetaci.
2. V litorálu je menší biomasa fytoplanktonu než v pelagiálu.
3. Kvalita dostupné potravy (poměr C:N:P v sestonu) v litorálu je nižší než ve volné vodě.

4 Návrh projektu

4.1 Popis lokality a technického vybavení

Pokus bude probíhat v areálu Fakulty rybářství a ochrany vod ve Vodňanech (Experimentální rybochovné pracoviště a pokusnictví). V areálu pracoviště se nachází umělá vodní nádrž napájená vodou z Blanického náhonu (umělého kanálu řeky Blanice). Ve vodní nádrži je vybudovaná konstrukce pro 16 experimentálních laminátových mezokosmů (kádí) o různých hloubkách. Ve svém pokusu využiji 8 mezokosmů o průměru 1200 mm a výšce 1200 mm. Při výšce vodního sloupce 90 cm je objem každého mezokosmu 1000 l.

4.2 Uspořádání pokusu

Všechny mezokosmy budou uvnitř rozděleny pletivem na dvě poloviny. V jedné z nich bude porost stolítku klasnatého (*Myriophyllum spicatum*) simulující litorál. V druhé polovině mezokosmu bude pouze sediment bez vegetace simulující volnou vodu. Mezokosmy budou naplněny vodou z rybníka filtrovanou přes síťovinu o velikosti oček 100 μm . Nebude-li rybníční voda vyhovovat z hlediska koncentrace živin, budeme ji ředit vodou z vodovodního řádu. Po napuštění zasadíme do všech kádí stejný počet trsů stolítku. Stolítek si předpěstujeme tak, aby byl v době zahájení pokusu k dispozici v dostatečné biomase. Počet trsů se bude odvíjet podle stavu rostlinek. Do všech mezokosmů bude nasazen velký zooplankton ve frakci 710-1000 μm naložený z lokalit v okolí Českých Budějovic a Vodňan tak, aby frakce obsahovala především perloočky rodu *Daphnia*. Do 4 mezokosmů přidáme rybího predátora: střevličku východní (*Pseudorasbora parva*) a zbývající mezokosmy ponecháme bez ryb.

4.3 Odběr vzorků

Ze všech mezokosmů odebereme vzorky zooplanktonu z porostu vegetace a z volné vody pomocí trubkového odběráku. Vodu z odběráku přelijeme do připraveného sudu a z něj po důkladném promíchání odebere 5 l vzorku, který přefiltrujeme přes sítko o velikosti oček 40 μm . Tento postup budeme aplikovat jednou měsíčně v poledne a o půlnoci, abychom tak postihly případnou migraci zooplanktonu. Každý měsíc získáme 32 vzorků (8 vzorků z porostu stolítku a 8 z volné vody; vše 2x za den). Odběr vzorků proběhne během vegetační sezóny, přibližně od května do září 2013. Dále v každém mezokosmu změříme výšku vodního sloupce, zjistíme průhlednost vody a změříme pH, koncentraci rozpuštěného kyslíku a teplotu vody. Stav stolítku budeme sledovat odhadem objemu biomasy z pokryvnosti a výšky rostlin.

4.4 Zpracování vzorků

Pro ověření denní horizontální migrace spočítáme ve všech vzorcích zooplankton (Edmonson, 1971) a porovnáme jeho množství ve vegetaci a ve volné vodě během dne a noci. Dále budeme měřit dostupnost a kvalitu potravy zooplanktonu. Dostupnost potravy popíšeme biomasou nárostů a fytoplanktonu. Nárosty budeme sledovat pomocí umělohmotných pásků exponovaných ve vodě. Odhad biomasy fytoplanktonu provedeme měřením koncentrace chlorofylu a ve vzorcích. Kvalitu potravy popíšeme stanovením koncentrace celkového uhlíku, celkového fosforu a celkového dusíku v přefiltrovaných vzorcích. Předpokládané trvání celého experimentu je 1 rok (viz. Tab.I).

Tab.I: Časový plán navrhovaného experimentu.

2013	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
předpěstování stolítku klasnatého												
příprava pokusu												
odběr vzorků												
mikroskopování a chem. analýzy												
vyhodnocování výsledků												

5 Závěry

1. Ve vysoce úživných nádržích je kalná voda s velkou biomasou fytoplanktonu a nižší biodiverzitou.
2. Velké perloočky (např. *Daphnia* spp.) jsou účinnými filtrátory fytoplanktonu. Přítomnost těchto perlooček proto přispívá ke stavu s čistou vodou.
3. Během dne se zooplankton přesouvá do litorální zóny (denní horizontální migrace), protože mezi makrofyty nachází úkryt před predátory volné vody, zejména planktivními rybami.
4. Podpoření biomasy zooplanktonu by mělo být součástí revitalizací vysoce úživných rybníků v České republice. Denní horizontální migrace však není dosud plně prostudována.
5. K hlubšímu poznání denní horizontální migrace může přispět navržený mezokosmový pokus, který by měl ověřit denní horizontální migraci zooplanktonu a porovnat kvalitu a dostupnost potravy zooplanktonu v litorální a pelagické zóně.
6. Výsledky mého projektu by měly rozšířit vědomosti o chování zooplanktonu, významu makrofyt v mělkých vodách a pomoci při plánování revitalizací eutrofních vod.

6 Literatura

- Adamczuk M., Kornijów R., 2011: Crustacean communities as food resources for fish in shallow Polesie lakes with contrasting development of submerged macrophytes. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 40: 11-18
- Adámek Z., Helešic J., Maršálek B., Rulík M., 2010: Aplikovaná hydrobiologie. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod
- Bornette G., Puijalon S., 2011: Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquatic Sciences* 73: 1-14
- Burks R. L., Lodge D. M., Jeppesen E., Lauridsen T. L., 2002: Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* 47: 343-365
- Cahn A. R., 1929: The effect of carp on a small lake: the carp as a dominant. *Ecology* 10: 271-274
- Cerbin S., Balayla D. J., Van de Bund W. J., 2003: Small-scale distribution and diel vertical migration of zooplankton in shallow lake (Lake Naardermeer, the Netherlands). *Hydrobiologia* 491: 111-117
- Edmonson W. T., 1971: A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters. Blackwell Scientific Publications, chapter Methods for processing samples and developing data 127-137
- Elser J. J., Sterner W. R., Galford E. A., Chrzanowski H. T., Findlay L. D., Mills H. K., Paterson J. M., Stainton P. M., Schindler W. D., 2000: Pelagic C:N:P stoichiometry in a eutrophied lake: responses to a whole-lake food-web manipulation. *Ecosystems* 3: 293-307
- Feldmann T., Noges P., 2007: Factors controlling macrophytes distribution in large shallow Lake Vortsjärvi. *Aquatic Botany* 87: 15-21
- Gross E. M., Johnson R. L., Hairston N. G. Jr, 2001: Experimental evidence for changes in submersed macrophyte species composition caused by the herbivore *Acentria ephemerella* (Lepidoptera). *Oecologia* 127: 105-114
- Hanel L., Lusk S., 2005: Ryby a mihule České republiky — Rozšíření a ochrana. ČSOP
- Jeppesen E., Jensen P. J., Søndergaard M., Lauridsen T., Pedersen J. L., Jensen L., 1997: Top-down control in freshwater lakes: the role nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* 342/343: 151-164
- Kalff J., 2003: Limnology, Inland water ecosystems. Prentice Hall

- Kloskowski J., 2011: Impact of common carp (*Cyprinus carpio*) on aquatic communities: direct trophic effects versus habitat deterioration. *Fundamental and Applied Limnology* 173: 245-255
- Krolová M., Čížková H., Hejzlar J., 2010: Factors affecting the occurrence of aquatic macrophytes in the Lipno reservoir. *Silva Gabreta* 16: 61-92
- Lauridsen T., Jeppesen E., Landkildehus F., Søndergaard M., 2001: Horizontal distribution of cladocerans in arctic Greenland lakes – impact of macrophytes and fish. *Hydrobiologia* 442: 104-116
- Lellák J., Kubiček F., 1991: *Hydrobiologie*. Univerzita Karlova
- Lougheed L. V., Crosbie B., Chow-Fraser P., 1997: Prediction on the effect of common carp (*Cyprinus carpio*) exclusion on the water quality, zooplankton, and submergent macrophytes in a Great Lakes wetland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 1189-1197
- Rooney N., Kalff J., 2003: Submerged macrophyte-bed effects on water-column phosphorus, chlorophyll a and bacterial production. *Ecosystems* 6: 797-807
- Sagrario M. de los Á. G., Balseiro E., 2010: The role of macroinvertebrates and fish in regulating the provision by macrophytes of refugia for zooplankton in a warm temperate shallow lake. *Freshwater Biology* 55: 2153-2166
- Santos N. L., Agostinho A. A., Alcaraz C., Carol J., Santos F. G. N. A., Tedesco P., García-Berthou E., 2011: Artificial macrophytes as fish habitat in Mediterranean reservoir subjected to seasonal water level disturbances. *Aquatic Sciences* 73: 43-52
- Semenchenko, V. P., 2008: Role of macrophytes in the variability of zooplankton community structure in the littoral zone of shallow lakes. *Contemporary Problems of Ecology* 1: 257-262
- Scheffer M., Van Nes E. H., 2007: Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584: 455-466
- Schriver P., Bøgestrand J., Jeppesen E., Søndergaard M., 1995: Impact of submerged macrophytes on fish – zooplankton – phytoplankton interactions: large – scale enclosure experiments in shallow eutrophic lake. *Freshwater Biology* 33: 255-270
- Tavşanoğlu Ü. N., Cakiroğlu A. I., Erdoğan Ş., Meerhoff M., Jeppesen E., Beklioglu M., 2012: Sediments, not plants, offer the preferred refuge for *Daphnia* against fish predation in Mediterranean shallow lakes: an experimental demonstration. *Freshwater Biology* 57: 795-802

- Van de Meutter F., Stocks R., Meester L. D., 2005: Spatial avoidance of littoral and pelagic invertebrate predators by *Daphnia*. *Oecologia* 142: 489-499
- Vrba J., Kopáček J., Fott J., Kohout L., Nedbalová L., Pražáková M., Soldán T., Schaumburg J., 2003: Long-term studies (1871-2000) on acidification and recovery of lakes in the Bohemian Forest (central Europe). *The Science of the Total Environment* 310: 73-85
- Wojtal A., Frankiewicz P., Andziak M., Zalewski M., 2007: The influence of invertebrate predators on *Daphnia* spatial distribution and survival in laboratory experiments: support for *Daphnia* horizontal migration in shallow lakes. *International Review of Hydrobiology* 92: 23-32