

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



**Vliv faktorů prostředí na vybrané skupiny
ohrožených bentických bezobratlých ve vodních
tocích ČR**

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Ing. Karel Douša

VEDOUCÍ PRÁCE: Doc. Mgr. Jan Růžička, Ph.D.

2011

Obsah:

OBSAH:	2
PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY	3
LIMITACE VELKÝCH MLŽŮ JAKOSTÍ VODY SE ZAMĚŘENÍM NA VLIV DUSIČNANOVÉHO DUSÍKU	4
LIMITACE VELKÝCH MLŽŮ DOSTUPNOSTÍ HOSTITELSKÝCH RYB SE ZAMĚŘENÍM NA VELEVRUBA TUPÉHO (UNIO CRASSUS)	5
VÝZNAM HOSTITELSKÉ SPECIFICITY PRO ŠÍŘENÍ DRUHU ANODONTA WOODIANA.....	6
SOUVISLOST MEZI VÝSKYTEM RAKŮ A JAKOSTÍ VODY V ČESKÉ REPUBLICE	7
ZÁKLADNÍ ZÁMĚR A CÍLE PRÁCE	8
SPECIFICKÉ CÍLE PRÁCE:	8
PŘEDPOKLÁDANÉ METODY ŘEŠENÍ	9
LIMITACE VELKÝCH MLŽŮ JAKOSTÍ VODY SE ZAMĚŘENÍM NA VLIV DUSIČNANOVÉHO DUSÍKU	9
SOUVISLOST MEZI VÝSKYTEM RAKŮ A JAKOSTÍ VODY V ČESKÉ REPUBLICE.....	10
LIMITACE VELKÝCH MLŽŮ DOSTUPNOSTÍ HOSTITELSKÝCH RYB SE ZAMĚŘENÍM NA VELEVRUBA TUPÉHO (UNIO CRASSUS)	10
VÝZNAM HOSTITELSKÉ SPECIFICITY PRO ŠÍŘENÍ DRUHU ANODONTA WOODIANA.....	11
PŘÍNOS A OČEKÁVANÉ VÝSLEDKY	11
JIŽ REALIZOVANÉ A PŘEDPOKLÁDANÉ PUBLIKAČNÍ VÝSTUPY:	12
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	14

Přehled o současném stavu problematiky

Sladkovodní prostředí je pod narůstajícím působením lidských aktivit, které mění jeho kvalitativní vlastnosti (Carpenter *et al.* 1992) a současně dochází také k výrazným změnám ve struktuře společenstev organismů (Dudgeon *et al.* 2006). Bezobratlí živočichové představují z tohoto pohledu významnou složku prostředí, která je jedním z klíčových článků trofického řetězce a tedy i koloběhu živin ve vodním prostředí (Covich *et al.* 1999). V oblasti studia faktorů, které ovlivňují strukturu a funkci společenstev vodních bezobratlých v tekoucích vodách, probíhá v současnosti intenzivní výzkum zejména z hlediska vazby druhů na fyzikálně-chemické parametry vody, průtokový režim, habitatové vlastnosti a mezidruhové interakce. Výzkum v této oblasti je motivován zejména rostoucí potřebou ochrany biodiverzity a ekosystémových funkcí tekoucích vod (Hooper *et al.* 2005).

Připravovaná disertační práce se zabývá především dvěma významnými skupinami vodních bezobratlých, a sice velkými mlži a raky. Tyto dvě skupiny patří mezi funkčně velmi významné složky vodního prostředí (Nyström *et al.* 1996; Vaughn & Hakenkamp 2001) a vzhledem k jejich citlivosti k narušení vodního prostředí je lze také považovat za souhrnné bioindikátory stavu vod (Fureder *et al.* 2003; Webb *et al.* 2008). Zároveň mohou být považovány vzhledem k mnohostranným vazbám na jednotlivé složky vodního prostředí a jejich kulturně-historické hodnotě za účinné deštníkové druhy („Umbrella species“) pro ochranu vodního prostředí (Caro 2010).

Druhové složení bezobratlých živočichů ve vodních tocích České republiky prochází rychlým vývojem, který je určován zejména antropogenními vlivy. Vedle šíření některých druhů v posledních desetiletích můžeme pozorovat také úbytek a vymizení celých taxonomických skupin z historických oblastí výskytu. Domácí zástupci velkých mlžů a raků

patří z tohoto pohledu k nejohroženějším skupinám a velmi citlivě reagují na změny vodního prostředí (Beran 2002; Štambergová *et al.* 2009). Navzdory tomu je skupina velkých mlžů (zejména čeledi Unionidae) v současné době ve střední Evropě velmi málo studována a zásadní práce pocházejí z oblasti Severní Ameriky, která je centrem jejich druhové diverzity. Současné poznání biologie a ekologie našich zástupců tedy poskytuje jen neúplné podklady pro efektivní ochranu těchto druhů. Naopak druhé modelové skupině, rakům, je v našich podmínkách věnováno více pozornosti a zejména problematika tzv. račího moru je na špičkové mezinárodní úrovni (Kozubíková *et al.* 2008; 2009). Přesto existuje řada otázek a například existuje jen málo dat o limitaci výskytu raků jakostí vody.

Limitace velkých mlžů jakostí vody se zaměřením na vliv dusičnanového dusíku

Populace velkých sladkovodních mlžů (řád Unionoida) zaznamenaly celosvětově mohutný ústup v druhé polovině 20. století (Richter *et al.* 1997; Lydeard *et al.* 2004; Bogan 2008; Christian and Harris 2008). Ve střední Evropě vymizela řada druhů z celých velkých oblastí svého původního výskytu a početnost jedinců na zbývajících lokalitách se významně snížila (např. Bauer and Wachtler 2001). Mlži řádu Unionoida jsou ve střední Evropě zastoupeni 7 původními druhy (škeble říční – *Anodonta anatina*, š. rybníčná – *A. cygnea*, škeblička plochá – *Pseudanodonta complanata*, velevrub tupý – *Unio crassus*, v. malířský – *U. pictorum*, v. nadmutý – *U. tumidus*, perlorodka říční – *Margaritifera margaritifera*) (Beran 2002). Jsou to bentičtí filtrátoři obývající tekoucí i stojaté vody. Populace domácích zástupců citlivě reagují na narušení prostředí a 5 z našich 7 druhů patří mezi zvláště chráněné druhy. Za hlavní limitující faktory pro výskyt velkých mlžů je považováno znečištění vody (např. Goudreau *et al.* 1993; Augspurger *et al.* 2003) a fyzická degradace stanovišť (např. Bogan 1993; Watters 1996; Brainwood *et al.* 2006). Několik recentních studií ze střední Evropy zaznamenalo

souvislost mezi narušeným stavem populací velkých mlžů a zvýšenými hodnotami koncentrace dusičnanového dusíku (N-NO_3^-) v tekoucích vodách (Bauer 1988; Hochwald 2001; Köhler 2006; Zettler and Jueg 2007). Kvůli nadměrnému přísunu dusíku do vodních toků z plošných i bodových zdrojů znečištění mohou přesáhnout hodnoty koncentrace N-NO_3^- v povrchových vodách i 25 mg.l^{-1} (Camargo *et al.* 2005). Naproti tomu, na lokalitách s prosperujícími populacemi velevruba tupého (*Unio crassus*) byly zaznamenány hodnoty maximálně do $2,0 - 2,3 \text{ mg.l}^{-1}$ (Hochwald 2001; Köhler 2006; Zettler and Jueg 2007), a pouze do $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ na lokalitách perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*) (Bauer 1988; Bílý & Simon 2007). Vzhledem k tomu, že oba tyto druhy jsou celoevropsky ohrožené a jsou předmětem značného ochrannářského úsilí (Buddensiek 1995; Cosgrove & Hastie 2001; Perez-Quintero 2007), může porozumění významu nitrátu v limitaci těchto druhů napomoci zacílení ochrany. Přesto dosud chyběla souborná studie zahrnující více druhů mlžů a nebyla k dispozici žádná data o toxicitě dusičnanů pro tuto skupinu organismů (Köhler 2006). Tato problematika je jedním z hlavních témat řešených v rámci disertační práce.

Limitace velkých mlžů dostupností hostitelských ryb se zaměřením na velevruba tupého (Unio crassus)

Sladkovodní mlži nadčeledi Unionoidea mají krátkodobé larvální stadium (glochidium), které se vyvíjí zpravidla jako obligatorní parazit ryb (Kat 1984). Glochidia většiny druhů se mohou úspěšně vyvinout v juvenilního jedince pouze na některých druzích hostitelských ryb, což ovlivňuje jejich reprodukční úspěšnost a schopnost šíření (Jansen *et al.* 2001; Strayer 2008). V současné době narůstá výzkum v oblasti možné limitace velkých mlžů dostupností hostitelských ryb (McNichols *et al.* 2010; Schwalb *et al.* 2011; Spooner *et al.* 2011). Antropogenní tlak na sladkovodní prostředí ovlivňuje jak velké mlže, tak jejich rybí hostitele, což vede k celosvětovému snižování biodiverzity obou těchto skupin (Spooner *et al.* 2011).

Navíc mohou být velcí mlži také nepřímo ovlivněni narušením rybích společenstev, což je určováno hostitelsko-parazitickou kompatibilitou jednotlivých druhů.

Připravovaná disertační práce se zabývá hostitelským spektrem velevruba tupého (*Unio crassus* Philipsson, 1788). Velevrub tupý je ohrožený evropský druh obývajícím tekoucí vody od největších řek po drobné potoky, což je umožněno zřejmě jeho značnou fenotypovou plasticitou (Douda 2007; Hochwald 2001; Zettler & Jueg 2007). Tento druh prodělal rozsáhlý ústup v západní i střední Evropě v průběhu druhé poloviny 20. století. Je pravděpodobné, že přinejmenším na některých lokalitách mohou mít environmentální změny ovlivňující hostitele více negativní vliv na tento druh, než-li jejich přímé působení (Engel & Wachtler 1989).

Velevrub tupý se na svých lokalitách výskytu setkává s širokým spektrem druhů ryb, nicméně, předchozí experimentální studie ukázaly, že úspěšný vývoj glochidií v juvenilní jedince může probíhat pouze na omezeném souboru druhů (shrnutí v práci Hochwald 1997). Hostitelská specifita tak může mít zásadní vliv na jeho populační dynamiku, rozšíření a ochranu. Navzdory potenciálnímu významu hostitelské specifity pro ochranu v. tupého v Evropě neexistují souborná data o transformační úspěšnosti jeho glochidií na jednotlivých druzích ryb a na území České republiky dosud nebyla tato problematika vůbec řešena. Význam limitace velevruba tupého dostupností hostitelských ryb je předmětem výzkumu připravované disertační práce.

Význam hostitelské specifity pro šíření druhu *Anodonta woodiana*

Několik druhů sladkovodních mlžů patří mezi nejproblematictější světové invazní druhy (Higgins & Vander Zanden 2010). Například současné invaze druhů *Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea* a *Limnoperna fortunei* mají kapacitu zcela pozměnit vodní prostředí v nově osídlených oblastech, což je způsobeno především jejich filtrační aktivitou (Higgins &

Vander Zanden 2010; Karatayev *et al.* 2007b; Sousa *et al.* 2009; Strayer 2009). Tyto druhy současně velmi intenzivně ovlivnily domácí společenstva, a to především proměnou biotopů a kompeticí o zdroje (Karatayev *et al.* 1997; Sousa *et al.* 2008b; Ward & Ricciardi 2007). Naprostá většina invazních druhů mlžů má jednoduchý životní cyklus, v rámci kterého produkují volně šířitelné larvy nebo přímo juvenilní jedince, což přispívá jejich dynamice šíření. Přesto existuje jeden druh invazního mlže, který se úspěšně šíří do mnoha oblastí světa navzdory tomu, že má ve svém vývoji zařazeno obligatorně parazitické stádium. Tento druh *Anodonta woodiana* patří do nadčeledi Unionoidea, která naopak patří celosvětově mezi nejohroženější skupiny vodních bezobratlých. Disertační práce se zabývá příčinami invaze tohoto druhu o jeho potenciálním vlivem na domácí společenstva velkých mlžů. Řešena je zejména otázka významu hostitelské specifity pro dostupnost hostitelských zdrojů v nově osídlovaných oblastech.

Souvislost mezi výskytem raků a jakostí vody v České republice

Raci (nadčeď Astacoidea) jsou v našich podmínkách zastoupeni dvěma původními (rak říční – *Astacus astacus*, rak kamenáč – *Austropotamobius torrentium*) a třemi invazními druhy (rak pruhovaný – *Orconectes limosus*, rak signální – *Pacifastacus leniusculus*, rak bahenní – *Astacus leptodactylus*) (Štambergová *et al.* 2009). Tito bentičtí omnivoři obývají tekoucí i stojaté vody. Naše domácí druhy jsou ohrožovány celou řadou negativních vlivů jako jsou patogeny šířené prostřednictvím invazních druhů (Kozubíková *et al.* 2009), technické úpravy toků a znečištění vody (Štambergová *et al.* 2009). Tyto vlivy vedly společně k celkovému ústupu populací našich původních druhů raků a tak jsou oba původní druhy na území České republiky zařazeny v kategorii kriticky ohrožených druhů. Z hlediska limitace raků jakostí vody bylo mnoho prací věnováno studiu akutní toxicity nejrozličnějších látek na jednotlivá vývojová stadia raků v laboratorních podmínkách (např. Alexopoulos *et al.* 2003; Ward *et al.*

2006; Guner 2007; Yildiz *et al.* 2004). Naproti tomu existuje jen málo studií, které se zabývají souvislostí mezi výskytem raků a jakostí vody v jejich přirozených habitatech a na dostatečné škále podmínek prostředí (Bohl 1987; Foster 1995; Trouilhé *et al.* 2007). Připravovaná disertační práce se zabývá touto problematikou s využitím dat o jakosti vody a distribuci raků v podmínkách České republiky.

Základní záměr a cíle práce

Tématem práce je studium ekologických vazeb mezi ohroženými druhy bentických bezobratlých a podmínkami prostředí v různých prostorových měřítkách s ohledem na faktory limitující výskyt druhů. Práce se zabývá především problematikou vlivu jakosti vody na populace velkých mlžů a raků a u velkých mlžů také řeší otázku limitace dostupností hostitelů.

Specifické cíle práce:

a) limitace velkých mlžů jakostí vody se zaměřením na vliv dusičnanového dusíku

Cílem je vyhodnotit souvislost mezi výskytem středoevropských velkých mlžů a koncentrací N-NO_3^- a následně experimentálně testovat vliv dusičnanů na juvenilní stádia těchto druhů. U druhu *Unio crassus* bude řešena také souvislost výskytu druhu s dalšími jakostními parametry vody včetně vlivu na růstové vlastnosti jedinců.

b) souvislost mezi výskytem raků a jakostí vody v České republice

Cílem práce je vyhodnotit souvislost mezi výskytem raků a jakostí vody v České republice. Kolektiv autorů se zaměřuje zejména na identifikaci rozdílů mezi jednotlivými druhy a následně bude popsán vztah mezi výskytem raka říčního a gradienty koncentrace vybraných jakostních ukazatelů.

c) limitace velkých mlžů dostupností hostitelských ryb se zaměřením na velevruba tupého (*Unio crassus*)

Cílem je vyhodnotit hostitelsko-parazitickou kompatibilitu glochidií velevruba tupého a jeho potenciálních hostitelských druhů ryb. Získaná data budou následně využita pro vyhodnocení významu limitace velevruba tupého dostupností hostitelských ryb.

d) význam hostitelské specifity pro šíření druhu *Anodonta woodiana*

Cílem je identifikovat potenciální příčiny současné invaze *A. woodiana* v Evropě. Zejména bude vyhodnocena hostitelská specifita tohoto druhu a její potenciální význam pro průběh invaze.

Předpokládané metody řešení

V rámci disertační práce bude prováděno hodnocení dat o distribuci druhů v závislosti na gradientech prostředí, experimentální testy senzitivity vůči vybraným faktorů a experimentální hodnocení hostitelských vazeb.

Limitace velkých mlžů jakostí vody se zaměřením na vliv dusičnanového dusíku

Bude vyhodnocena souvislost mezi výskytem pěti střeoevropských druhů velkých mlžů (*Anodonta anatina*, *Pseudanodonta complanata*, *Unio pictorum*, *U. tumidus* a *U. crassus*) a gradientem koncentrace N-NO_3^- . Data o distribuci druhů vzorkovaná v rámci disertace v síti 36 úseků vodních toků v povodí Lužnice budou vyhodnocena v kontextu dat o jakosti vody z profilů monitoringu jakosti povrchových vod (Český hydrometeorologický ústav, Povodí Vltavy s.p., Zemědělská vodohospodářská správa). Pro vyhodnocení bude použita logistická regrese (Peeters & Gardeniers 1998). Následně bude stanovena akutní toxicita N-NO_3^- pro

juvenilní jedince dvou druhů velkých mlžů: škeble říční, která je dosud běžně rozšířeným druhem a velevrubem tupým, který významně ustoupil z většiny lokalit výskytu (a na těchto lokalitách jsou zaznamenávány zvýšené hodnoty N-NO_3^-). Budou použity standardní metody hodnocení toxicity pro juvenilní jedince velkých mlžů (Cope *et al.* 2008).

Souvislost mezi výskytem raků a jakostí vody v České republice

V této studii bude využito výsledků mapování rozšíření raků, které proběhlo v letech 2004 – 2006 pod záštitou Agentury ochrany přírody a krajiny ČR. Jedná se o databázi s více než 10000 vzorkovacími místy, která pokrývají většinu území České republiky. Tato data budou propojena s údaji o jakosti vody z profilů stávajících programů monitoringu na tekoucích vodách. Data budou vyhodnocena pomocí mnohorozměrných metod (CCA) (Jongman *et al.* 1987) a logistické regrese (Peeters & Gardeniers 1998). Budou testovány rozdíly mezi jednotlivými druhy raků a také výskyt druhů na gradientech podmínek jakosti vody.

Limitace velkých mlžů dostupností hostitelských ryb se zaměřením na velevruba tupého (*Unio crassus*)

V této studii bude testována hostitelsko-parazitická kompatibilita mezi velevrubem tupým (*U. crassus*) a jeho potenciálními rybími hostiteli. Nejdříve bude popsán vývoj glochidií na vybraném souboru hostitelských druhů ryb, pomocí hodnocení transformační úspěšnosti glochidií a časového průběhu jejich vývoje v rámci experimentálních invadací glochidiemi (Haag & Warren 1997). Jednotlivé druhy ryb budou vyhodnoceny z hlediska potenciální využitelnosti pro velevruba tupého a rozděleny na primární a marginální hostitele (Strayer 2008). Následně bude vyhodnocena dostupnost primárních hostitelských druhů ryb na lokalitách s funkčními a vyhynulými populacemi velevruba tupého v ČR. Data o výskytu ryb budou získána standardními elektrolovnými metodami ve spolupráci s VÚV T.G.M., v.v.i..

Význam hostitelské specifity pro šíření druhu *Anodonta woodiana*

Nejdříve bude experimentálně testována hostitelsko-parazitická kompatibilita mezi škeblí asijskou (*Anodonta woodiana*) a vybranými potenciálními hostitelskými druhy ryb (Haag & Warren 1997). Hodnoceny budou jak východoasijské druhy ryb (sympatrické se škeblí asijskou v jejím domácím areálu), tak několik běžných evropských druhů ryb. Hodnocena bude míra invadovanosti, délka parazitické fáze a zejména transformační úspěšnost glochidií na jednotlivých druzích ryb. Do studie budou zahrnuta také data Ústavu biologie obratlovců (Milan Vrtílek, Martin Reichard) popisující sezónní dynamiku produkce glochidií v podmínkách středoevropské nížinné řeky. Výsledky budou diskutovány s ohledem na potenciální vývoj šíření a vliv invaze škeble asijské na domácí společenstva, zejména mlžů čeledi Unionidae.

Přínos a očekávané výsledky

Disertační práce poskytne informace o vybraných aspektech biologie ohrožených druhů vodních bezobratlých, zejména s ohledem na faktory limitující výskyt druhů. Výsledky práce najdou uplatnění zejména v oboru ochrany biologické rozmanitosti. Zobecnitelné poznatky bude možné uplatnit také v dalších oborech jako je biomonitoring, ekotoxikologie, imunologie.

Hlavním přínosem práce budou nové informace v následujících specifických oblastech: (1) otázka kauzálního působení dusičnanového dusíku na mlže čeledi Unionidae; (2) problematika limitace raků jakostí vody na území ČR; (3) význam dostupnosti vhodných hostitelských ryb pro ústup velevruba tupého a (4) význam hostitelské specifity pro šíření invazního druhu škeble asijská v Evropě.

Již realizované a předpokládané publikační výstupy:

Práce v oblasti limitace bentických bezobratlých abiotickými podmínkami prostředí:

- Douda, K. (2010): Effects of nitrate nitrogen pollution on Central European unionid bivalves revealed by distributional data and acute toxicity testing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20: 189-197.
- Douda, K. (2007): The occurrence and growth of *Unio crassus* (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) in Lužnice River basin in respect to water quality. *Acta Universitatis Carolinae, Environmentalica* 21: 57-63.
- Svobodová, J., Douda, K., Štambergová, M., Pícek, J., Vlach, P., Fischer, D. (2011, submitted): Water quality requirements of native and invasive crayfish in streams in the Czech Republic. *Hydrobiologia*. (submitted)
- Svobodová, J., Douda, K., Vlach, P. (2009): Souvislost mezi výskytem raků a jakostí vody v České republice. *Bulletin VÚRH Vodňany* 45. s. 100-109.
- Svobodová, J., Štambergová, M., Vlach, P., Pícek, J., Douda, K., Beránková, M. (2008): Vliv jakosti vody na populace raků v České republice – porovnání s legislativou ČR. *VTEI*, příloha Vodního hospodářství 12, roč. 50 (6): 1-5.
- Douda, K., Hronek, J., Beran, L., Bílý, M. (2011, submitted) Vodní měkkýši Vltavy v Praze – habitatové nároky a populační dynamika v prostředí silně modifikovaného vodního toku. *Bohemia Centralis* (submitted)

Práce v oblasti limitace velkých mlžů prostřednictvím hostitelsko-parazitických vazeb:

- Douda, K., M. Vrtílek, O. Slavík, and M. Reichard (accepted 2011). The role of host specificity in explaining the invasion success of the freshwater mussel *Anodonta woodiana* in Europe. *Biological Invasions*, DOI: 10.1007/s10530-011-9989-7.
- Douda, K., Horký, P., Bílý, M. (in prep. 2011): The effects of host fish quality and availability on the extirpation risk of endangered thick-shelled river mussel.

Seznam použité literatury

Alexopoulos, E., C.R. McCrohan, J.J. Powell, R. Jugdaohsingh & K.N. White, 2003. Bioavailability and toxicity of freshly neutralised aluminium to the freshwater crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 45:509-514.

Augspurger, T., Keller, A.E., Black, M.C., Cope, W.G., and Dwyer, F.J., (2003). Water quality guidance for protection of freshwater mussels (Unionidae) from ammonia exposure. *Environmental Toxicology and Chemistry* 22(11):2569-2575.

Bauer, G., 1988. Threats to the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L in Central Europe. *Biological Conservation* 45:239–253.

Bauer, G., Wachtler, K., 2001. Environmental relationships of naiads: threats, impact on the ecosystem, indicator function. In Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida, Bauer G, Wachtler K (eds). Springer: Heidelberg, Germany; 311–315.

Beran, L., 2002. Vodní měkkýši ČR - rozšíření a jeho změny, stanoviště, šíření a ochrana, červený seznam, *Sborník přírodovědného klubu v Uh. Hradišti*, Supplementum 10.

Bílý, M., Simon, O., 2007. Water quality issues in the protection of oligotrophic streams with the occurrence of pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in the Czech Republic. *Acta Universitatis Carolinae, Environmentalica* 21:21–30.

Bogan, A.E., 1993. Fresh-water bivalve extinctions (Mollusca, Unionoida) – a search for causes. *American Zoologist* 33(6):599-609.

Bogan, A.E., 2008. Global diversity of freshwater mussels (Mollusca, Bivalvia) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:139-147.

Bohl, E., 1987. Comparative studies on crayfish brooks in Bavaria (*Astacus astacus* L., *Austropotamobius torrentium* Schr.). *Freshwater Crayfish* 7:287-294.

Brainwood, M., Burgin, S., and Byrne, M., 2006. Is the decline of freshwater mussel populations in a regulated coastal river in south-eastern Australia linked with human modification of habitat? *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 16(5):501-516.

Buddensiek, V., 1995. The culture of juvenile freshwater pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. in cages: a contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirements. *Biological Conservation* 74:33–40.

Camargo, J.A., Alonso, A., Salamanca, A., 2005. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* 58:1255–1267.

Caro, T. 2010. Conservation by Proxy: Indicator, Umbrella, Keystone, Flagship, and Other Surrogate Species. Island Press. University of California, Davis, USA

- Carpenter, S.R., Fisher, S.G., Grimm, N.B. & Kitchell, J.F., 1992. Global Change and Freshwater Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23:119-139.
- Christian, A.D. and Harris, J.L. 2008. An introduction to directions in freshwater mollusk conservation: molecules to ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 27:345-348.
- Cope, W.G., R.B. Bringolf, D.B. Buchwalter, T.J. Newton, C.G. Ingersoll, N. Wang, T. Augspurger, F.J. Dwyer, M.C. Barnhart, R.J. Neves, & E. Hammer, 2008. Differential exposure, duration, and sensitivity of unionoidean bivalve life stages to environmental contaminants. *Journal of the North American Benthological Society* 27:451-462.
- Cosgrove, P.J. and Hastie, L.C., 2001. Conservation of threatened freshwater pearl mussel populations: river management, mussel translocation and conflict resolution. *Biological Conservation* 99:183-190.
- Covich, A.P., Palmer, M.A. & Cowl, T.A., 1999. The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems: Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. *BioScience* 49:119-127.
- Douda, K. 2007. The Occurrence and Growth of *Unio crassus* (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) in Lužnice River Basin in Respect to Water Quality. *Acta Universitatis Carolinae, Environmentalica* 21:57-63.
- Dudgeon, D., A.H. Arthington, M.O. Gessner, Z.I. Kawabata, D.J. Knowler, C. que, R.J. Naiman, A.H. Prieur-Richard, D. Soto, M.L.J. Stiassny, & C.A. Sullivan, 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81:163-182.
- Engel, H. and Wachtler, K., 1989. Some peculiarities in developmental biology of two forms of the fresh-water bivalve *Unio crassus* in Northern Germany. *Archiv für Hydrobiologie* 115:441-450.
- Foster, J., 1995. Factors influencing the distribution and abundance of the crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) in Wales and the Marches, U.K. *Freshwater Crayfish* 8:78-98.
- Fureder, L., B. Oberkofler, R. Hanel, J. Leiter, & B. Thaler. 2003. The freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* in South Tyrol: Heritage species and bioindicator. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture* 81-95.
- Goudreau, S. E., Neves, R. J., and Sheehan, R. J., 1993. Effects of waste-water treatment-plant effluents on fresh-water mollusks in the upper Clinch River, Virginia, USA. *Hydrobiologia* 252:211-230.
- Guner, U., 2007. Freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) accumulates and depurates copper. *Environmental Monitoring and Assessment* 133:365-369.
- Haag, W.R., & M.L. Warren. 1997. Host fishes and reproductive biology of 6 freshwater mussel species from the Mobile Basin, USA. *Journal of the North American Benthological Society* 16:576-585.
- Hochwald, S., 1997. Populationsökologie der Bachmuschel (*Unio crassus*). *Bayreuther Forum Ökologie* 50:1-171.

Hochwald, S., 2001. Plasticity of life-history traits in *Unio crassus*. Pages 127-141 in G. Bauer, & K. Wachtler editors. Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Hooper, D.U., F.S. Chapin, J.J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J.H. Lawton, D.M. Lodge, M. Loreau, S. Naeem, B. Schmid, H. Setälä, A.J. Symstad, J. Vandermeer, & D.A. Wardle, 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75:3-35.

Jansen, W., G. Bauer, & Zahner-Meike E. 2001. Glochidial mortality in freshwater mussels. in G. Bauer, & K. Wachtler editors. Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Jongman R.H.G., T. Braak, & O.F.R. van Tongeren. 1987. Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc.

Karatayev, A.Y., Burlakova, L.E., and Padilla, D.K., 1997. The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in eastern Europe. *Journal of Shellfish Research* 16:187-203.

Karatayev, A.Y., Padilla, D.K., Minchin, D., Boltovskoy, D., and Burlakova, L. E., 2007. Changes in global economies and trade: the potential spread of exotic freshwater bivalves. *Biological Invasions* 9:161-180.

Kat, P.W., 1984. Parasitism and the Unionacea (Bivalvia). *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 59:189-207.

Köhler, R., 2006. Observations on impaired vitality of *Unio crassus* (Bivalvia: Najadae) populations in conjunction with elevated nitrate concentration in running waters. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 34:346-348.

Kozubíková, E., A. Petrusek, Z. Ďuriš, M. P. Martín, J. Diéguez-Urbeondo, & B. Oidtmann, 2008. The old menace is back: recent crayfish plague outbreaks in the Czech Republic. *Aquaculture* 274:208-217.

Kozubíková, E., L. Filipová, P. Kozák, Z. Ďuriš, M. P. Martín, J. Diéguez-Urbeondo B. Oidtmann, A. Petrusek, 2009. Prevalence of the crayfish plague pathogen *Aphanomyces astaci* in American invasive crayfishes in the Czech Republic. *Conservation Biology* 5:1204-1213.

Lydeard, C., Cowie, R.H., Ponder, W.F., Bogan, A.E., Bouchet, P., Clark, S.A., Cummings, K.S., Frest, T.J., Gargominy, O., Herbert, D.G., Hershler, R., Perez, K.E., Roth, B., Seddon, M., Strong, E.E., and Thompson, F.G., 2004. The global decline of nonmarine mollusks. *Bioscience* 54:321-330.

McNichols, K.A., G.L. Mackie, & J.D. Ackerman, 2010. Host fish quality may explain the status of endangered *Epioblasma torulosa rangiana* and *Lampsilis fasciola* (Bivalvia: Unionidae) in Canada. *Journal of the North American Benthological Society* 30:60-70.

Momota W.T., 1995. Redefining the role of crayfish in aquatic ecosystems. *Reviews in Fisheries Science* 3:33-63.

Nyström, P.E., C.H.R.I. Brönmark & W.I.L.H. Granéli, 1996. Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish? *Freshwater Biology* 36:631-646.

Peeters, E.T.H.M., & J.J.P. Gardeniers. 1998. Logistic regression as a tool for defining habitat requirements of two common gammarids. *Freshwater Biology* 39:605-615.

Perez-Quintero, J.C., 2007. Diversity, habitat use and conservation of freshwater molluscs in the lower Guadiana River basin (SW Iberian Peninsula). *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 17:485-501.

Richter, B.D., Braun, D.P., Mendelson, M.A., and Master, L.L., 1997. Threats to imperiled freshwater fauna. *Conservation Biology* 11:1081-1093.

Schwalb, A.N., K.A.R.L. Cottenie, M.S. Poos, & J.D. Ackerman, 2011. Dispersal limitation of unionid mussels and implications for their conservation. *Freshwater Biology*. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2011.02587.x

Sousa, R., Antunes, C., and Guilhermino, L., 2008. Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) in aquatic ecosystems: an overview. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* 44:85-94.

Sousa, R., Gutierrez, J.L., and Aldridge, D.C., 2009. Non-indigenous invasive bivalves as ecosystem engineers. *Biological Invasions* 11:2367-2385.

Spooner, D.E., M.A. Xenopoulos, C.H.R.I. Schneider, & D.A. Woolnough, 2011. Coextirpation of host-affiliate relationships in rivers: the role of climate change, water withdrawal, and host-specificity. *Global Change Biology* 17:1720-1732.

Štambergová, M., J. Svobodová & E. Kozubíková, 2009. Raci v České republice. AOPK ČR Praha, 255 pp.

Strayer D.L., 2008. Freshwater mussel ecology: a multifactor approach to distribution and abundance. University of California Press, Berkley, California.

Strayer, D.L. (2009). Twenty years of zebra mussels: lessons from the mollusk that made headlines. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:135-141.

Trouilhé, M.C., C. Souty-Grosset, F. Grandjean & B. Parinet, 2007. Physical and chemical water requirements of the white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*) in western France. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 17: 520-538.

Vaughn, C.C., & C.C. Hakenkamp, 2001. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* 46:1431-1446.

Ward, J.M. and Ricciardi, A., 2007. Impacts of Dreissena invasions on benthic macroinvertebrate communities: a meta-analysis. *Diversity and Distributions* 13:155-165.

Ward, R.J., C.R. McCrohan & K.N. White, 2006. Influence of aqueous aluminium on the immune system of the freshwater crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *Aquatic Toxicology* 77:222-8.

Watters, G. T., 1996. Small dams as barriers to freshwater mussels (Bivalvia, Unionoida) and their hosts. *Biological Conservation* 75:79-85.

Webb, K., C. Craft, & E. Elswick, 2008. The evaluation of the freshwater western pearl mussel, *Margaritifera falcata* (Gould, 1850), as a bioindicator through the analysis of metal partitioning and bioaccumulation. *Northwest Science* 82:163-173.

Yildiz, H.Y. & A.C.K. Benli, 2004. Nitrite toxicity to crayfish, *Astacus leptodactylus*, the effects of sublethal nitrite exposure on hemolymph nitrite, total hemocyte counts, and hemolymph glucose. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 59:370-375.

Zettler, M.L., & U.Jueg, 2007. The situation of the freshwater mussel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in north-east Germany and its monitoring in terms of the Habitats Directive. *Mollusca* 25:165-174.