

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Miloš Buřič**

Studijní program: M 4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Rybnářství

Název tématu: **Studium reprodukce invazního raka pruhovaného (*Orconectes limosus*).**

Zásady pro vypracování:

(v zásadách pro vypracování uveďte cíl práce a metodický postup)

Na území ČR se v současné době vyskytuje v přírodních podmínkách 5 druhů raků. Z toho jsou dva druhy původní, a to rak říční *Astacus astacus* (L.) a rak kamenáč *Austropotamobius torrentium* (Schr.). Dalším druhem je rak bahenní *Astacus leptodactylus* Esch., který byl na naše území dovezen na přelomu 19. a 20. století. Další 2 druhy jsou raci původem ze Severní Ameriky a jsou to rak signální *Pacifastacus leniusculus* (D.) a rak pruhovaný *Orconectes limosus* Raf.

O. limosus je relativně malého vzrůstu. Na rozdíl od našich druhů ale rychleji roste a dříve pohlavně dospívá. Mnoho autorů uvádí, že rak pruhovaný snadněji migruje a kolonizuje nové lokality, protože je brzy pohlavně dospělý, plodný, odolný a agresivní. Samice vykazují výrazně vyšší potenciální plodnost vztaženou k délce těla oproti evropským druhům raků. Ke kopulaci dochází na podzim. Někteří badatelé upozorňují na druhé, jarní období kopulace. K oplodnění dochází na rozdíl od našich druhů raků uvnitř těla samice. Také zárodek se převážnou dobu vyvíjí uvnitř. Teprve na jaře asi měsíc před líhnutím samička upevňuje vajíčka na pleopody a vývoj zárodka se dokončuje vně těla.

Obsahem této práce bude sledování reprodukčních ukazatelů raka pruhovaného v laboratorních a přirozených podmínkách. Cílem bude zachytit období páření, kladení vajíček, zjistit absolutní, pleopodální a skutečnou plodnost samic, délku inkubace vajíček, ev. embryonální a postembryonální vývoj ráčat. Práce bude zahrnovat jednak terénní sledování a jednak laboratorní sledování v rybochovném objektu VÚRH JU.

Rozsah grafických prací: 5 – 15 tabulek a grafů

Rozsah průvodní zprávy: 30 – 40 stran

Seznam odborné literatury:

- Holdich, D.M. 2002. Biology of Freshwater Crayfish. Blackwell Science Ltd., Oxford.
Holdich, D.M. & Lowery, R.S. 1998. Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation. Croom Helm, London.
Freshwater Crayfish I – XIV. Proceedings of International Association of Astacology Conferences.
Kozák, P., Pokorný, J., Polícar, T., Kouřil, J.: Základní morfologické znaky k rozlišení raků v ČR, Vodňany, VÚRH JU, 1998, edice Metodik, č. 56, 20 s.
Dubský, K., Kouřil, J., Šrámek, V., 2003: Obecné rybnářství. Informatorium, Praha, 308 s.
Bulletin VÚRH JU, Vodňany, 3, 2001.
Bulletin VÚRH JU, Vodňany, 1-2, 2000.
Bulletin VÚRH JU, Vodňany, 3, 1998.
Krupauer V.: Raci, VŠZ v Praze, str. 3–63, 1980.
Krupauer V.: Zlatý rak, VŠZ v Praze, str. 5 – 107, 1968.
Dyk, Podubský, Stědronský: Základy našeho rybnářství, Státní zemědělské nakladatelství Praha, str. 45 – 47, 225, 448, 477 – 482, 1956.
Kostomarov B.: Rybnářství, Učební texty vysokých škol, VS zemědělská v Brně, str. 227 – 247, 1951.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Kozák, Ph.D.

Konzultant: Ing. Tomáš Polícar

Datum zadání diplomové práce: únor 2004

Termín odevzdání diplomové práce: 30. 4. 2006

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní obor
Studentská 13
370 05 České Budějovice

doc. Ing. Petr Hartvich, CSc.
Vedoucí katedry

doc. Ing. Magdalena Hrabánková, CSc.
Děkan

V Českých Budějovicích dne 9. 3. 2004

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

KATEDRA RYBÁŘSTVÍ



**STUDIUM REPRODUKCE INVAZNÍHO RAKA
PRUHOVANÉHO (*Orconectes limosus*)**

Diplomová práce

Knihovna JU - ZF



3114703801

Vypracoval:

Miloš Buřič

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavel Kozák, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, pouze s použitím uvedené literatury.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Zuzana".

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. P. Kozákovi Ph.D. za odborné vedení práce a pomoc při organizaci a vyhodnocování pokusů, konzultantovi Ing. T. Polícarovi Ph.D. a všem zaměstnancům Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického ve Vodňanech za jejich pomoc v průběhu pokusů.

Obsah:

1.Úvod	6
2.Literární přehled	7
2.1.Raci v ČR a jejich systematické zařazení	7
2.2.Původ a rozšíření raka pruhovaného	9
2.2.1.Původní oblast rozšíření.....	9
2.2.2.Introdukce do Evropy.....	9
2.2.3.Rozšíření v Evropě a ČR.....	10
2.2.4.Kontrola šíření nepůvodních druhů raků.....	12
2.3.Charakteristiky raka pruhovaného	13
2.3.1.Biologie.....	13
2.3.1.1.Popis.....	13
2.3.1.2.Životní cyklus a aktivita.....	13
2.3.1.3.Pohlavní soustava.....	16
2.3.1.4.Reprodukční schopnosti.....	19
2.3.2.Prostředí a potrava.....	20
2.3.3.Ekologické charakteristiky.....	21
2.3.4.Mezidruhové interakce.....	22
2.3.5.Biologický a komerční význam.....	23
3.Methodika práce	25
3.1.Pokus na zjištění potenciální plodnosti	25
3.2.Pokus na zjištění pleopodální plodnosti	26
3.3.Pokus na zjištění pracovní plodnosti	27
3.4.Pokus pro zjištění inkubační doby	27
3.5. Porovnání růstu a přežití raka pruhovaného a raka říčního	27
3.6.Terénní odlovy	28
4.Výsledky	30
4.1.Plodnosti raka pruhovaného	30
4.1.1.Potencionální plodnost.....	30
4.1.2.Pleopodální plodnost.....	33

4.1.3. Pracovní plodnost.....	34
4.2. Inkubační doba raka pruhovaného.....	36
4.3. Porovnání růstu a přežití raka pruhovaného a raka říčního	37
4.4. Terénní odlovy.....	42
4.4.1. Odchyty na vodním díle Kořensko.....	42
4.4.2. Odchyt na soutoku řek Vltavy a Malše.....	43
4.4.3. Kontrolní odlovy na přítocích Ú.N. Orlík.....	44
4.5. Biometrika raka pruhovaného.....	48
5. Diskuse.....	51
6. Závěr.....	58
7. Použitá literatura.....	61
8. Přílohy.....	70
8.1. Tabulky.....	70
8.2. Grafy.....	77
8.3. Fotopříloha.....	81
9. Výstupy.....	88
9.1. Publikace v recenzovaných časopisech.....	88
9.2. Publikace ve sbornících z domácích konferencí.....	111
9.3. Abstrakty.....	125
9.4. Postery.....	128

1. Úvod

Úvodem je třeba říci, že raci, jako jedni z největších sladkovodních bezobratlých, jsou významnou složkou sladkovodních ekosystémů z hlediska postavení v potravním řetězci či jejich velikosti a početnosti.

Na našem území se v dnešní době vyskytuje celkem pět druhů raků a z toho pouze dva druhy jsou druhy původními. Jsou to rak říční a rak kamenáč. Často je k našim původním rakům přiřazován i zdomácnělý rak bahenní. Zbylé dva druhy pocházejí ze Severní Ameriky a jsou to rak signální a rak pruhovaný.

Když nahlédneme do zákona 114/1992 Sb. a jeho prováděcí vyhlášky č.395/1992 zjistíme, že rak říční a rak kamenáč jsou druhy zařazené mezi kriticky ohrožené a jejich „zdomácnělý kolega“ rak bahenní je řazen do kategorie druhů ohrožených. Rak signální a rak pruhovaný jsou naopak druhy nebezpečnými. Pokud jde o raka pruhovaného, ten je navíc vysoce odolný proti silnému znečištění vod a význačný svou agresivitou, aktivitou i rychlým životním cyklem (Hamr, 2002). Rak pruhovaný je velkou hrozbou pro původní druhy raků jak v ČR tak v Evropě, a proto je třeba mu věnovat značnou pozornost.

Cílem této práce je prozkoumat reprodukční parametry a růstové schopnosti raka pruhovaného a tyto údaje srovnat s ostatními druhy vyskytujícími se v České republice. K dílčím cílům této práce patří zachycení období páření raka pruhovaného a období kladení vajíček, dále zjištění inkubační doby vajíček, zjištění absolutní (potenciální), pleopodální a pracovní (skutečné) plodnosti samic raka pruhovaného a dále sledování růstu během první vegetační sezóny ráčat raka pruhovaného včetně interakce s ráčaty raka říčního. Tyto úkoly byly řešeny v laboratorních podmínkách rybochovného objektu VÚRH ve Vodňanech. Práce se zároveň věnuje terénnímu sledování raka pruhovaného v místech jeho výskytu na lokalitách v ČR.

Výsledky práce by měly přispět k lepšímu poznání raka pruhovaného a jeho životního cyklu. Mohou posloužit i jako podklady pro další studie tohoto nepůvodního druhu a k ochraně stávajících populací původních druhů raků.

2. Literární přehled

2.1. Raci v ČR a jejich systematické zařazení

Na území ČR se v současné době vyskytuje v přírodních podmínkách pět druhů raků. Z toho jsou dva druhy původní, a to rak říční *Astacus astacus* (L.) a rak kamenáč *Austropotamobius torrentium* (Schr.). Dalšími druhy jsou: rak bahenní *Astacus leptodactylus* (Sch.) a dva severoamerické druhy rak signální *Pacifastacus leniusculus* (D.) a rak pruhovaný *Orconectes limosus* Raf. (Kozák *et al.*, 1998).

Rak říční je u nás zařazen mezi kriticky ohrožené živočichy, **rak kamenáč** je u nás na hranici naprostého vymizení. Po odeznění račího moru, někdy po první světové válce, bylo prováděno nahodilé doplňování raků z nezasazených lokalit (Labe a Dunaj). Mezi válkami se raci rozšířili na celé území ČR a běžně se vyskytovali prakticky ve všech čistších vodách. Úbytek populací raků nastal s prudkým rozvojem průmyslové a zemědělské výroby a s tím spojeným zvýšeným znečištěním vod. Radikální úbytek raků nastává v rozmezí let 1960 – 1985, kdy ke konci tohoto období raci zůstali jen na horních úsecích některých toků a jen výjimečně ve vodách stojatých (Holzer, 2000; Krupauer, 1968; Kozák *et al.*, 2002). Avšak v současnosti se dá říct, že rak říční je jedním z nejhojněji zastoupených raků ve vodách ČR, který obývá v tekoucích i stojatých vodách plošně celou republiku (Policar a Kozák, 2000).

Rak bahenní je často chybně považován za původní druh. Do našich vod byl ale importován z oblasti Haliče (v letech 1850 - 1892) jako náhrada za račím morem zdecimované populace raka říčního (Kozák *et al.*, 1998). Rak bahenní byl v 2. polovině 19. století vysazen u obcí Příbram, Blatná, Mladá Boleslav a Chlumeck nad Cidlinou. Jeho výskyt byl během r. 1999 – 2000 potvrzen na Příbramsku a Blatensku a byl zjištěn novodobě i na severní Moravě z oblasti Karvinska. Na dalších lokalitách v ČR se jeho výskyt ověřit nepodařilo (Policar a Kozák, 2000; Ďuriš, Horká, 2001).

Severoamerický **rak signální** se do České republiky dostal díky importu juvenilních jedinců ze Švédska v roce 1980 za účelem produkce tržních raků. Byl vysazen na několik lokalit na Moravě a postupem času byl záměrně rozšířen na více lokalit ČR (Holzer, 1989). Rak signální se dnes vyskytuje v rybnících u Velkého Meziříčí, u obce Lubná na Kroměřížsku, na lokalitě u Jindřichova Hradce, v lokalitě na Domažlicku a v řece Blanici ve Vodňanech. Raci signální byli v průběhu posledních šesti let pozorováni také v rybnících Rybářství Litomyšl (Policar a Kozák, 2000; Policar a Kozák, 2005).

Rak pruhovaný se na naše území rozšířil zřejmě přirozenou cestou po řece Labi z Německa, kam byl neuváženě importován ve druhé polovině 19. století a odtud dále rozšiřován do Evropy v průběhu 20. století (Kossakowski 1966; Hamr 2002). U nás byl prokazatelně zjištěn v roce 1988 v Ústí nad Labem (Hajer, 1989). Rak pruhovaný se vyskytuje v Labi, Vltavě, v některých jejích přítocích a na dalších lokalitách, převážně zatopených pískovných popř. rybnících. Řada českých populací je stále významným přenašečem plísně *Aphanomyces astaci*, která u původních evropských druhů raků způsobuje onemocnění račí mor (Kozubíková *et al.*, in press). Prozatím neexistuje informace o dlouhodobém soužití raka pruhovaného a původního raka říčního v tekoucích vodách. Zaznamenán byl pouze výskyt několika jedinců původních druhů raků na několika lokalitách stojatých vod, převážně zatopených lomů se stabilizovanou početnou populací raka pruhovaného. S největší pravděpodobností se zde jedná o důsledek vysazení sportovními potápěči, rybáři apod. (Kozák *et al.*, 1998; Petrusek *et al.*, in press). Rak pruhovaný je nejrozšířenějším nepůvodním druhem raka v České republice (Kozák *et al.*, 2004; Petrusek *et al.*, in press).

*Schéma 1.: Systematické zařazení raků žijících v ČR (Kozák *et al.*, 1998)*

<u>Kmen:</u>	Arthropoda	Členovci
<u>Podkmen:</u>	Crustacea	Korýši
<u>Třída:</u>	Malacostraca	Rakovci
<u>Řád:</u>	Decapoda	Desetinožci

	<u>Podčeleď:</u>	<u>Rod:</u>	<u>Druh:</u>
<u>Čeleď:</u> Cambaridae	Cambarinae	<i>Orconectes</i>	<i>O. limosus</i> (Rafinesque) (rak pruhovaný)
Astacidae	Pacifastacinae	<i>Pacifastacus</i>	<i>P. leniusculus</i> (Dana) (rak signální)
	Astacinae	<i>Astacus</i>	<i>A. astacus</i> (Linné) (rak říční) <i>A. leptodactylus</i> (Escholtz) (rak bahenní)
		<i>Austropotamobius</i>	<i>A. torrentium</i> (Schrank) (rak kamenáč)

2.2.Původ a rozšíření raka pruhovaného

2.2.1.Původní oblast rozšíření

Domovinou raka pruhovaného je Severní Amerika, a to severovýchod USA a jihovýchod Kanady (Henttonen a Huner, 1999; Hamr, 2002). Základní severoamerické oblasti výskytu tohoto druhu v atlantském vodním předělu jsou Québec, New Brunswick, Vermont, Massachusetts, Rhode Island, New Jersey, New York, Connecticut, Delaware, Colombia, Maryland, Pennsylvania, Virginia, West Virginia.

Rak pruhovaný byl v rámci amerického kontinentu introdukován do New Hampshire a Maine (Taylor *et al.*, 1996). Není jisté zda poměrně nové zprávy o tomto druhu v kanadských vodách jsou důsledkem introdukcí, přírodního průběhu expanze nebo chybných minulých průzkumů. Rak pruhovaný byl hlášen z odlovných zařízení na řece St. Lawrence (Québec) od roku 1970 a zdá se, že jeho expanze pokračuje dále po proudu řeky (Hamr, 2002).

2.2.2.Introdukce do Evropy

V polovině 19. století vymizely původní velké populace původních druhů raků následkem račího moru (*Aphanomyces astaci* Schikora), rozrušením jejich habitatů a silicím znečištěním vod (Henttonen a Huner, 1999).

Snaha naplnit volné bentické niky raky, kteří byli zároveň odolní proti račímu moru a tolerantní vůči degradovanému prostředí byla iniciována ke konci 19. století v západní a střední Evropě, kde byly ztráty původních druhů raků největší (Holdich, 1988). Následující mizení původních druhů ve Skandinávii a jihozápadní Evropě ve 20. století vedlo k další podpoře introdukcí „náhradních“ druhů raků (Henttonen a Huner, 1999).

Potřeba introdukcí náhradních druhů raků byla obhajována následujícími argumenty: potřeba druhů rezistentních proti račímu moru k nahrazení původních populací, obsazení volných nik, pro ozdobné a akvakulturní účely, pro kontrolu abundance vodní vegetace a dokonce k limitování jiných druhů označovaných za škodlivé. Popsané důvody historické introdukce nepůvodních druhů raků ale nebyly podloženy literaturou nebo výzkumy (Henttonen a Huner, 1999).

Introdukce můžeme rozdělit na :

- a) primární introdukci do Evropy z USA,
- b) sekundární introdukci z míst výskytu v Evropě do jiných oblastí nebo zemí na kontinentu,
- c) přírodní rozšíření z míst nasazení.

Introdukce nepůvodních raků byly jak úmyslné, tak i náhodné.

Úspěšná nasazování nepůvodních raků nastolilo situaci, že raci schopní odolávat a přenášet račí mor se permanentně nacházejí ve vodách v minulosti osídlených původními druhy raků. Nepůvodní druhy raků nicméně představují potravu pro mnoho predátorů a pro člověka mohou mít i komerční hodnotu (Henttonen a Huner, 1999).

První introdukci raka pruhovaného do Evropy uskutečnil v roce 1890 Max von dem Borne. Nasadil kolem stovky jedinců raka pruhovaného z řeky Delaware (Pennsylvania, USA) do rybníka (o výměře 0,1 ha) ve vesnici Barnowko v Německu (v dnešní době na území Polska). Tento rybník se nachází v povodí řeky Mysly – přítoku řeky Odry (Kulmatycki, 1935; Kossakowski 1966).

Druhá, ale neúspěšná introdukce byla provedena ve Francii blízko u Fecampu v roce 1895, kde byl k nasazení použit rak pruhovaný pocházející z New Yorku. Úspěšná introdukce ve Francii proběhla vysazením 2000 jedinců do řeky Cher v letech 1911-1913 (Kossakowski, 1966). V Polsku roku 1911 introdukoval Priest J. Cyr raka pruhovaného do jezera Sieroslawskie, známého pod německým názvem Juno (Seligo, 1911). Úspěšné sekundární introdukce proběhly také později ve 20. století, např. v Rakousku (Spitzky, 1973), v Německu (Schweng, 1973), ve Francii (Laurent, 1973) a Švýcarsku (Spitzky, 1973; Momot, 1988).

Neúspěšný pokus o vysazení raka pruhovaného také do České republiky proběhl již na přelomu 19. a 20. století (Matěna, 1995). Do České republiky se ale rak pruhovaný dostal zřejmě přirozenou migrací proti proudu Labe (Petrusek *et al.*, in press).

2.2.3. Rozšíření v Evropě a v ČR

Vysazování a následné přírodní šíření udělalo z raka pruhovaného z biologického hlediska velmi důležitého evropského raka již na konci 30. let 20. století, ale navzdory jeho abundanci nebyl zaznamenán žádný reálný komerční význam (Holdich, 1988; Momot, 1988; Troschel a Dehus, 1993).

Momentálně je rak pruhovaný dominantním sladkovodním rakiem v mnoha permanentních vodách ve Francii, Německu, Česku, Slovensku a Polsku a jeho rozšíření

Momentálně je rak pruhovaný dominantním sladkovodním raketem v mnoha trvalých vodách ve Francii, Německu, Česku, Slovensku a Polsku a jeho rozšíření zahrnuje i Nizozemí, Belgii, Švýcarsko, Španělsko, Itálii, Litvu, Rakousko, Maďarsko, Lucembursko, Bělorusko, Chorvatsko, Anglii, západní Rusko a pravděpodobně i Ukrajinu (Ackefors, 1989; Holdich *et al.*, 1999). Rak pruhovaný toleruje většinu permanentních vodních nik v Evropě, které nejsou obsazeny raky, což je důvodem jeho velmi rychlé expanze po celé Evropě. Rak pruhovaný jasně pokračuje v rozšiřování svého výskytu v Evropě a může se očekávat jeho eventuelní přítomnost ve většině kontinentálních vod (Henttonen a Huner, 1999). Kromě Evropy byl rak pruhovaný introdukován také do Maroka (Holdich, 2003).

V Německu rak pruhovaný kolonizoval většinu větších vodních systémů a učinil znovuzavedení původních druhů raků v podstatě nemožným (Dehus *et al.*, 1999). V sousedním Polsku je dnes rak pruhovaný dominantním druhem (Ďuriš, 2000), který zcela vyhubil tamější původní druhy až na zbytkové enklávy. Rak pruhovaný ohrožuje původní evropské druhy přímým vytlačováním z jejich stanovišť a hlavně přenosem račích moru, jež je způsobován plísní *Aphanomyces astaci* (Holdich a Lowery, 1988).

Zdá se, že rak pruhovaný nahradil původní evropské druhy a lépe využil volné neobsazené habitaty po vymizení původních druhů (Holdich *et al.*, 1999).

Nedávný nález raka pruhovaného v anglických vodách může znamenat vážnou hrozbu pro budoucnost přežití původního druhu *Austropotamobius pallipes* (Holdich *et al.*, 1999).

Ve vodách dnešní ČR byl poprvé formálně doložen Hajerem (1989) v r. 1988 v Labi u Ústí n. L. Počátkem 90. let byl pak zjištěn v Labi od Děčína až po Hradec Králové, dále pak ve Vltavě po České Budějovice, v Berounce u Plzně a přítocích zmíněných řek a na dalších lokalitách (Hajer, 1994; Matěna, 1995; Kozák *et al.*, 2004; Petrušek *et al.*, in press). Raka pruhovaného můžeme rovněž nalézt na mnoha pískovnách nebo zatopených lomech – výskyt na těchto lokalitách je důsledkem zásahů člověka. Z takto osídlených míst existuje možnost jeho šíření do přilehlých menších toků (Petrušek *et al.*, in press). Hajer (1994) uvádí dvě hlavní cesty, kterými se rak pruhovaný dostal do ČR: řeka Labe a Odra, a výčet lokalit s potvrzeným výskytem raka pruhovaného. Jedná se o lokality na těchto řekách: Labe, Orlice, Jizera, Ploučnice, Bílina (v místě vtoku potoka Syčivka), Ohře, Vltava, Berounka, Otava, Sázava, Malše a Lužnice. Petrušek *et al.* (in press) uvádí, že rak pruhovaný se vyskytuje i v drobných přítocích velkých řek, ale drží se u jejich ústí a aktivně neproniká příliš vysoko proti proudu.

Zajímavé je, že v posledních letech (v období 2002-2005) došlo na řadě lokalit k výraznému snížení početnosti raků pruhovaných. Částečně se může jednat o vliv

katastrofálních povodní z roku 2002, ale úbytek raků byl pozorován i v oblastech povodní nezasažených (Ďuriš *et al.*, in press)

2.2.4. Kontrola šíření nepůvodních druhů raků

Hlavní hrozbou pro původní druhy raků je rozšíření nepůvodních druhů. Značné rozšíření nepůvodních druhů je důsledkem přirozené migrace, ale hlavně důsledkem činnosti člověka. Kvůli tomu je nutné chránit původní druhy, to jest povinně předejít dalšímu šíření nepůvodních druhů (Pöckl, 2002).

Ke kontrole šíření nepůvodních druhů raků se dají používat různé metody: mechanické (odchyt - vrše, čeřeny a sítě), biologické (rybí predátoři, nemoci), fyzikální (vypuštění rybníka, vytvoření překážek a hrází bránících migraci) a chemické metody (vhodné a účinné biocidy) (Holdich *et al.*, 1999; Pöckl, 2002). Hiley a Peay (2006) uvádí, že neexistuje žádný selektivní biocid proti invazním populacím raka signálního, takže jakékoli užití biocidů je omezeno podmínkami lokalit, ve kterých jsou tyto neselektivní metody aplikované. Odchyt do vrší není příliš efektivní. Opakované vypuštění rybníka a odstraňování raků spolu se zimováním nebo letněním se zdá být nejvíce účinnou mechanickou metodou pro eliminaci raka signálního z rybníků. Některé chemické metody (vápnění) by mohly být také účinné. Např. aplikace chlorovaného vápna na rybníční dno a poté pomalé napouštění rybníka, s maximálním využitím vzrůstajícího pH by mělo mít požadovanou účinnost (Kozák a Polícar, 2003). Rychlé vymýcení může být dosaženo známými chemikáliemi, ale tyto metody nejsou šetrné k životnímu prostředí (Holdich *et al.*, 1999; Hiley a Peay, 2006). Hiley a Peay (2006) uvádí jako účinné prostředky k eliminaci raka signálního chemické odkysličení vody, aplikaci chlóru, amoniaku a nebo insekticidu Pyblast. Eliminace raka signálního v rybnících je záležitost velmi obtížná a dlouhodobá, ale ne nemožná (Kozák a Polícar, 2003).

Celkově se zbavit zavedených populací raka signálního a raka pruhovaného je v současnosti nemožné, ale výzkum by na tomto problému měl pracovat. Na úlohu těchto dvou druhů ve vodních ekosystémech se musí účelně pohlížet a přestože se nedají úplně vymýtit, vytvořit protokol pro kontrolu a řízení vývoje jejich výskytu (Pöckl, 2002).

2.3.Charakteristiky raka pruhovaného

2.3.1.Biologie

2.3.1.1.Popis

Rak pruhovaný je silný, agresivní rak pomalu tekoucích a stojatých vod (Henttonen a Huner, 1999). Rak pruhovaný je středně velký rak s velikostí do 100 mm a hmotností okolo 35 - 40 gramů, ale většinou se jeho velikost zarazí už pod 15 gramy (Henttonen a Huner, 1999; Kozák *et al.*, 1998; Hamr, 2002). Ačkoli je rak pruhovaný relativně malého věku, Holdich a Lowery (1988) uvádějí, že dospělý rak pruhovaný dosahuje velikosti okolo 50 mm délky hlavohruď. Na rozdíl od našich druhů raků rostou rychleji a velice brzy pohlavně dospívají (Neveu, 1997).

Rak pruhovaný má nápadné boční trny na hlavohruď před týlní rýhou a těsně za ní. Základní barvou těla je hnědá s charakteristickými tmavě hnědými pruhy na zadečkových člancích, zespoda je barva těla světle žlutá. Klepeta jsou malá, hladká, obrvená a pokrytá malými jamkami (uspořádanými do souběžných řad v blízkosti špičky). Klepeta jsou zbarvena shora hnědě s nevýrazným kloubem a zespoda žluto - hnědě. Na hlavohruď se nachází jen jeden pár postorbitálních lišt. Rostrum je dlouhé, ostré a na bázi jeho zúžení se nachází dva ostré trny (Kozák *et al.*, 1998; Hamr, 2002).

2.3.1.2.Životní cyklus a aktivita

Pohlavní dospělost a délka života. V kontrastu s evropskými druhy, samice raka pruhovaného dosahují pohlavní zralosti v jejich druhém roce života tj. ve stáří 1+. Jejich průměrná velikost byla zjištěna 22 mm délky hlavohruď (DH) s minimem 20 mm a maximem 24 mm (Stucki, 2002). Westman *et al.* (1995) uvádí, že rak pruhovaný dosahuje dospělosti v druhém roce při délce hlavohruď 25-35 mm (stáří 1+) a průměrná délka života je dva roky. Velikost při pohlavním dospívání se různí mezi populacemi. Věk a velikost při prvním pohlavním dospívání jsou ovlivněny mnoha faktory jako například teplota a kvalita vody, potravní nabídka a hustota obsádky (Westman *et al.*, 1995). Talbot (1985) uvádí dosažení dospělosti u raka pruhovaného v 15 - 16 měsících (okolo 45 mm délky těla), přičemž většina samic poprvé nosí vajíčka v druhém roce života. Malý počet samic začíná plodit a nosit

vajíčka ve třetím roce života. Muck *et al.* (2002) zjistil, že 63% samců a 55% samic raka *Orconectes ozarkae* (Williams) je pohlavně dospělá již během prvního roku života.

Maximální délka života se uvádí 4 roky při maximální délce hlavohrudi 61mm (Kossakowski a Orzechowski, 1975; Brink *et al.*, 1988; Momot, 1988).

Páření. Páření raků probíhá na podzim, když klesá teplota vody a krátí se den. Ačkoli existuje důkaz, že jsou pro počátek důležité obě tyto podmínky prostředí, je jasné, že v krajinách mírného pásu je hlavním podnětem teplota vody, fotoperioda ho ovlivňuje jen nepřímo (Reynolds, 2002). U raka pruhovaného dochází ke kopulaci, stejně jako u ostatních druhů raků, na podzim (Brink *et al.*, 1988; Hager, 1996). Bylo u něj však opakovaně pozorováno i druhé, jarní období kopulace (Ulikowski a Borkowska, 1999; Chybowski a Juchno, 2002). Hamr (2002) uvádí také u populací v Quebecu páření v září - říjnu a podruhé v březnu - dubnu. Stucki (2002) pozoroval páření u raka pruhovaného od konce srpna až do začátku dubna, ale samice nosící vajíčka pozoroval až v půli dubna.

U raků probíhá vnější oplodnění. Během páření jsou spermatofoxy umístěny samcem buď na ventrální (spodní) stranu samice nebo u čeledi *Cambaridae* (kam rak pruhovaný náleží) do tzv. *annulus ventralis* (Vogt, 2002).

Obě pohlaví jsou v zajetí polygamní a poslední samec má největší šanci, že oplodní vajíčka (Reynolds, 2002). Berrill a Arsenault (1984) také ve volném prostředí sledovali velké samce rodu *Orconectes* (*Cambaridae*), kteří se v průměru pářili mnohem častěji a často rozdělovali i jiné pářící se páry.

Ovulace a oplodnění vajíček. Hamr (2002) uvádí, že ke kladení vajíček dochází u raka pruhovaného od března do května. Talbot (1985) sledoval kladení vajíček na konci května a líhnutí probíhalo v pozdním červnu.

Když jsou zralá vajíčka ovulována, uvolňuje se masa spermií, obal spermatoru se rozpouští a radiální ramena se roztáhnou. Pomocí nich se přichytí spermie na vajíčko a umožní přímý kontakt akrozómu s povrchem vajíčka. Po kontaktu spermie s vajíčkem pravděpodobně akrozóm naruší chorion vajíčka a pohání jádro k vajíčku. Tím je dopraven genetický materiál samců do vajíčka. Takto oplodněná vajíčka jsou poté pomocí produktů žláz (glair glands) na abdomenu samic přichycena na pleopody (Vogt, 2002).

Líhnutí. Juvenilové raka pruhovaného se líhnou na konci května a v červnu, jako u evropských druhů a raka signálního. Inkubační doba vajíček raka pruhovaného je ale mnohem kratší (49 - 55 dnů) (Hamr, 2002). To je způsobeno tím, že samice raka pruhovaného kladou vajíčka až v jarním období (Stucki, 2002). Inkubační doba je také ovlivněna teplotou vody (Mason, 1977). První vývojové stádium je u raka říčního i raka pruhovaného nesamostatné,

pevně spojené se samicí, využívající k výživě pouze žlutkový váček. Ráčata raka říčního se osamostatňují a začínají přijímat potravu ve druhém vývojovém stádiu, na rozdíl od raka pruhovaného, kde k tomu dochází až ve 3. vývojovém stádiu (Reynolds, 2002; Muck *et al.*, 2002; Andrews, 1907).

Růst. Talbot (1985) uvádí, že juvenilní raci pruhovaní, kteří se osamostatní od samice (tj. v červenci) mají délku hlavohrudi 4 mm a do listopadu již délka hlavohrudi dosahuje nad 27 mm. Zimní mortalita je odhadována nad 88%. V lednu již délka hlavohrudi dosahuje 18 - 30 mm (Hamr, 2002). Andrews (1907) zjistil na konci vegetační sezóny velké rozdíly ve velikosti juvenilů raka pruhovaného (23 - 63 mm). Jednoroční rak pruhovaný měří kolem 35 mm, zatímco dvouletí (průměrné životní rozpětí) měří 50 mm délky hlavohrudi (Talbot, 1985). Pieplow (1938) uvádí pro raka pruhovaného po prvním roce života velikost 40 - 65 mm, po druhém roce 65 - 80 mm, po třetím roce 80 - 95 mm, po čtvrtém roce života již 95 - 110 mm a pro pětileté už uvádí velikost nad 110 mm.

Ackefors *et al.* (1995) nezjistil rozdíly v růstu mezi juvenilními samci a samicemi raka říčního, kteří byli odchováni individuálně. Gydemo a Westin (1989) uvádí tendenci rychlejšího růstu samců oproti samicím po 6 a 9 měsících odchovu. Oproti tomu Muck *et al.* (2002) uvádí stejný růst samců a samic raka *Orconectes ozarkae* v prvním roce života.

Svlékání. Raci všech druhů vyskytujících se v ČR včetně raka pruhovaného se svlékají během teplejší periody roku s dvěma hlavními vrcholy: v květnu - červnu a srpnu - září. Na jaře se svlékající raci rozdělují do dvou skupin. Samci a samice, které se v poslední reprodukční periodě nerozmnožovali se svlékají v květnu, kdežto samice nosící vajíčka se svlékají v červnu - červenci poté, co se juvenilové vylíhnou a osamostatní. Svlékání juvenilů a nedospělých raků se odehrává též v létě (Stucki, 2002).

Aktivita. Stucki (2002) uvádí, že rak pruhovaný má odlišný vzorec aktivity než naše původní druhy. Na jaře a v létě se raci během denních hodin nacházeli často v úkrytech a byli aktivní hlavně v noci. Od podzimu až do kladení vajíček v půli dubna byli raci aktivní v denních i nočních hodinách. Od listopadu do ledna bylo dokonce sledováno mnoho samic putujících řečištěm. Perioda s nízkou aktivitou nebyla u raka pruhovaného pozorována.

Podle dat z Québecu a většiny Evropy je rak pruhovaný nejaktivnějším mezi květnem a říjnem (Brink *et al.*, 1988). Lozan (2000) ve své srovnávací studii zjistil, že americké druhy jsou více aktivní ve dne než evropské. Denní aktivita raka signálního činila 33 % a raka pruhovaného 22 % oproti aktivitě raka říčního 12 % a raka bahenního 16 % z celkové 24 - hodinové aktivity. Všechny druhy vykazovaly poměrně vysokou aktivitu v teplotě 4 °C. Pro

teplotu 25 a 30 °C jsou lépe adaptováni rak signální a rak bahenní než rak pruhovaný a rak říční.

Rak pruhovaný může být aktivní během denních i nočních hodin a jeho perioda aktivity během roku je delší. Flexibilita aktivity umožňuje populacím tohoto druhu rozšířit svou potravní aktivitu během období s příznivými podmínkami a vyhýbat se predátorům (Stucki, 2002). U raka pruhovaného může být za aktivitu považován i pobyt mimo úkryt.

2.3.1.3. Pohlavní soustava

Raci jsou gonochoristé. Gonády, buď varlata nebo vaječníky, leží dorzálně v hlavohrudí mezi spodinou srdeční dutiny a žaludkem. Jejich velikost a vzhled je závislý na věku a reprodukční kondici jedince. V době páření se gonády značně zvětšují. Varlata mají mléčně bílou barvu v důsledku produkce spermií, zatímco vaječníky se plní žlutavě - hnědými vajíčky (Vogt, 2002; Kozák *et al.*, 2004).

Varlata raků (Obr. 1) jsou pokryta vazivovou kůrou a jsou složena ze semenotvorných tubulů obsahujících Sertolliho buňky v různém stupni vývoje. Semenotvorné tubuly se sbíhají do sběrných kanálků a nakonec končí ve *vas deferens*. Varlata jsou místem spermatogeneze a spermiogeneze. U astacidů se skládají z párových předních laloků a prodlouženého nepárového laloku. Z obou stran varlat vystupují velmi stočené *vas deferens* a ústí pohlavním vývodem na bázi páteho páru pereopodů. *Vas deferens* jsou zodpovědné za balení spermatozoí do spermatofor, které mají svou roli při transferu spermatu od samečka k samici během páření. Nad vstupem z varlat do *vas deferens* jsou spermatozoa prvně obaleny epiteliálními sekrety sjednocujícími sperma do kompaktní masy. Poté, během dopravy spermatu do distální části *vas deferens*, jsou spermatofory ohraničeny přidanými sekrety epitelu *vas deferens*. Tento sekreční epitel je jednovrstevný, složený z cylindrických buněk a je obalen pouzdrem pojivové tkáně (Vogt, 2002). Formování spermatofor bylo důkladně prozkoumáno elektronovým mikroskopem u raka signálního (Dudenhausem a Talbot, 1983). *Vas deferens* jsou dále zodpovědné pro odvod spermatoforů do gonopodů (Vogt, 2002).

Po vytlačení spermatofor ze samce a přilepení na samici, začíná jejich obal rychle ve vodě tvrdnout. Spermatofory mají jednoduchý cylindrický tvar s délkou 4 – 9 mm a s průměrem do 1 mm. Obal je rezistentní k nepříznivým vlivům prostředí což je nezbytné z důvodu delšího časového odstupu mezi pářením a ovulací vajíček. Spermie, která má průměrnou velikost kolem 0,015 mm, se skládá z akrozómu, jádra a radiálních ramen (Vogt, 2002) (Obr. 1).

Vaječníky jsou trojlaločné a mají na obou stranách po jednom rovném vejcovodu, které vyústí na bázi třetího páru pereopodů. Lalok vaječníků je pokryt tenkým svalovým pouzdem a uvnitř tvořen ovariálním epitelem zprohýbaným dovnitř a tvořícím tak velké množství oogenetických váčků. Každý tento váček obsahuje jeden oocyt buď I. nebo II. řádu a vyvíjí se v něm jen jediné vajíčko. V prostřední části laloku vaječníku jsou soustředěny zárodečné epitely (germaria) připojené na ovariální epitel a obsahující oogonie, malé oocyty I. řádu a somatické intersticiální buňky (Obr. 2). Zárodečný epitel produkuje oogonie po celou dobu reprodukčního cyklu samice. Zralé oocyty jsou z vaječníků vypuzovány dvěma vejcovody. Vejcovody jsou tvořeny jednobuněčným epitelem obklopeným pojivovou tkání se svalovými buňkami. Před ovulací se začíná distální část vaječníků plnit mléčnou tekutinou (Vogt, 2002).

V době pohlavního klidu jsou vaječníky bělavé, v období zrání vajíček se mění v červenohnědé zbarvení. Ve vaječnicích probíhá oogeneze. Vajíčka jsou centrolecitálního typu, to znamená, že žloutek je uložen uprostřed vajíčka. Role vejcovodů spočívá ve svádění vajíček do gonoporů ústících na bázi 3. páru pereopodů (Vogt, 2002).

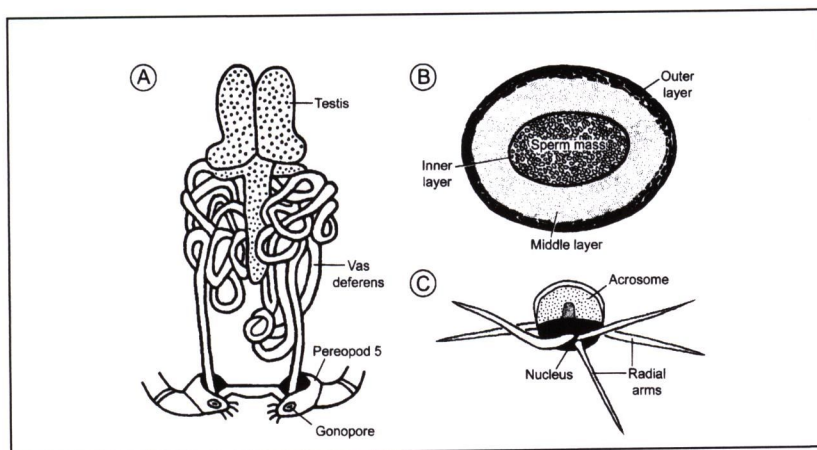
Vajíčka čeledi *Cambaridae*, kam rak pruhovaný patří, mají v průměru od 1 do 3 mm, průměrně okolo 2,5 mm (Reynolds, 2002).

Vývojem gonád raka pruhovaného v průběhu roku se zabývaly Chybowski a Juchno (2002), Juchno a Chybowski (2003) a Kozák *et al.* (2004).

Gonadosomatický index (GSI) (poměr hmotnosti gonád ku hmotnosti těla) u raků se různí v závislosti na druhu a na době jeho zjištění (nejvyšší hodnoty GSI dosahuje bezprostředně před ovulací). Daniels *et al.* (1994) uvádějí (GSI) u samic raka *Procambarus clarkii* od 0,05 % na počátku reprodukčního cyklu až po 0,5 - 1,2 % v době pohlavní zralosti. Huner (1993) uvádí GSI pro raka *Orconectes rusticus* 4 % a *Orconectes immunis* 5,9 %.

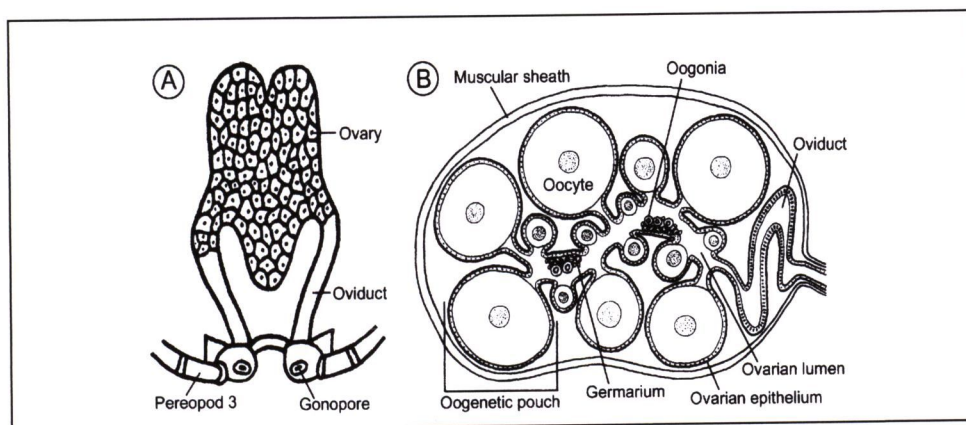
Obr. 1: Schéma samčího pohlavního ústrojí u raků čeledi Astacidae (A – Holdich a Reeve, 1988; B, C - Dudenhausen a Talbot, 1983)

(A – celkový pohled na samčí pohlavní orgány - shora: varlata, vývodné pohlavní cesty, 5. kráčivá noha, ústí vývodných pohlavních cest; B – průřez zralým spermatoforem ve vývodných pohlavních cestách: vnější, střední a vnitřní membrána, masa spermií; C – uvolněná spermatozoa s dlouhými radiálními rameny: akrozóm, jádro, radiální ramena)



Obr. 2: Schéma samičích pohlavních orgánů u raků. (A – Holdich a Reeve, 1988; B – Ando a Makioka, 1998)

(A – celkový pohled na samičí pohlavní ústrojí – shora: vaječníky, vejcovod, 3. pár kráčivých nohou, vývod pohlavních cest; B – řez ventrálním vaječnickým vakem u raka *Procambarus clarkii* – nahoře: svalový obal, oocyt I. řádu, vejcovod, uprostřed: oocyt II. řádu, dole: oogenetický, zárodečný epitel, ovariální epitel, mezivaječný prostor)



2.3.1.4.Reprodukční schopnosti

Rak pruhovaný má rozdílný životní cyklus a mnohem flexibilnější reprodukční systém než naše původní druhy. Jeho samice jsou schopné ukládat spermatofofy v jejich *annulus (capsula) ventralis*. Navíc u něj probíhá kromě podzimního ještě jarní období páření (Stucki, 2002).

Plodnost raků můžeme hodnotit několika ukazateli. Potenciální (ovariální) plodnost raků je dána počtem oocytů ve vaječnicích. Pleopodální plodnost raků je dána počtem oplodněných a upevněných vajíček na pleopodách samic. Pracovní plodnost je dána počtem rácat většinou ve II. vývojovém stádiu. Pleopodální plodnost je hodnocena různým způsobem: těsně po kladení vajíček (Abrahamsson, 1971), v průběhu inkubace (Lewis a Horton, 1997) a také těsně před vlastním líhnutím rácat (Söderbäck, 1995; Savolainen *et al.*, 1996). Pleopodální plodnost je obvykle více variabilní a nižší než je ovariální plodnost. To je dáno neúplnou ovulací vajíček, neoplozenými vajíčky, špatně přichycenými vajíčky na pleopodách samic a ztrátou vajíček při inkubaci (Savolainen *et al.*, 1996). Ke ztrátě vajíček při inkubaci dochází z důvodu redukce, která nastává při zvětšování velikosti vajíček. Bylo však zjištěno, že větší samice dokáží vajíčka při inkubaci lépe ochránit před predátory (Taugbøl *et al.*, 1987).

Pleopodální plodnost samic představuje více informací o vývoji dané populace raků. Plodnost je nejvýznamnější ukazatel reprodukce a je využívána jako základní hodnota při výzkumu dané populace raků (Lewis, 2002).

Ovariální a pleopodální plodnost samic pozitivně koreluje s délkou těla samic (Stypińska, 1973, Savolainen *et al.*, 1996).

Rak pruhovaný prokazuje velkou schopnost pro plození potomstva. Dosahuje zralosti v druhém roce života. Mladé samice jsou již schopné naklást velká množství vajíček a průměrný počet vajíček na samici je velmi vysoký (Stucki, 2002).

Existuje několik publikací zaměřených na plodnost raka pruhovaného. Kozák a Policar (in press) udávají potenciální plodnost raka pruhovaného 140 vajíček v rozmezí od 76 do 290 vajíček na jednu samici (délka těla 52-82 mm) a velikost oocytů v rozmezí 0,2 – 1,8 mm v závislosti na reprodukčním cyklu. Stypińska (1973) zjistila průměrnou potenciální plodnost od 315 do 440 vajíček v závislosti na velikostní skupině (délka těla 75-104 mm). Holdich a Lowery (1988) udávají pleopodální plodnost samic s délkou hlavohruď 45 mm cca 400 vajíček. Naproti tomu Momot (1988) uvádí průměrnou pleopodální plodnost 163 vajíček. Stucki (2002) stanovil průměrnou pleopodální plodnost 139 vajíček s minimálním počtem

vajíček 31 a maximálním počtem 555 vajíček na jednu samici. Průměrnou velikost vajíčka udává 1,8 mm. Hamr (2002) shrnuje ve své práci údaje několika autorů a udává pleopodální plodnost mezi 57 a 440 vajíčky na samici, přičemž u populace v Quebecu stanovuje průměrnou plodnost na 309 vajíček na samici.

Při porovnání plodnosti s ostatními druhy raků můžeme zjistit, že rak pruhovaný má s ohledem na velikost těla vyšší průměrnou plodnost než původní druhy raků a srovnatelnou s ostatními nepůvodními druhy. Savolainen *et al.* (1996) udává průměrnou potenciální plodnost raka říčního od 166 do 264 oocytů II. řádu s minimem 73 a maximem 436 oocytů a pro raka signálního 377-456 (73-952) oocytů. Potenciální plodnost také koreluje s velikostí samic. Stucki (2002) uvádí průměrnou pleopodální plodnost pro raka říčního 150, raka kamenáče cca 60, raka bahenního 180 a raka signálního 114 vajíček. Z těchto údajů lze také usuzovat na velké ztráty vajíček v průběhu inkubace u druhů, které nosí vajíčka na pleopodách přes celé zimní období. To mluví ve prospěch raka pruhovaného, který klade vajíčka až na jaře a nosí je na pleopodách pouze 2 měsíce.

2.3.2. Prostředí a potrava

Rak pruhovaný obydluje měkká, bahnitá dna velkých, širokých, mírně proudících řek a jezera s abundancí vodní vegetace (Talbot, 1985). Dobře se adaptuje pro život v trvale tekoucích i stojatých vodách (Henttonen a Huner, 1999). V kontrastu s původními evropskými druhy, severoamerický rak pruhovaný je tolerantní k různým extrémním podmínkám prostředí, hlavně výkyvům teploty a malému obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě (Huner a Lindquist, 1995; Payne, 1997). Navíc se lépe vyrovnává s výraznými změnami prostředí (Lindquist a Huner, 1999).

V Evropě se vyskytuje v různých habitatech podobných řekám, jezerům a kanálům. Vyskytuje se i v chladnějších a rychlejších tocích, ale zjevně preferuje klidné hluboké vody, podobné rybníkům a jezerům. Je tolerantní k organicky zatíženým vodám a hlavně ke znečištění (Kossakowski a Orzechowski, 1975; Dehus *et al.*, 1999). V Německu se nevyskytuje ve velkých nadmořských výškách a v malých potocích a potůčcích, což pro tento druh zřejmě není vhodné prostředí (Dehus *et al.*, 1999). Petrussek *et al.* (in press) uvádí, že v ČR se rak pruhovaný vyskytuje ve větších tocích a ve spodních částech jejich přítoků, nádržích, lomech a rybnících. V New Brunswicku (Kanada) se nicméně nachází v tocích

charakterizovaných mírným prouděním a substrátem se skládajícím se z písku a malých kamenů (McAlpine *et al.*, 1991).

Rak přijímá potravu převážně v noci, zpravidla mezi 23. až 3. hodinou. Raka lze charakterizovat jako všežravce s vyšším objemem konzumu rostlinné potravy. Ze živočichů jsou nejvýznamnější měkkýši, ryby, máloštětinatí červi, pakomáři a vývojová stádia hmyzu. Rak pruhovaný se živí vodní vegetací, rybími jikrami a často i jinými raky, a proto je popisován jako všežravec (Kossakowski a Orzechowski, 1975).

Značné změny prodělává složení potravy v průběhu roku. Složení potravy je závislé na době před svlékáním a rozmnožováním, kdy se v této době podíl živočišných komponentů zvyšuje na 50 %. Před svlékáním se projevuje určitá inklinace k rostlinám, které obsahují více vápníku (lístky a lodyhy parožnatky, růžkatce a vodního moru). Mladí (pohlavně nedospělí) raci přijímají více živočišné potravy než dospělí (především larvy hmyzu a zooplankton) (Cukerzis, 1970).

Rak pruhovaný je všežravec, který se živí rostlinami, řasami, bezobratlými, rybami, ale také živočišnými a rostlinnými zbytky. Ožíráním makrovegetace a predací na benthických býložravých bezobratlých může nepřímo měnit prostředí ostatních organismů (Nyström, 1999).

2.3.3. Ekologické charakteristiky

Aby mohlo dojít k vytlačení jednoho druhu jiným musí být invazní druh v mnoha směrech více agresivní (Westman, 2000) a rak pruhovaný je velmi agresivní druh raka (Henttonen a Huner, 1999).

Ačkoliv žádný druh raka nemůže rozvinout velké populace v přítomnosti velkého množství rybích predátorů, velmi tolerantní druhy raků ihned obsadily prázdné habitaty. Mimoto rak pruhovaný dokáže hloubit nory v jílovitém břehu, které mu poskytnou ochranný kryt i při nedostatku jiných úkrytů (Lindquist a Huner, 1999).

Ve vztahu k prostředí, ekologické strategii a populačním parametrům jsou organismy označovány jako r- a K-stratégové. Toto rozdělení aplikovali na raky např. Lindquist a Huner (1999).

Původní evropské druhy raků vykazují charakteristiky K-stratégů, počítaje v to pozdější pohlavní dospělost, pomalejší růst, malou úmrtnost, větší velikost těla a dlouhý životní cyklus. Invazní druh rak pruhovaný vykazuje spíše charakteristiky r-stratégů, brzkou

pohlavní zralost, rychlý růst, kladení velkých množství malých vajíček, velké množství potomstva pro danou velikost rodičů, maximální produkce potomstva v nízkém věku, malá velikost těla, velká mortalita a krátký životní cyklus. Pro porovnání 10 cm dlouhý rak říční má ovarialní plodnost okolo 280 oocytů II. řádu, rak signální už 350 a rak pruhovaný až 400 (Huner a Lindquist, 1991; Stucki, 2002).

Historie severoamerických druhů v Evropě jasně ukazuje, že jsou jen dva faktory, které mohou limitovat jejich expanzi. Jsou to fyzikální a klimatické bariéry (Lindquist a Huner, 1999).

Negativní aspekty introdukcí těchto druhů zahrnují vytlačení původních druhů raků, přenos nemocí, požíráání rybích jiker, redukci počtu ryb, požíráání velkého počtu makrofyt, přímé a nepřímé působení na jiné bezobratlé, vytlačování obojživelníků. Tyto faktory mohou být příčinou degradace prostředí sladkovodních habitatů (Holdich *et al.*, 1999).

2.3.4. Mezidruhové interakce

Velikost raků je jedním ze základních faktorů určující dominanci u raků (Butler a Stein, 1985). Větší raci většinou zvítězí nad menšími jedinci (Momot, 1984). Rychleji rostoucí jedinci jsou schopni vytlačit menší jedince, ať již stejného nebo jiného druhu raků (Momot, 1984; Mather a Stein, 1993). Velmi důležitým faktorem, určujícím vnitro- a mezidruhovou interakci u raků je velikost klepet. Druhy raků s většími klepety jsou většinou úspěšnější v konkurenci se srovnatelně velkými druhy s menšími klepety (Gherardi, 2002). Rutherford *et al.* (1995) uvádí délku klepete jako důležitý indikátor dominance u raků. Zjistil, že u samců raka *Orconectes rusticus* (Girard) byl dominantní vždy jedinec s delšími klepety. Po ztrátě klepet musí raci využít energetické rezervy na jejich regeneraci, což se může odrazit v pomalejším růstu (Aiken a Wady 1992).

Rak pruhovaný ohrožuje původní evropské druhy přímým vytlačováním z jejich stanovišť a hlavně přenosem račího moru, jenž je způsobován plísní *Aphanomyces astaci* (Holdich a Lowery, 1988). To znemožňuje případnou obnovu výskytu původních druhů raků na lokalitách s výskytem račího moru odolných druhů. Například v sousedním Polsku je dnes dominantním druhem (Ďuriš, 2000), který zcela vyhubil tamější původní druhy až na zbytkové enklávy. V potoce Pšovka v CHKO Kokořínsko, byl přenos *A. astaci* z raků pruhovaných na evropské druhy raků nejpravděpodobnější příčinou úhynu (Kozubíková *et al.*, in press). V dolní části toku byl do rybníka vysazen rak pruhovaný, ačkoli se výše po proudu

vyskytovali raci říční a bahenní. V letech 1998 - 1999 zde došlo k masovému úhynu obou druhů s příznaky odpovídajícími račímu moru. Raka pruhovaného se přitom nemoc nedotkla (Kozák *et al.*, 2000). Pokud by populace raka pruhovaného nebyla infikovaná patogenem račího moru, mohlo by dojít k dlouhodobější kompetici tohoto druhu s některým z původních raků (Lindquist a Huner, 1999). Hamr (2002) uvádí, že rak pruhovaný je přímým konkurentem i jiných druhů rodu *Orconectes* a na lokalitách v Severní Americe, kam byl introdukovan a rozšiřuje se do dalších regionů.

Vzhledem k velké plodnosti, brzké pohlavní zralosti, rychlému růstu a flexibilnímu životnímu cyklu, aktivitě a velké agresivitě, má rak pruhovaný charakteristiky pro úspěšné rozšiřování a schopnosti pro úspěšnou kompetici s původními druhy (Henttonen a Huner, 1999; Stucki, 2002)

Evropské druhy raků jsou velmi vnímavé k račímu moru a jejich ohrožení vzrůstá všude tam, kde se mohou setkat s nepůvodními druhy raků. Před introdukcemi raka červeného, raka signálního a raka pruhovaného se v regionech kam byly nasazeni nevyskytovala anebo nebyla silná infekce původních druhů plísni *Aphanomyces astaci* (Söderhall *et al.*, 1988; Lindquist a Huner, 1999).

Metodami molekulární biologie bylo dokázáno, že introdukované druhy mohly račí mor rozšířit na původní druhy v Evropě a tak přispěly k jejich vymizení (Huang *et al.*, 1994; Liley *et al.*, 1997).

Taugbøl a Skurdal (1993) naznačují, že za 100 let budou skoro všechny vodní habitaty přijatelné pro raky mocně osídleny nepůvodními druhy raků. Všechny původní druhy budeme považovat za kriticky ohrožené a budou přežívat jen v několika chráněných lokalitách v národních parcích a vyhrazených plochách.

Šíření nepůvodních druhů raků bude v budoucnosti činit jen problémy (Holdich *et al.*, 1999).

2.3.5. Biologický a komerční význam

Nepůvodní druhy raků, oproti jejich negativnímu působení, představují potravu pro mnoho predátorů a pro člověka mohou mít v některých případech i komerční hodnotu (Henttonen a Huner, 1999). Alekhnovich *et al.* (1999) uvádí, že v Bělorusku je rak pruhovaný významným potravním článkem okouna, mníka a norka (*Mustela vison*).

Vysazování a následné přírodní šíření udělalo z raka pruhovaného z biologického hlediska velmi důležitého evropského raka již na konci 30. let 20. století, ale navzdory jeho

abundanci nebyl zaznamenán žádný reálný komerční význam (Holdich, 1988; Momot, 1988; Troschel a Dehus, 1993).

Přestože se udává ve velkých a hustých populacích v Evropě, rak pruhovaný není chován ani odlovován z volného rozšíření (Huner, 1993; Ackefors, 1998). V Německu tento druh loví profesionální rybáři ve vodách okolo Berlína a v řece Rýn a jezeře Constance (Dehus *et al.*, 1999). Malý ekonomický význam raka pruhovaného v Evropě je patrně důsledkem menší velikosti ve srovnání s původními druhy raků (rodu *Astacus*) a introdukovanými rody *Pacifastacus* a *Procambarus*, stejně jako fakt, že jeho vyhledávání je pravděpodobně velmi stagnující i z důvodu zněčištění vod (Hamr, 2002).

V Severní Americe je rak pruhovaný komerčně loven v Québecu z řeky St. Lawrence, kde si rybáři zřejmě jeho lovem přivydělávají ke svým úlovkům ryb (Talbot, 1985). Mezi roky 1983 a 1986 bylo každoročně loveno mezi 4 až 7,8 tun a raci byly většinou prodávány živí velkobchodníkům v Québecu (Portelance, 1987).

Některé z hodně obecně rozšířených druhů rodu *Orconectes* rostou poměrně rychle a dosahují větší velikosti, která dostačuje ke komerčnímu zájmu. U druhů *Orconectes rusticus*, *Orconectes virilis*, ***Orconectes limosus***, *Orconectes nais* a *Orconectes immunis* se může brát v potaz i určitý komerční potenciál. Místní poptávka po těchto druzích existuje přinejmenším v severovýchodní Severní Americe, kde existuje rovněž jistý potenciál pro export do většího evropského trhu. Vzhledem k pokračujícímu zájmu na severovýchodu USA a v Kanadě a je pravděpodobné, že několik druhů rodu *Orconectes* bude v blízké budoucnosti ekonomicky důležitých. (Hamr, 2002).

Đuriš (2000) uvádí, že v sousedním Polsku byl rak pruhovaný používán za nástrahu při rybolovu, což mohlo přispět při jeho šíření na jiné lokality.

3. Metodika práce

Raci pruhovaní, kteří byli použiti v experimentech pro zjištění plodnosti, gonadosomatického indexu a pro zjištění inkubační doby byli získáni z odchytu ze dnů 18.4. 2004 a 26.4. 2004 v nádrži Kořensko (Vltavská kaskáda).

Raci byli rozděleni podle toho zda-li již byli pohlavně dospělí a zralí – to bylo provedeno podle zvětšených a zbledlých žláz na abdomenu. U všech zralých raků použitých v jednotlivých pokusech bylo provedeno biometrické měření pomocí posuvného měřítka. Měřena byla celková délka těla [mm] (od hrotu rostra po okraj ploutvičky na abdomenu), délka hlavohruď [mm] (od hrotu rostra po okraj hlavohruď), postorbitální délka hlavohruď [mm] (od postorbitální lišty na hlavohruď po okraj hlavohruď). Dále byla u těchto raků zjištěna hmotnost [g] vážením na analytických vahách s přesností na 0,01 gramu.

Juvenilní raci říční a raci pruhovaní použiti při experimentu na porovnání růstu a přežití byli získáni odchovem v rybochovném objektu VÚRH ve Vodňanech.

Zjištěné údaje z jednotlivých experimentů byly zapisovány do tabulek uvedených v příloze této práce.

Statistické vyhodnocení rozdílů v plodnosti u různě velkých samic ($P < 0,05$) a podílu vajíček na jednotlivých pleopodách ($P < 0,01$) bylo provedeno jednofaktorovou analýzou (ANOVA, Statgrafics, Tukey test). Rozdíly v přežití a růstu byly porovnány pomocí testu Anova, Tukeyho HSD a Kruskal – Wallisova testu programu Statistica software (verze 6.1.), StatSoft, Inc.

3.1. Pokus na zjištění potenciální plodnosti

Potenciální (ovariální, absolutní) plodnost raků byla zjištěna po vypreparování vaječnicků od 20 ks zralých samic.

Nejmenší pohlavně zralá samice využitá v experimentu měla délku těla 43 mm, délku hlavohruď 19 mm a hmotnost 2,24 g, oproti největší pohlavně zralé samici, která měla délku těla 96 mm, délku hlavohruď 44 mm a hmotnost 29,91 g.

Vybraní raci byli po provedení biometrického měření usmrceni v silném roztoku anestetika hřebíčkový olej. Vypreparované vaječníky byly nejprve zváženy na analytických

vahách (s přesností 0,0001 gramu) pro zjištění gonadosomatického indexu – poměru hmotnosti gonád a celkové hmotnosti jedince. Poté byly vaječníky rozprostřeny na Petriho misce a spočítán počet oocytů II. řádu. Následně byla zjištěna jejich velikost. To bylo provedeno následovně: 20 ks oocytů II. řádu bylo vyrovnáno vedle sebe do jedné linie vedle pevného měřítka a byla změřena jejich celková délka, vydělením celkové délky 20 byla získána průměrná velikost.

Rovněž byl zjištěn gonadosomatický index 11 samců. Tito samci byli usmrceni stejným způsobem jako zkoumané samice a rovněž u nich byla provedena biometrická měření. Ze samců byla následně vypreparována *testes* společně s *vas deferens* (vývodné cesty). Tyto orgány byly poté zváženy společně a zároveň samostatně jen *testes* s přesností 0,0001 gramu.

U samic a samců byl rovněž vypreparován a zvážen *hepatopankreas* (s přesností 0,0001 gramu) a vypočten poměr jeho hmotnosti ku hmotnosti jedince – hepatosomatický index.

Tento pokus probíhal ve dnech 18. - 19. dubna 2004 tedy přibližně týden před předpokládaným kladením vajíček.

3.2. Pokus na zjištění pleopodální plodnosti

Zralé samice byly umístěny do kaskádovitě uspořádaných speciálních aparátů pro raky od firmy Bednář s průtokem vody. Do těchto aparátů byli k samicím rovněž nasazeni samci, aby rakům bylo umožněno ještě jarní období páření. Na jeden aparát bylo nasazeno 20 ks samic a 10 ks samců. Aparát byl vybaven umělými úkryty. Z těchto aparátů bylo vyjmuto 16 ks samic určených pro tento pokus.

Pleopodální plodnost byla zjišťována odběrem vajíček z jednotlivých pleopod od vybraných 16 ks samic v rozmezí 1-5 dní po naklazení. Vajíčka byla od každé samice snímány postupně od prvního po pátý pár pleopod, nakonec byla sejmuta vajíčka zbylá na abdomenu. Poté byla vajíčka spočítána. Následně byla zjištěna velikost vajíček stejným způsobem jako u ovariální plodnosti. Zároveň byl vypočítán procentuální podíl vajíček na každém páru pleopodů i mimo ně.

3.3. Pokus na zjištění pracovní plodnosti

Samice použité k tomuto experimentu byly odebrány okamžitě po naklazení vajíček z již zmíněných aparátů pro raky od firmy Bednář a přemístěny do vertikálního inkubátoru. Samice byly umístěny samostatně každá do jedné vložky Rückel - Vackova přístroje. Samice byly kontrolovány dvakrát týdně (častější kontroly by znamenaly nadměrné rušení samic) a byla zjišťována průměrná denní teplota vody pro zjištění inkubační doby.

Sledováno bylo období líhnutí ráčat a období osamostatnění se ráčat od samice. Pracovní plodnost byla stanovena u 14 ks samic spočtením ráčat po osamostatnění od samice. Po osamostatnění ráčat se z přístroje vyjmula vložka a v ní se po odstranění samice opatrně spočítala ráčata.

3.4. Pokus pro zjištění inkubační doby

Pro zjištění inkubační doby raka pruhovaného byly použity samice, které zbyly v aparátech od firmy Bednář po odebrání samic pro potřeby předchozích experimentů. Bylo zde prováděno denní měření teploty vody registračním teploměrem, kontrola samic a vedení záznamů. Samice byly sledovány od naklazení vajíček po líhnutí ráčat.

Inkubační doba v denních stupních [d°] byla vypočítána celkem u 26 ks samic součtem jednotlivých průměrných denních teplot od naklazení vajíček po líhnutí ráčat. Rovněž byl zjištěn počet dní inkubace.

3.5. Porovnání růstu a přežití raka pruhovaného a raka říčního

Ráčata použitá v tomto experimentu byla získána od samic raka říčního a raka pruhovaného odlovených v jarním období na přírodních lokalitách. Líhnutí ráčat raka říčního proběhlo v období od 20. května do 19. června. Líhnutí ráčat raka pruhovaného mezi 11. a 16. červnem.

Do experimentu byla použita ráčata, u kterých došlo ke svlékání do stádia nezávislosti tj. stádia, kdy jsou ráčata schopná osamostatnění (druhé u raka říčního a třetí u raka pruhovaného) dne 28. června. Vlastní experiment započal dne 9. července, tedy 11 dní po svlékání, kdy ráčata přešla do druhého respektive třetího vývojového stádia. Ráčata raka

říčního byla při nasazení statisticky prokazatelně větší ($11,1 \pm 0,60$ mm a $44,37 \pm 3,201$ mg) než ráčata raka pruhovaného ($7,1 \pm 0,73$ mm a $8,83 \pm 1,816$ mg).

Ráčata byla vysazena celkem do 9 patnáctilitrových akvárií s úkryty ve formě cihel (2 cihly $28,5 \times 13,5 \times 6,5$ cm v každém akváriu, každá se 40 otvory o velikosti 1×3 cm). Počáteční hustota ráčat byla 40 ks na akvárium (333 ráčat.m^{-2}). Raci byli nasazeni do 3 experimentálních skupin, každá 3x opakovaná. První skupinu tvořila samostatná obsádka raka říčního, druhou skupinu samostatná obsádka raka pruhovaného a třetí skupinu smíšená obsádka obou druhů v poměru 1:1. Jednotlivá akvária byla viditelně označena s udáním obsádek.

Odchov byl rozdělena na dvě osmitýdenní fáze během nichž byli raci ve dvoutýdenních intervalech (období) pravidelně přepočítáváni, měřeni a váženi. První fáze odchovu trvala do dosažení stejné průměrné velikosti obou druhů (celkem 4 dvoutýdenní období – 8 týdnů odchovu). Po každém přelovení byli raci doplňováni na původní obsádku 40 raků na akvárium z důvodu velmi nízkého přežití raka pruhovaného.

Druhá fáze odchovu trvala opět 8 týdnů (4 dvoutýdenní období). Hustota raků byla snížena na polovinu (20 raků na akvárium) z důvodu větší velikosti raků. Další změna oproti první fázi byla, že raci již nebyli po přelovení doplňováni na původní hustotu, z důvodu zjištění vlivu mezidruhové konkurence na kumulativní přežití a růst raků. Experiment byl ukončen na konci měsíce října.

Raci byli krmeni mraženým zooplanktonem dvakrát denně v dávce 30% počáteční hmotnosti obsádky při každém přelovení. Teplota vody během experimentu byla průměrně $20,6 \pm 1,2^\circ\text{C}$. Obsah rozpuštěného kyslíku neklesl během experimentu pod $7,5 \text{ mg.l}^{-1}$. Světelný režim byl 12 hodin světlo a 12 hodin tma.

3.6. Terénní odlovy

Terénní odlovy sestávaly z odlovu jedinců pro potřeby experimentů popsanych výše, z odlovů na potvrzení výskytu raka pruhovaného na Vltavě a Malši v Českých Budějovicích a z odlovů pro zjištění ročních ekologických charakteristik raka pruhovaného v menších přítocích údolní nádrže Orlick.

Odchyty raků pro potřebu experimentů byly provedeny na vodním stupni Kořensko (Vltavská kaskáda). Na tomto vodním stupni byla za účelem zjištění škod snížena hladina vody o dva metry. Odchyt byl pak proveden sběrem z obnaženého dna (bahenní sediment) a

prohledáváním potenciálních úkrytů (kameny, větve aj.). Odchyt proběhl ve dnech 18. a 24. dubna 2004.

Stejným způsobem bylo postupováno při zjišťování výskytu raka pruhovaného na Malši a Vltavě v Českých Budějovicích, kde byla snížena hladina vody za účelem opravy jezového zařízení. Odchyt proběhl 17. září 2005.

Při sledování ekologických charakteristik raka pruhovaného během roku byl sledován dolní tok potoků vlévajících se do údolní nádrže Orlík. Byly to tyto toky: Velký potok, Hrejkovický potok a Sobědražský (Jickovický) potok, ve kterých byl v minulých letech výskyt raka pruhovaného pozorován.

Na Velkém a Hrejkovickém potoce byla umístěna a ukryta čidla pro měření teploty a vyznačeny a očíslovány úseky od ústí do nádrže dále proti proudu. Tyto úseky byly přibližně 100 metrů dlouhé a označené číslicemi od 1 do 8 na pobřežních kamenech nebo kmenech stromů.

Při výjezdu na lokalitu byla nejprve změřena teplota vody a poté postupně prohledány všechny úseky. Prohledávány byly potencionální úkryty raků (místa pod kameny, pod vymletými břehy, v kořenech aj.) na jednotlivých úsecích toku.

Při nálezů raka pruhovaného byl proveden záznam s udáním jména toku, čísla úseku na daném toku, teplota vody, pohlaví jedince a jeho velikost. Takto zaznamenaný jedinec byl vrácen zpět do toku, aby mohl být případně dále sledován.

4. Výsledky

4.1. Plodnosti raka pruhovaného

4.1.1. Potenciální plodnost

Nejmenší pohlavně zralá samice využitá v experimentu měla celkovou délku těla 43 mm, délku hlavohruď 19 mm a hmotnost 2,24 g, oproti největší pohlavně zralé samici, která měla délku těla 96 mm, délku hlavohruď 44 mm a hmotnost 29,91 g.

Potenciální plodnost od 20 ks samic raka pruhovaného o průměrné celkové délce těla $54,1 \pm 12,64$ mm (43 - 93 mm) byla zjištěna v průměru $130,8 \pm 107,63$ (46 - 505) oocytů II. řádu. Velikost oocytů II. řádu byla zjištěna průměrně $1,2 \pm 0,24$ mm (0,9 - 1,7 mm). Potenciální plodnost prokazovala úzkou lineární závislost na délce těla samic (Graf 5.). Gonadosomatický index (GSI) byl u těchto samic zjištěn na úrovni $4,2 \pm 1,8\%$ (0,83 - 7,74%). Hepatosomatický index (HSI) těchto samic byl zjištěn na úrovni $3,19 \pm 0,55\%$ (v rozsahu 2,16 - 4,17%).

Gonadosomatický index (GSI) u 11 ks samců byl stanoven na úrovni $0,31 \pm 0,05\%$ (0,21 - 0,37%). Nejmenší samec použitý v experimentu měl délku těla 47 mm, délku hlavohruď 22 mm a hmotnost 3,09 g, největší potom celkovou délku 62 mm, délku hlavohruď 29 mm a hmotnost 7,45 g. Hepatosomatický index (HSI) těchto samců byl zjištěn na úrovni $3,05 \pm 0,36\%$ (v rozsahu 2,54 - 3,76%). U samců raka pruhovaného bylo rovněž provedeno oddělené zvážení *testes* a vývodných cest („*vas deferens*“) a zjištěn jejich podíl na celkové hmotnosti gonád. Samotná *testes* se na celkové hmotnosti gonád podíleli průměrně z $60,3 \pm 7,6\%$ (z rozsahu 48 - 75,7%) (Graf 1.).

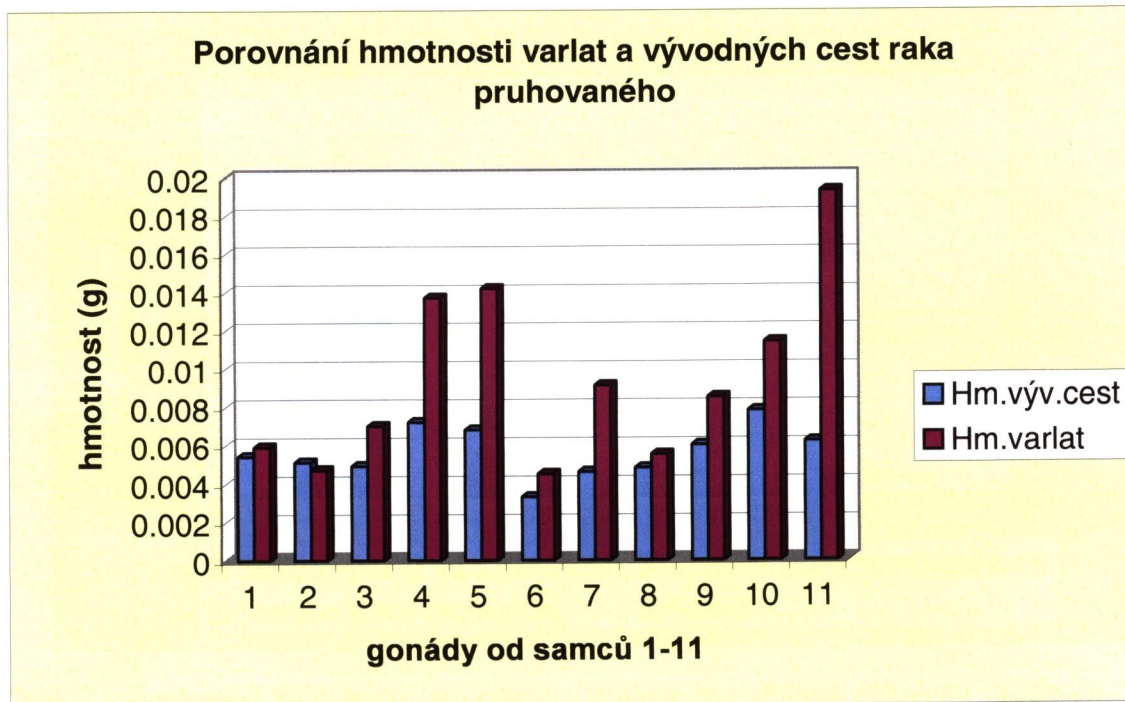
Na konci experimentů pro zjištění pleopodální a pracovní plodnosti byla provedena pitva samic, které během odchovu ztratily vajíčka a nebo vajíčka vůbec nenakladly.

U samic, které vůbec nenakladly vajíčka byla zjištěna absolutní plodnost $128,5 \pm 51,1$ (78 - 208) oocytů II. řádu a GSI na úrovni $0,792 \pm 0,314\%$ (0,374 - 1,371%). U některých samic byly vaječníky špatně vyvinuté a vyskytovaly se v nich jen oocyty I. řádu. HSI těchto samic byl zjištěn na úrovni $2,87 \pm 0,62\%$ (v rozsahu 1,96 - 3,77%).

U samic, které ztratily vajíčka během odchovu bylo patrné zmenšení vaječníků a jejich obsahu. U těchto samic nebyla zjištěna absolutní plodnost, protože ve vaječnicích byly pouze

oocyty I. řádu. GSI byl zjištěn na úrovni $0,334 \pm 0,078\%$ ($0,276 - 0,514\%$). HSI těchto samic byl zjištěn na úrovni $2,26 \pm 1,09\%$ (v rozsahu $1,26 - 4,74\%$).

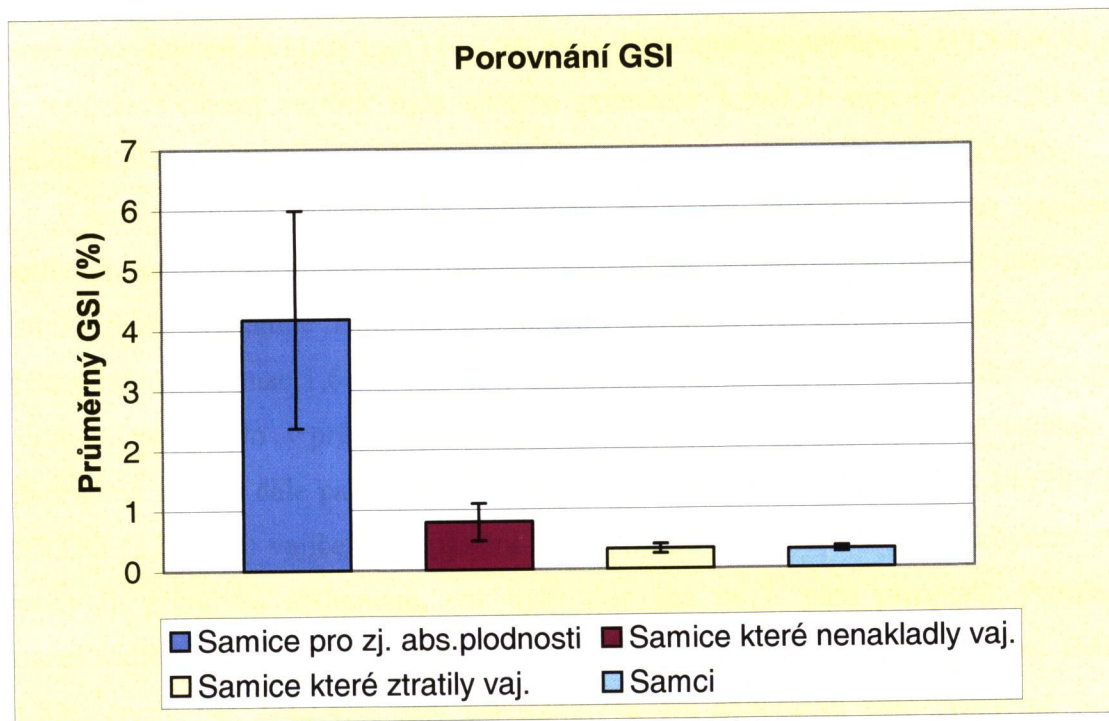
Graf 1.: Porovnání podílu testes a vývodných cest na celkové hmotnosti gonád.



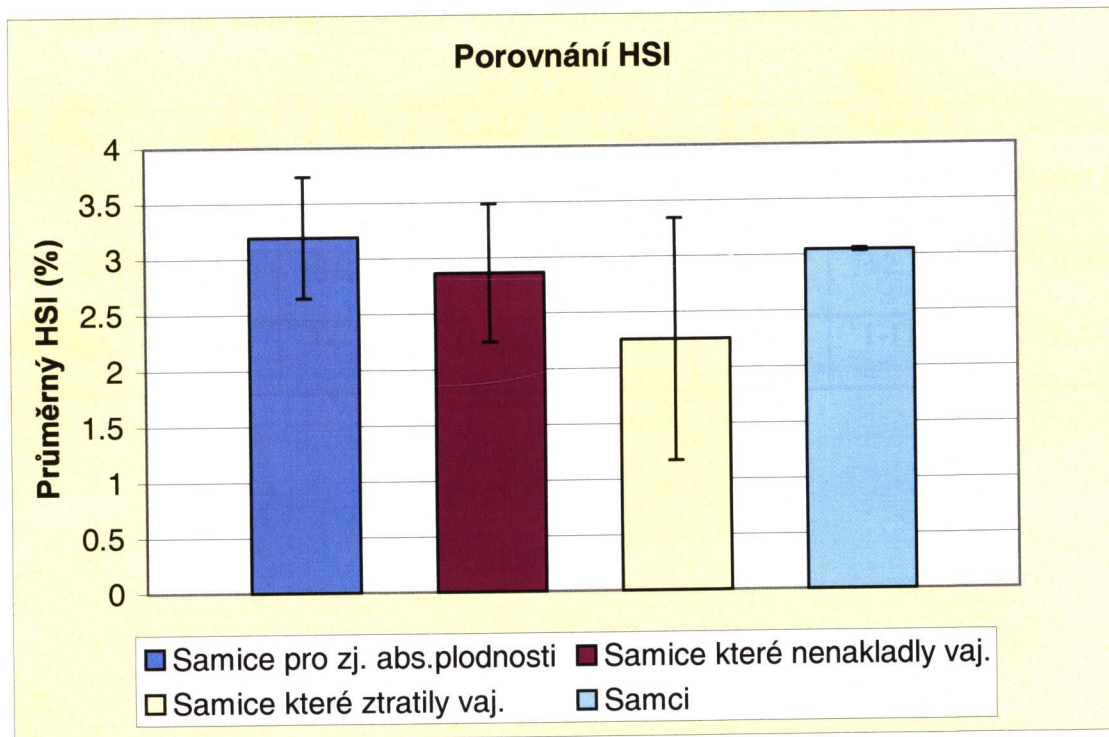
Při porovnání GSI samic použitých v pokusu na zjištění absolutní plodnosti $4,2 \pm 1,8\%$ ($0,83 - 7,74\%$), GSI samic, které nenakladly vajíčka $0,792 \pm 0,314\%$ ($0,374 - 1,371\%$) a GSI samic, které ztratily vajíčka během odchovu $0,334 \pm 0,078\%$ ($0,276 - 0,514\%$) jsou patrné značné rozdíly, které jsou statisticky významné. Nízké hodnoty GSI samic, které nenakladly vajíčka a samic, které ztratily vajíčka během odchovu jsou zřejmě dány nastalým vstřebáváním nenakladených vajíček resp. výskytem pouze oocytů I. řádu. Tímto pokusem jsme získali informace o GSI těsně před naklazením vajíček, po naklazení vajíček a po neúspěšné reprodukci (Graf 2.).

Rovněž byl porovnán HSI samic použitých v pokusu na zjištění absolutní plodnosti $3,19 \pm 0,55\%$ (v rozsahu $2,16 - 4,17\%$), HSI samic, které nenakladly vajíčka $2,87 \pm 0,62\%$ (v rozsahu $1,96 - 3,77\%$), HSI samic, které ztratily vajíčka během odchovu $2,26 \pm 1,09\%$ (v rozsahu $1,26 - 4,74\%$) a HSI samců $3,05 \pm 0,36\%$ (v rozsahu $2,54 - 3,76\%$). Významný rozdíl je možné pozorovat pouze u samic, které nakladly a ztratily vajíčka. Jejich nižší HSI je možno zdůvodnit odčerpáním zásob při dozrávání a kladení vajíček (Graf 3.).

Graf 2.: Porovnání GSI samic použitých v pokusu pro zjištění absolutní plodnosti; samic, které nenakladly vajíčka; samic, které ztratily vajíčka během odchovu s připojením GSI samců.



Graf 3.: Porovnání HSI samic použitých v pokusu pro zjištění absolutní plodnosti; samic, které nenakladly vajíčka; samic, které ztratily vajíčka během odchovu s připojením HSI samců.



pleopodální plodnost

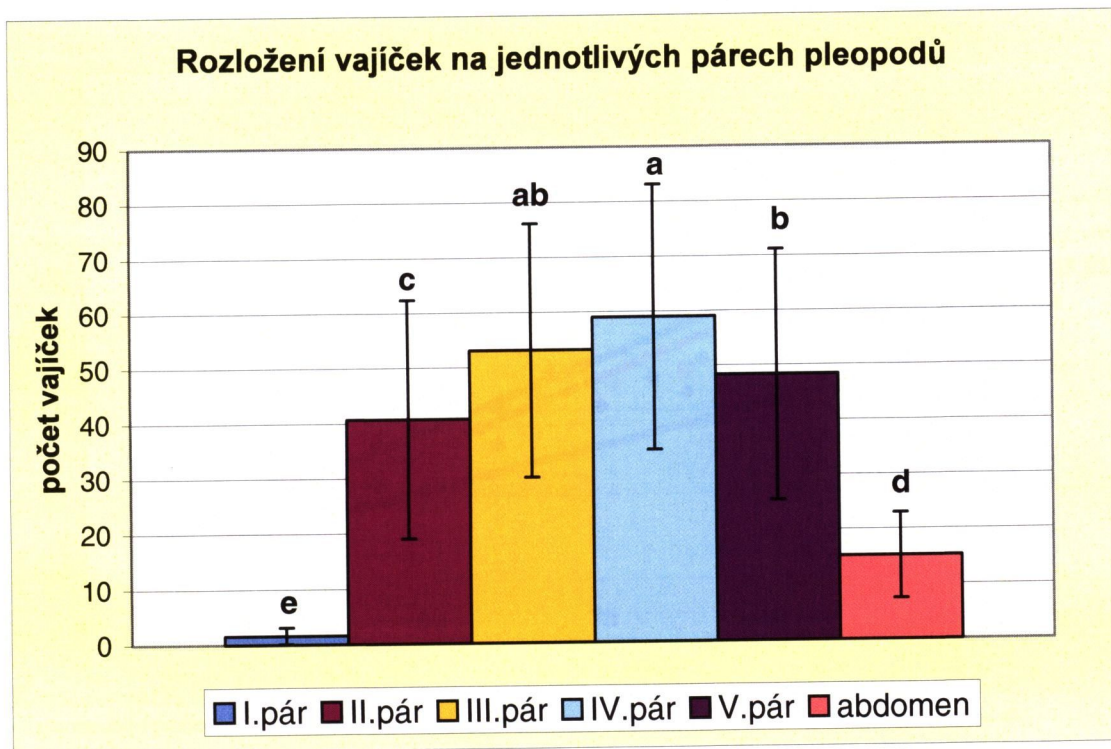
Pleopodální plodnost byla zjištěna od 16 ks samic raka pruhovaného o průměrné délce těla $66,8 \pm 11,68$ mm (47 - 96 mm). Byla zjištěna průměrně $217,8 \pm 94,93$ (95 - 320) vajíček. Velikost vajíček byla zjištěna průměrně $1,8 \pm 0,21$ mm (1,45 - 2,15 mm). Pleopodální plodnost prokazovala úzkou lineární závislost na délce těla samic (Graf 5.).

Při zjištění pleopodální plodnosti bylo též zjištěno procento vajíček na jednotlivých párech pleopodů. Rozmístění vajíček na jednotlivých párech pleopodů se velmi významně lišilo. Na prvním páru pleopodů bylo zjištěno statisticky nejméně v průměru pouze $1,6 \pm 1,50$ (0 - 5) vajíčka, tedy pouze necelé 1% z celkového počtu. Na druhém páru bylo v průměru $40,7 \pm 21,69$ (14 - 110) vajíček. Nejvíce vajíček bylo zjištěno na 3., 4. a dále pak na 5. páru a to $53,1 \pm 23,08$ (25 - 122), $59,0 \pm 24,14$ (28 - 117), $53,0 \pm 23,08$ (25 - 115) vajíček. V průměru $15,2 \pm 7,76$ (1 - 31) vajíček bylo uchyceno mimo pleopody, přímo na abdomenu, což bylo více než na 1. páru pleopodů. Procentické zastoupení vajíček na pleopodech bylo: první pár $1 \pm 0,6\%$, druhý pár $18 \pm 2,7\%$, třetí pár $27 \pm 2,4\%$, čtvrtý pár $27 \pm 2,4\%$, pátý pár $22 \pm 2,7\%$. Na abdomenu bylo průměrně $7 \pm 2,7\%$ vajíček. Statisticky významně se nelišil pouze podíl vajíček na 3. a 5. páru pleopodů a na 3. a 5. páru pleopodů (Tab. 1.).

Procentické zastoupení vajíček na jednotlivých pleopodách.

	1. pár	2. pár	3. pár	4. pár	5. pár	Mimo	Celkem (počet ks)
TD	$1 \pm 0,6^c$	$18 \pm 2,7^c$	$25 \pm 1,8^{ab}$	$27 \pm 2,4^a$	$22 \pm 3,2^b$	$7 \pm 2,7^d$	$217,8 \pm 94,93$
max	0-2	14-24	21-27	23-32	16-27	1-11	95-492

Graf 4.: Rozložení vajíček (v ks) na jednotlivých párech pleopodů v raka pruhovaného.

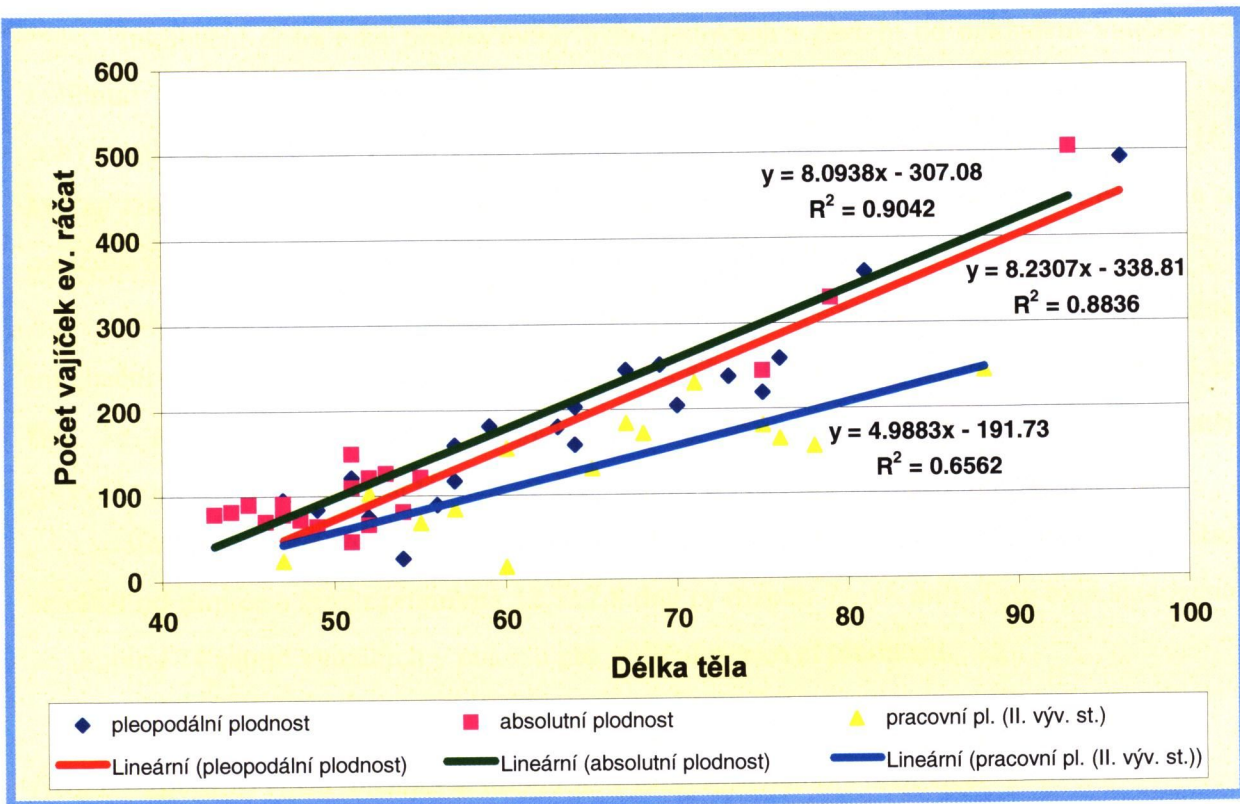


4.1.3. Pracovní plodnost

Pracovní plodnost byla zjištěna spočítáním ráčat raka pruhovaného ve III. vývojovém stádiu tj. po osamostatnění se ráčat od samice u celkem 14 ks samic o průměrné celkové délce těla $65,6 \pm 10,92$ mm (47 - 88 mm). Pracovní plodnost činila průměrně $135,7 \pm 67,24$ (15 - 243) kusů ráčat. U pracovní plodnosti byla prokázána též pozitivní lineární korelace s délkou těla samic, nicméně se zde již projevil negativní vliv prostředí na snížení plodnosti (Graf 5.).

Při statistickém porovnání plodností byla zjištěna statisticky nižší potenciální plodnost než plodnost pleopodální, ale nelišila se od plodnosti pracovní. Při statistickém zhodnocení velikosti samic zařazených do jednotlivých skupin bylo zjištěno, že samice ve skupině pro vyhodnocení pleopodální plodnosti byly statisticky větší než samice v druhých skupinách, kde byla hodnocena potenciální a pracovní plodnost. To bylo způsobeno výběrem samic pro zjištění minimální velikosti plodící samice a zároveň zjištění maximálních plodností.

Graf 5.: Porovnání zjištěných plodností raka pruhovaného vztazených k celkové délce těla samic v mm.



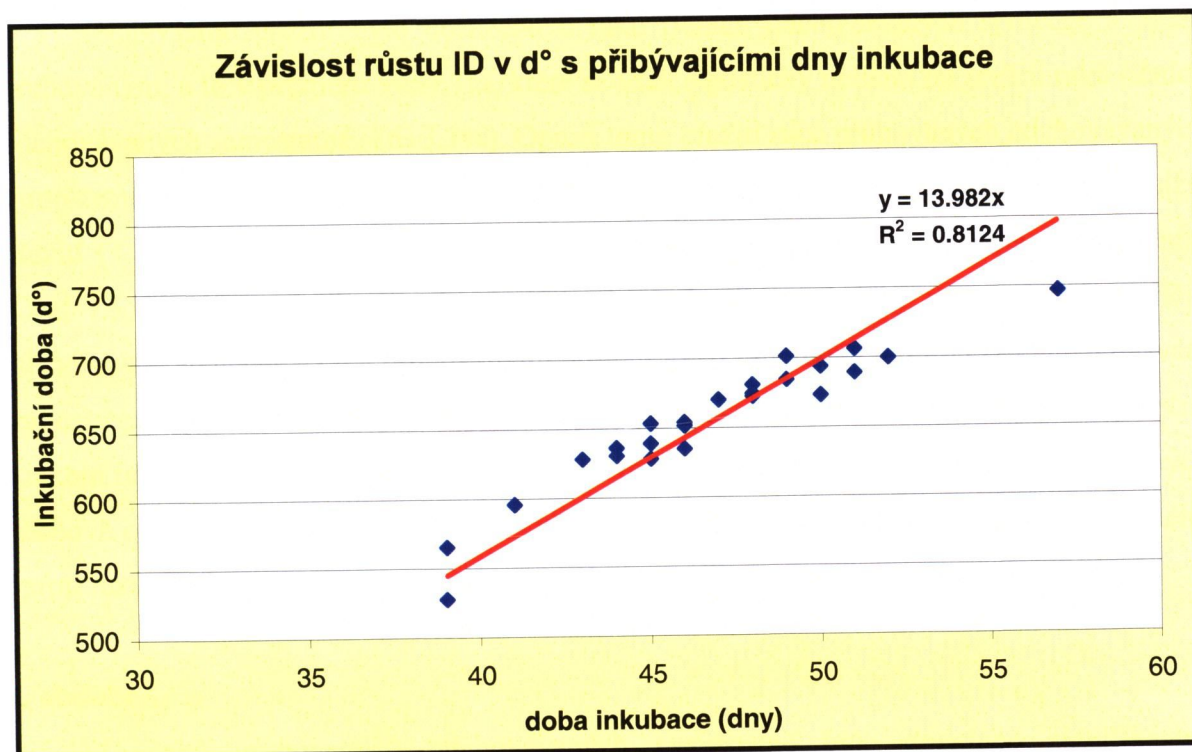
4.2. Inkubační doba raka pruhovaného

Inkubační doba raka pruhovaného byla sledována v období od naklazení vajíček po vylíhnutí ráčat a vypočítána celkem u 26 ks samic. Teplota vody v tomto období se pohybovala od 8,5°C do 17°C. První samice nakladla vajíčka již 17. dubna a poslední 16. května tzn. v rozpětí jednoho měsíce. Líhnutí bylo u první samice sledováno 12. června a u poslední samice se ráčata vylíhla 26. června tzn. v rozpětí čtrnácti dnů.

Inkubační doba byla zjištěna průměrně $647 \pm 39,9 d^\circ$ (v rozpětí 543 - 730 d°). Zjištěná inkubační doba uvedená ve dnech činila průměrně $47,2 \pm 3,9$ dne (v rozpětí 39 - 57 dní). Dá se říci, že samice, které nakladly vajíčka později měly inkubační dobu o něco kratší (pravděpodobně vlivem vyšší teploty vody) – rozdíl ale nebyl statisticky významný.

V rámci tohoto pokusu byla stanovena i doba trvající od líhnutí ráčat do osamostatnění se ráčat od samice a činila průměrně $12,5 \pm 2,8$ dne (v rozpětí 7 - 18 dní). Tato byla stanovena ze skupiny 14 samic využitých v pokusu pro zjištění pracovní plodnosti.

Graf 6.: Závislost růstu inkubační doby v d° s přibývajícími dny inkubace.



4.3. Porovnání růstu a přežití raka pruhovaného a raka říčního

V akvariijní místnosti VÚRH ve Vodňanech byl proveden odchov ráčat raka říčního a raka pruhovaného od druhého respektive třetího vývojového stádia (tzn. po osamostatnění se ráčat od samic) do konce vegetační sezóny (po dobu čtyř měsíců). Ráčata byla odchovávána ve skupinách jednak samostatně v rámci druhu a jednak ve společné obsádce při rovném poměru ráčat obou druhů 1:1.

Průměrná celková délka těla raka říčního při začátku experimentu byla $11,1 \pm 0,60$ mm (v rozmezí 10 - 12 mm) a průměrná hmotnost činila $44,37 \pm 3,201$ mg (v rozmezí 37,1 - 51,5 mg). Průměrná celková délka těla raka pruhovaného na začátku experimentu byla $7,1 \pm 0,73$ mm (v rozmezí 7 - 8 mm) a průměrná hmotnost $8,83 \pm 1,816$ mg (v rozmezí 5,8 - 11,8 mg). Rozdíl ve velikosti ráčat raka říčního a raka pruhovaného při nasazení byl zcela zjevný a statisticky průkazný.

První fáze odchovu

1. období

Nejvyššího přežití bylo dosaženo u raků říčních odchovávaných společně s rakem pruhovaným, a to v průměru $90 \pm 7,1\%$, které se však statisticky nelišilo od přežití raků říčních odchovávaných samostatně ($86 \pm 3,1\%$). Oproti tomu přežití raků pruhovaných odchovávaných samostatně bylo statisticky významně nižší $49 \pm 9,2\%$ než u raka říčního. Statisticky nejnižší přežití ($7 \pm 6,2\%$) bylo u raka pruhovaného, který byl odchováván společně s rakem říčním (Graf 7.). Rozdíl ve velikosti a hmotnosti raků byl stále statisticky významný. Raci říční odchovávaní společně s raky pruhovanými dosáhli vyšší hmotnosti než raci říční odchovávaní samostatně. Tyto dosažené výsledky ukázaly, že větší velikost raka říčního žijícího společně s rakem pruhovaným významně negativně ovlivňuje přežití raka pruhovaného. U oddělených odchovů obou druhů raků byl prokázán vyšší vnitrodruhový kanibalismus u raka pruhovaného oproti raku říčnímu.

2. období

U raků pruhovaných odchovávaných samostatně bylo dosaženo signifikantně nejnižšího přežití, a to $41 \pm 4,7\%$. Při společném odchovu obou druhů bylo statisticky nižší přežití u raka pruhovaného ($72 \pm 10,2\%$) než u raka říčního ($93 \pm 6,2\%$). Při samostatném odchovu raka říčního bylo přežití $93 \pm 3,5\%$ (Graf 7.). Tyto výsledky opět potvrdily vysoký

vnitrodruhový kanibalismus u raka pruhovaného. Na konci tohoto období byl stále rozdíl ve velikosti a hmotnosti raka říčního a pruhovaného. Největší velikosti a hmotnosti dosáhli raci říční při společném odchovu a dále raci říční odchovávaní samostatně. Mezi velikostí a hmotností těchto dvou skupin raků nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Oproti prvnímu období nejmenší velikosti dosáhli raci pruhovaní odchovávaní samostatně, ale bez statisticky zjištěného rozdílu s raky pruhovanými ve společném odchovu. V tomto období byla zaznamenána změna v chování u raka pruhovaného. Někteří jedinci přestali vyhledávat úkryt a zdržovali se během dne mimo úkryt.

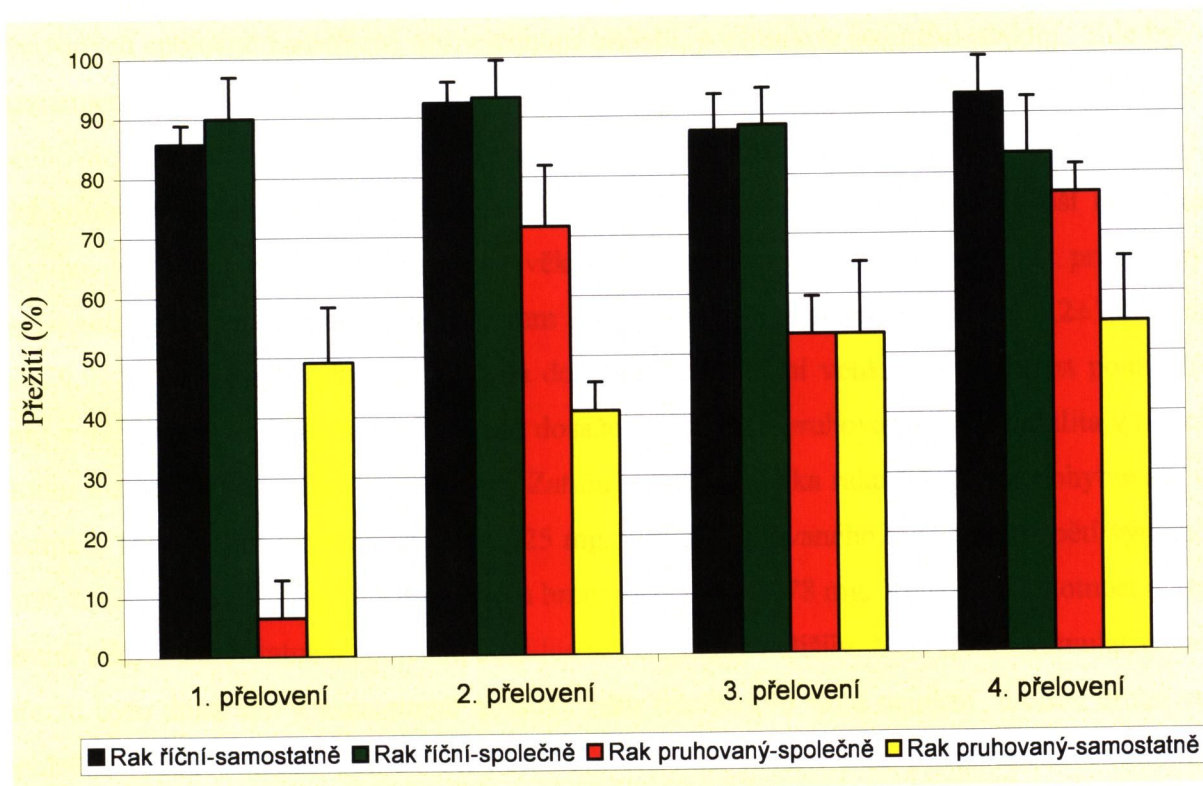
3. období

Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi přežitím raka říčního ($87 \pm 6,12\%$ a $88 \pm 6,2\%$) a raka pruhovaného ($53 \pm 6,2\%$ a $53 \pm 12,0\%$) (Graf 7.). Rozdíl v přežití při samostatném a společném odchovu v rámci druhu nebyl zjištěn. Průměrná velikost raků ve všech skupinách byla vyrovnaná a hmotnost téměř také. Rak pruhovaný ve společném odchovu dosáhl statisticky nižší hmotnosti než rak říční. Zajímavá je ale skladba velikostí raků uvnitř skupin. Obecně lze říci, že velikost raka říčního byla velmi vyrovnaná a pohybovala se na konci třetího období od 11 do 20 mm, přičemž více jak 75 % raků bylo mezi 17 - 19 mm. Oproti tomu populace raka pruhovaného byla značně rozrostlá a velikost se pohybovala od 11 do 29 mm a 80% raků bylo v rozmezí 14 - 20 mm.

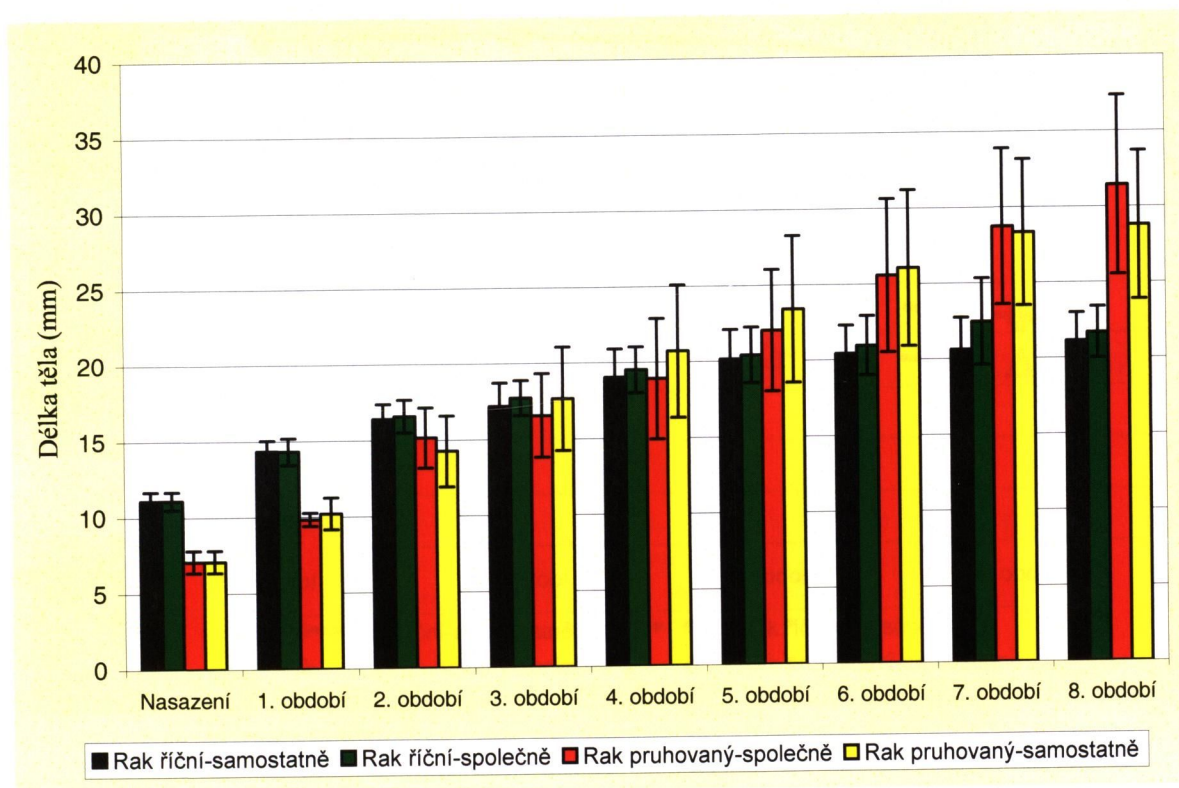
4. období

V závěrečném období první fáze odchovu bylo dosaženo opět nejnižšího přežití v samostatném odchovu raka pruhovaného ($55 \pm 10,8\%$) ve srovnání s vysokým přežitím raka říčního v obou variantách ($93 \pm 6,2\%$ a $83 \pm 9,4\%$). Přežití raka pruhovaného ve společné obsádce s rakem říčním bylo $77 \pm 4,7\%$ (Graf 7.). Pokračoval stále trend velkého rozrůstání raků pruhovaných uvnitř každé skupiny. Ačkoli se průměrná velikost i hmotnost obou druhů na konci období statisticky nelišila, variabilita těchto ukazatelů byla různá (Graf 8.). Velikost raka říčního se pohybovala v rozmezí od 15 do 23 mm oproti raku pruhovanému, kde byla velikost v rozmezí od 12 do 36 mm. Jedinci raka pruhovaného s oběma klepety ve společné obsádce byli větší než jedinci bez klepet.

Graf 7.: Přežití raka říčního a raka pruhovaného v samostatné a společné obsádce během první fáze odchovu.



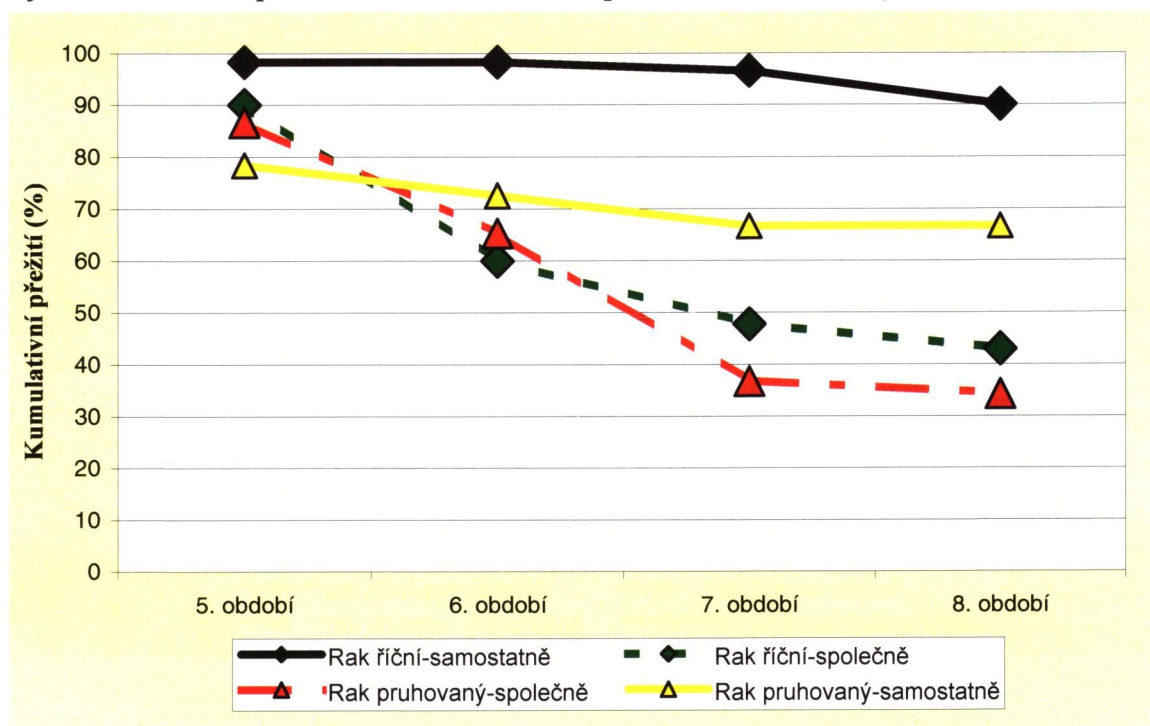
Graf 8.: Průměrná délka raka říčního a raka pruhovaného v samostatné a společné obsádce při jednotlivých přeloveních.



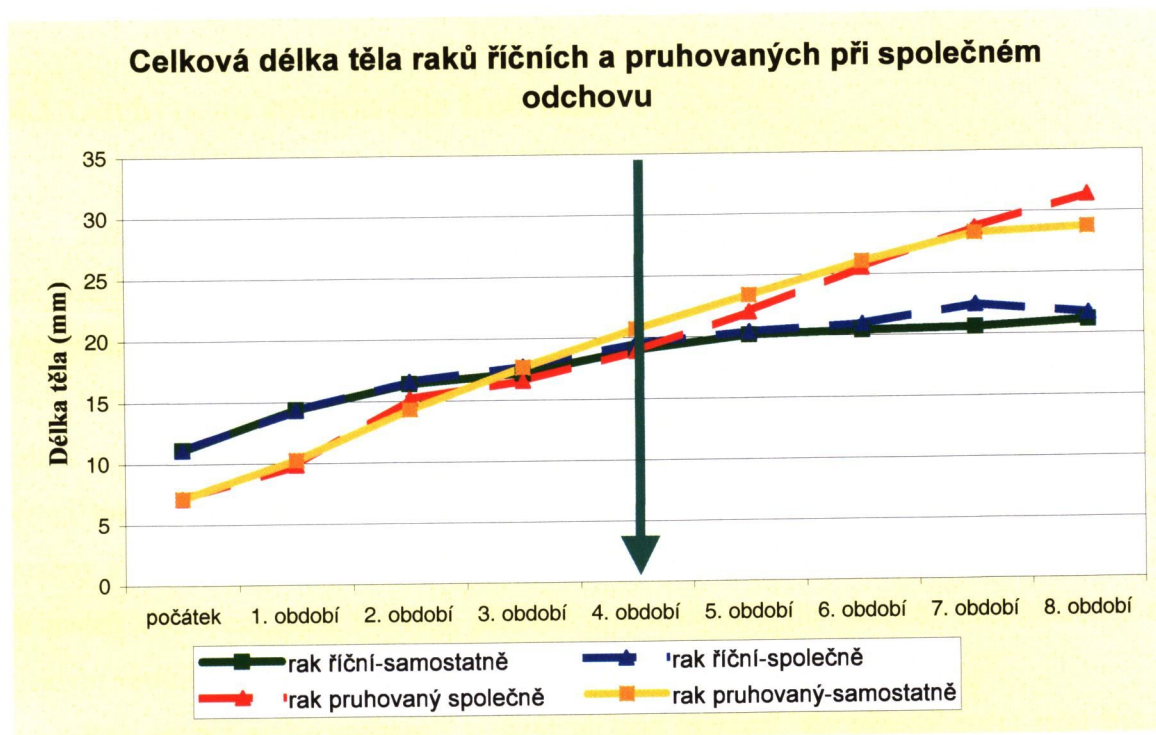
Druhá fáze odchovu

V průběhu druhé fáze odchovu nebyl nalezen rozdíl v přežití obou druhů raků chovaných společně i odděleně ani v jednom období, s výjimkou sedmého období. Zde bylo zaznamenáno vyšší přežití v samostatných obsádkách u obou druhů (rak říční $98 \pm 2,5\%$ a rak pruhovaný $92 \pm 6,0\%$) oproti společné obsádce (rak říční $65 \pm 2,1\%$ a rak pruhovaný $56 \pm 6,2\%$). Od konce 5. období byla průměrná velikost a hmotnost raka pruhovaného vyšší než raka říčního. Na konci vegetační sezóny ve věku 19 týdnů (od vylíhnutí) dosáhl rak pruhovaný vyšší velikosti a hmotnosti ($29,3 \pm 5,17$ mm a $616,4 \pm 412,53$ mg) než rak říční ($21,2 \pm 1,82$ mm a $229,9 \pm 59,45$ mg). U raka říčního byla dosažena maximální velikost a hmotnost pouze 26 mm a 425 mg oproti 46 mm a 2578 mg dosažených u raka pruhovaného. Variabilita v rámci druhu u raka pruhovaného byla značná. Zatímco celková délka raka říčního se pohybovala v rozmezí 18 - 26 mm a hmotnost 132 - 425 mg, u raka pruhovaného bylo toto rozpětí výrazně širší, a to u celkové délky 22 - 46 mm a u hmotnosti 205 - 2578 mg. Velikost a hmotnost obou druhů raků v samostatné a společné obsádce se statisticky nelišily. Nejvyššího kumulativního přežití bylo dosaženo u samostatné obsádky raka říčního (90 %) a nejnižší u obou druhů ve společné obsádce (méně než 50 %) (Graf 9.). Největší jedinci raka pruhovaného v každém akváriu byly vždy samice.

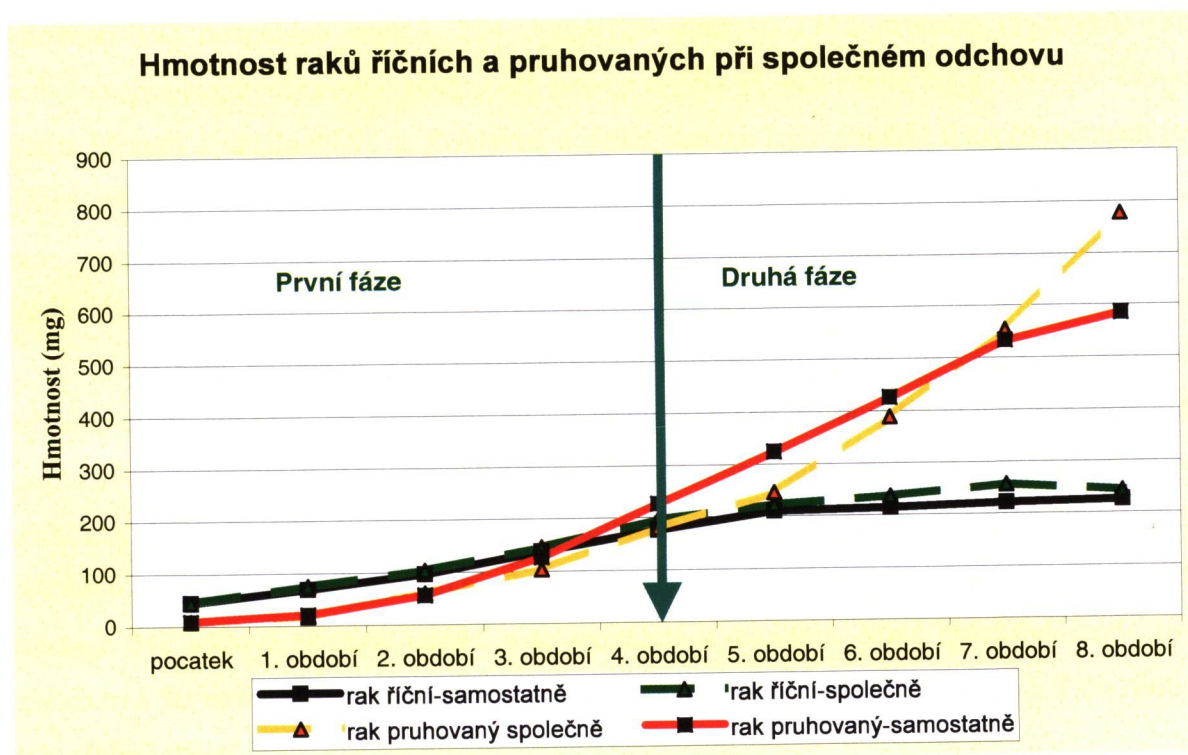
Graf 9.: Kumulativní přežití raka říčního a raka pruhovaného v druhé fázi odchovu.



Graf 10.: Vývoj celkové délky odchovávaných raků v mm během v experimentu.



Graf 11.: Vývoj hmotnosti odchovávaných raků v gramech v průběhu experimentu.



4.4. Terénní odlovy

4.4.1. Odchyty na vodním díle Kořensko

Jednalo se o odchyt jedinců raka pruhovaného pro potřeby výzkumu tohoto druhu raka. Jedinci získaní z těchto odchytů byly využity pro potřeby experimentů popisovaných v této práci.

Odchyty proběhly ve dnech 18. a 26. dubna 2004. Na vodním stupni Kořensko byla za účelem zjištění škod způsobených povodní snížena hladina vody. Odchyt byl pak proveden sběrem raků z obnaženého dna (bahenní sediment) a prohledáváním potenciálních úkrytů (kameny a větve stromů na dně). Obnažené dno bylo prohledáno v pásmu dlouhém přibližně 300 metrů a širokém max. 5 metrů, přičemž prohledávání bylo zahájeno bezprostředně nad objektem vodního stupně Kořensko.

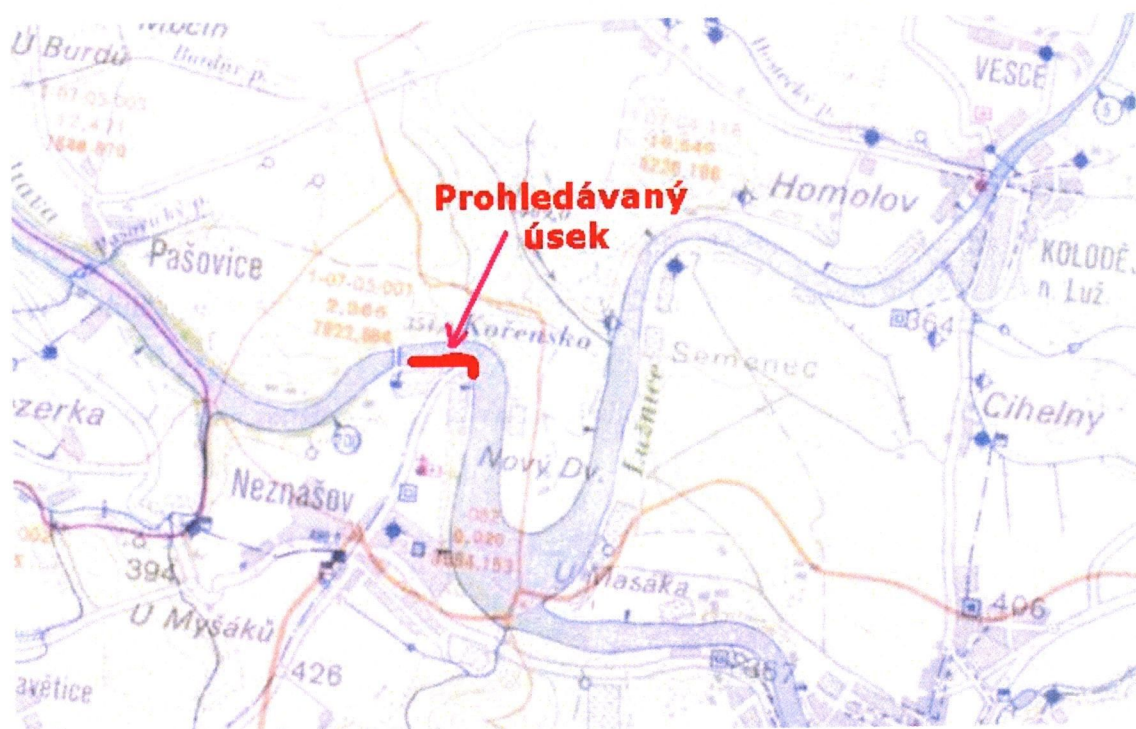
Raci se nejčastěji nacházeli v úkrytech pod kameny, ale značný počet raků byl též nalezen přímo na sedimentu – tyto raci směřovali směrem zpátky do vodního žvlvu. Při odlovu dne 26. dubna byly odchyceny samice, které už nakladly vajíčka. Celkově bylo odloveno 192 dospělých samců, 204 dospělých samic a 1512 juvenilů (1 letých) raka pruhovaného. Nejmenší pohlavně dospělá samice měřila 41 mm vážila 2,1 g. Největší samice měřila 96 mm a vážila 29,91 g. Pohlavně dospělé samice byly použity v experimentech pro zjištění plodností a inkubační doby. Průměrná celková délka juvenilních jedinců byla 38,2 mm, z rozmezí od 17 do 55 mm. Dospělí jedinci reprezentovali 26% z celé populace. Poměr pohlaví byl přibližně 1:1.

Velikostní rozdělení a také plodnost dospělých samic nás navádí k rozdělení do nejméně dvou, ale spíše tří věkových tříd. Většina odlovených dospělých samic náležela do „nejmladší“ (jednoleté) skupiny s celkovou délkou těla menší než 60 mm. Nicméně ve velikostní skupině od 50 do 60 mm vykazovaly jasně samice dvojí rozmezí plodností, a to 50 - 80 nebo 110 - 150 vajíček na samici. Proto je možné předpokládat, že tato velikostní skupina zahrnuje dvě věkové skupiny samic, a to jednoleté a dvouleté. Malé množství samic bylo větších než 90 mm s velmi vysokou plodností (až okolo 500 vajíček na samici). Tyto samice byly zřejmě tříleté.

Vzhledem k značnému množství odchycených jedinců můžeme říci, že na této lokalitě je vysoká abundance tohoto druhu raka.

Během odchytů nebyl nalezen žádný jiný druh raka.

Obr. 3.: Lokalizace místa odchyty raka pruhovaného na vodním díle Kořensko.



4.4.2. Odchyt na soutoku řek Vltavy a Malše

Tento odchyt byl proveden za účelem ověření výskytu raka pruhovaného na řekách Malši a Vltavě v Českých Budějovicích. Úsek části Vltavy a Malše byl vypuštěn za účelem opravy jezového zařízení na Vltavě dne 17. září 2005.

Při odchytu bylo nalezeno 16 ks juvenilních jedinců raka pruhovaného. Naprostá většina raků byla nalezena přímo v místě soutoku řek Vltavy a Malše a pouze dva kusy byly nalezeny přibližně 1,5 km od soutoku na řece Malši. Jelikož sledovaný úsek byl vypouštěn postupně v noci a časných ranních hodinách, mnoho raků se stačilo ještě za tmy přemístit zpět do vody před prozkoumáním úseků. To bylo patrné podle typických stop v bahenním sedimentu směřujících od úkrytů raků do vody (tyto stopy se nacházely jak na soutoku obou řek tak i na různých úsecích proti proudu Malše a Vltavy). Podle šíře i hloubky stop lze usuzovat, že se jednalo o větší jedince. Juvenilové ještě zřejmě nejsou schopni tak dobře reagovat na změny stavu hladiny a navíc pohyb v jemném bahně jim dělá značné problémy (bylo nalezeno několik jedinců uhynulých v bahně „na půl cesty“ od vody).

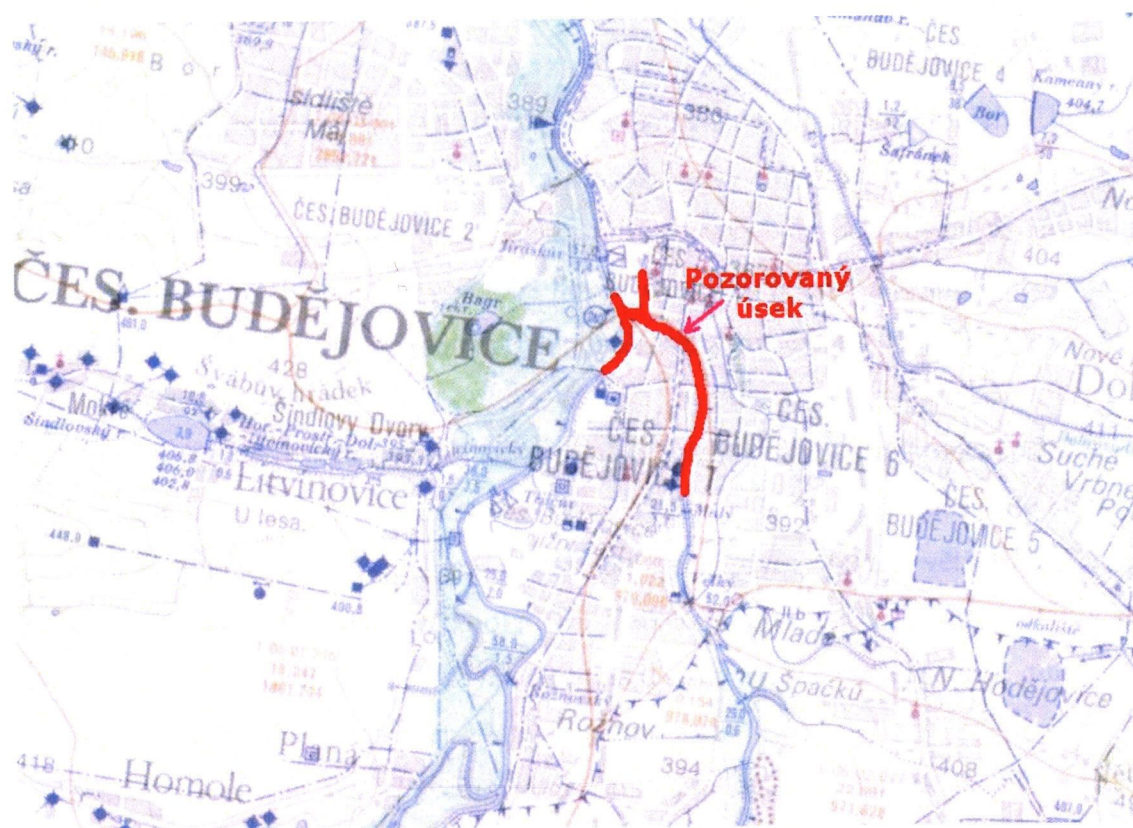
Zejména podle stop pozorovaných v bahenním sedimentu zde lze usuzovat na poměrně velkou abundanci raka pruhovaného. Rozhodně ale není tak velká jako při odchytu

na vodním díle Kořensko. Podle velikosti stop se dá usuzovat i o přítomnosti starších věkových kategorií.

Na řekách Vltavě a Malši v Českých Budějovicích byl tímto průzkumem ověřen výskyt raka pruhovaného. Během odchyty nebyl nalezen žádný jiný druh raka.

Dle zkušenosti z této i předchozí lokality lze poukázat na rychlou reakci raka pruhovaného na změnu vodní hladiny a jeho rychlé přemístění zpět do vodního živlu. V tom mu často příliš nevádí ani vysoká vrstva jemného bahenního sedimentu.

Obr. 4.: Lokalizace místa odchyty raka pruhovaného na Vltavě a Malši v Českých Budějovicích.



4.4.3. Kontrolní odlovy na přítocích Ú.N.Orlík

Tyto odlovy byly prováděny za účelem sledování ekologických charakteristik raka pruhovaného v menších přítocích údolní nádrže Orlík. Odlovy proběhly ve čtyřech termínech, a to 28. února., 3. a 31. května a 30. června 2005 na potocích Velký, Hrejkovický a Sobědražský (Jickovický).

První odlov proběhl 28. února a prohledány byly úseky potoků Hrejkovického a Velkého. Jednalo se o předběžný zimní průzkum. Jeho účelem bylo zjištění zda se rak pruhovaný ve sledovaných lokalitách vyskytuje i v zimním období. Počasí bylo jasné s teplotou těsně pod bodem mrazu. Teplota vody byla naměřena na Hrejkovickém potoce 1°C a na Velkém potoce 0,5°C. Ani v jednom toku nebyl nalezen ani jeden jedinec raka pruhovaného.

Druhý odlov byl proveden 3. května opět na potocích Velký a Hrejkovický. Počasí bylo polojasné a teplota vody na obou lokalitách byla 7,5°C. Na Velkém potoce na úseku číslo 2. byl pozorován jeden juvenilní jedinec, ale nepodařilo se jej odchytit. Na potoce Hrejkovickém nebyl nalezen žádný jedinec raka pruhovaného.

Třetí odlov proběhl 31. května na potocích Velký, Hrejkovický a Sobědražský (Jickovický). V tento den bylo polojasné až oblačné počasí a teplota vody na všech třech lokalitách se pohybovala mezi 19,5 - 20°C. Na potocích Hrejkovický a Velký byla silně zakalená voda po dešti v minulých dnech a možná i díky tomu nebyl na těchto lokalitách nalezen ani jeden rak. Na potoce Sobědražský (Jickovický) byly pozorováni tři jedinci raka pruhovaného, přičemž odlovit se podařilo pouze dva. Všichni se nacházeli nedaleko ústí potoka do nádrže. Oba odchycení jedinci byli dospělí samci o celkové délce těla 47 a 59 mm a délce hlavohruď 20 a 28 mm.

Čtvrtý odlov se uskutečnil 30. června na potocích Velký a Hrejkovický. Počasí bylo oblačné a teplota vody byla 22°C v potoce Velký a 23°C v potoce Hrejkovickém. V Hrejkovickém potoce na prvním úseku byl pozorován jeden větší jedinec raka pruhovaného, ale nepodařilo se ho odlovit. Ve Velkém potoce byl v prvním úseku odloven jeden samec raka pruhovaného o celkové délce těla 65 mm a délce hlavohruď 31 mm.

Během odchytů nebyl nalezen žádný jiný druh raka.

Všichni sledovaní i odchycení jedinci raka pruhovaného na všech lokalitách byli nalezeni v blízkosti ústí jednotlivých toků, nejdále přibližně 150 m od ústí na Velkém potoce. Všichni sledovaní jedinci byli odchyceni z jejich úkrytů pod kameny. Z odlovů není jisté zda nalezení jedinci žijí trvale v toku, nebo zda-li šlo o jedince migrující z údolní nádrže Orlík. Zajímavý je i fakt, že všichni odchycení jedinci raka pruhovaného byli samci.

Obr. 5.: Lokalizace místa odlovů raka pruhovaného na Hrejkovickém potoce.



Obr. 6.: Lokalizace místa odlovů raka pruhovaného na Velkém potoce.



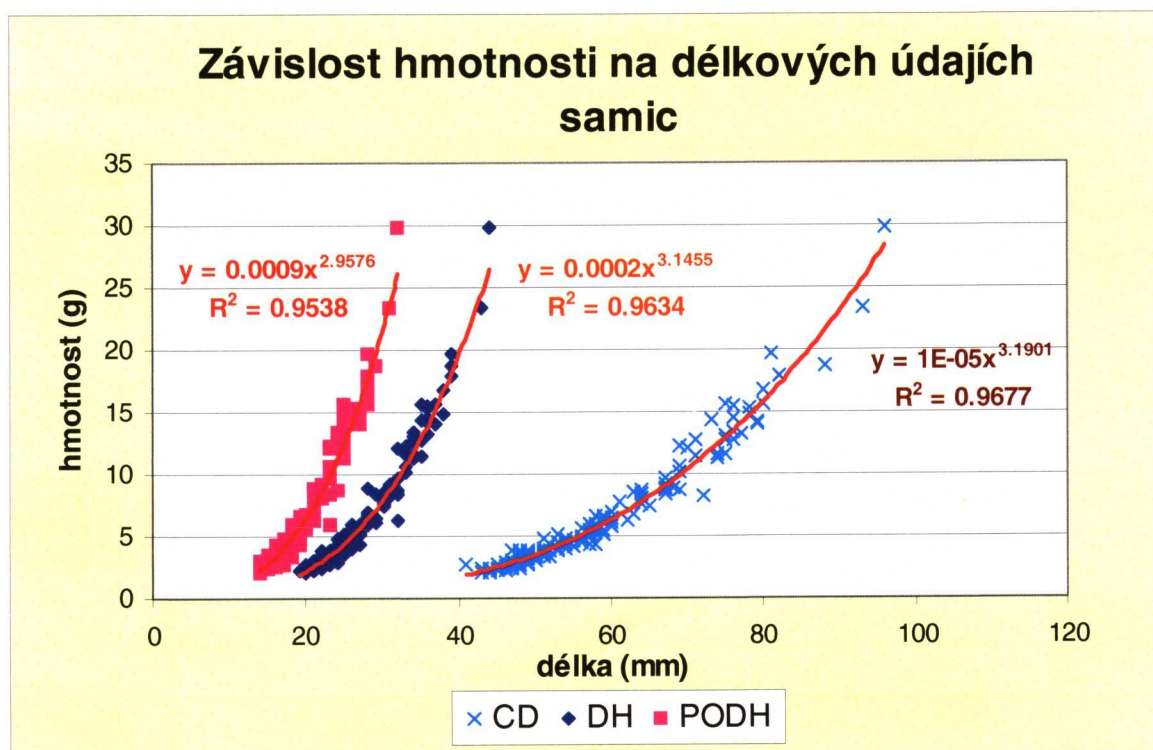
Obr. 7.: Lokalizace místa odlovů raka pruhovaného na Sobědražském (Jickovickém) potoce.



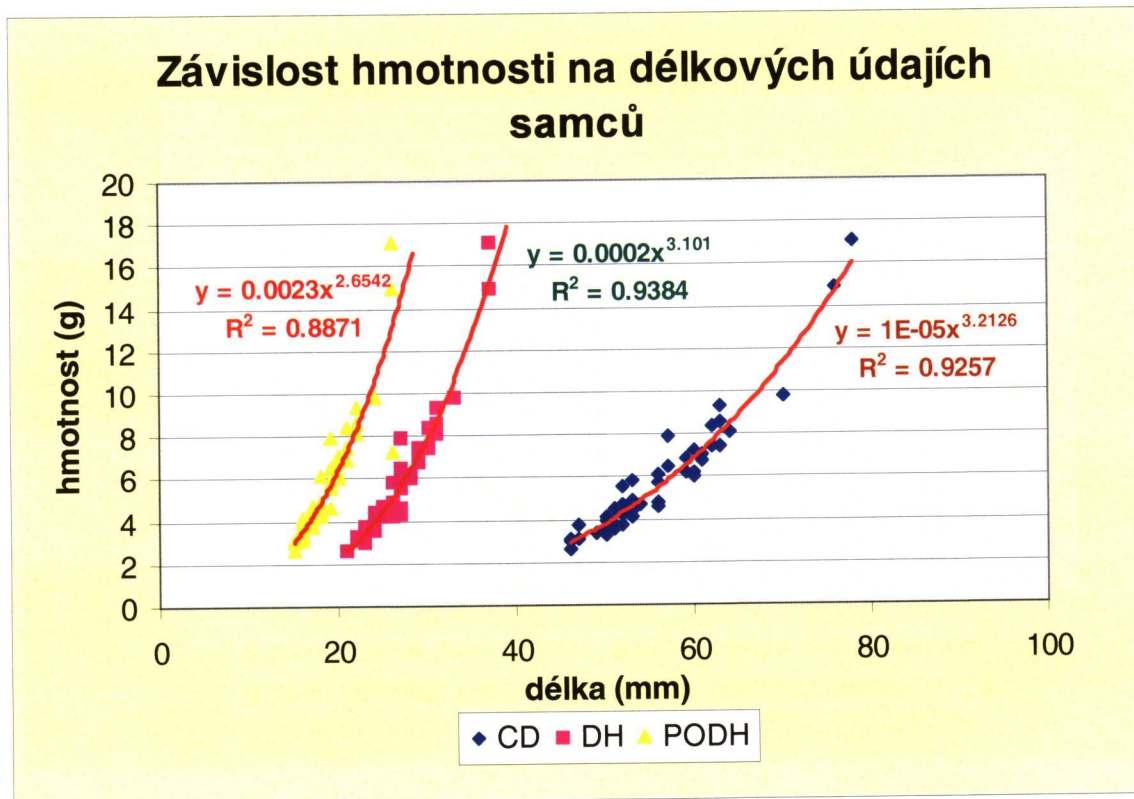
4.5. Biometrika raka pruhovaného

U všech raků použitých v pokusech byla provedena biometrická měření. Všichni raci byli pohlavně dospělí. Jednalo se celkem o 149 ks samic a 51 ks samců. Nejmenší pohlavně dospělá samice měla celkovou délku těla 41 mm a vážila 2,1 g, největší samice pak 96 mm a 29,91 g. Průměrná velikost samic užitých pokusech byla $58,38 \pm 11,39$ mm a jejich průměrná hmotnost činila $6,68 \pm 4,71$ g. Nejmenší použitý samec měl celkovou délku těla 46 mm a hmotnost 2,6 g. Průměrná velikost samců užitých pokusech byla $55,43 \pm 6,93$ mm a jejich průměrná hmotnost činila $5,71 \pm 2,74$ g. Byla zjištěna mocninná korelace mezi celkovou délkou těla raků, délkou hlavohruďi, postorbitální délkou hlavohruďi a hmotností (Graf 12., 13., 14.). Průměrná celková délka těla a hmotnost samic byla vyšší než u samců a zároveň v těchto hodnotách vykazovaly samice vyšší rozptyl (Graf 15.). Délka hlavohruďi vykazuje úzkou lineární závislost k celkové délce těla (Graf 16.).

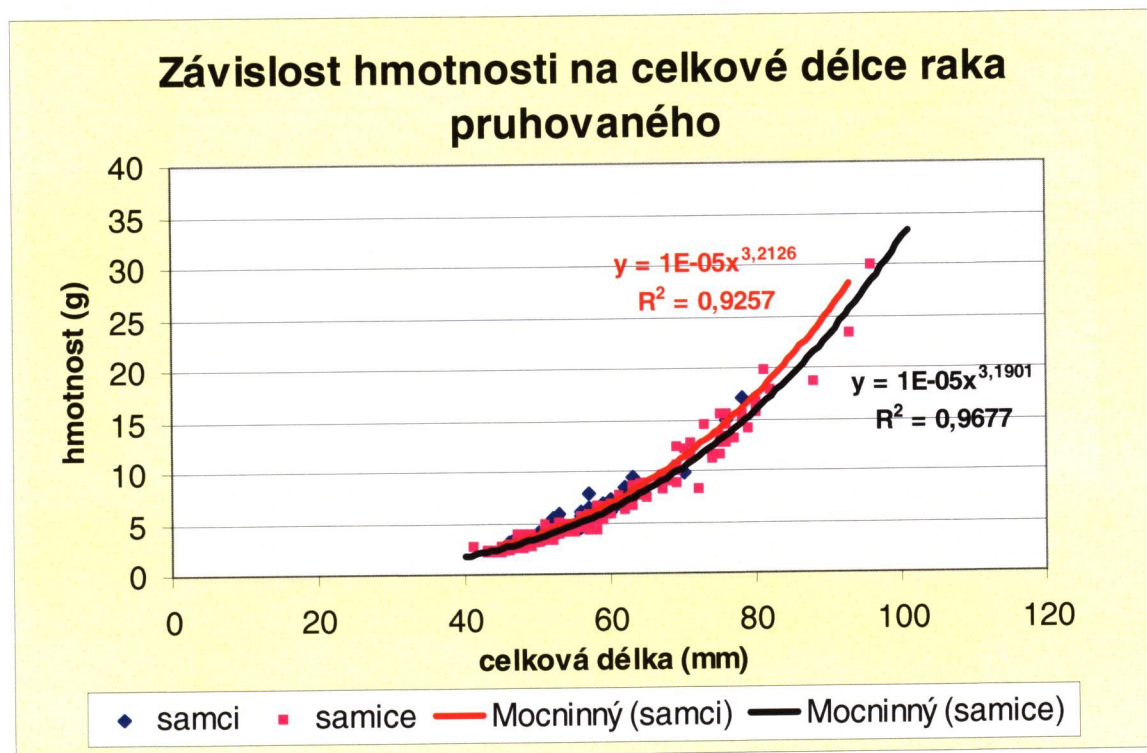
Graf 12.: Závislost růstu hmotnosti na růstu celkové délky těla (CD), délky hlavohruďi (DH) a postorbitální délky hlavohruďi (PODH) u samic raka pruhovaného.



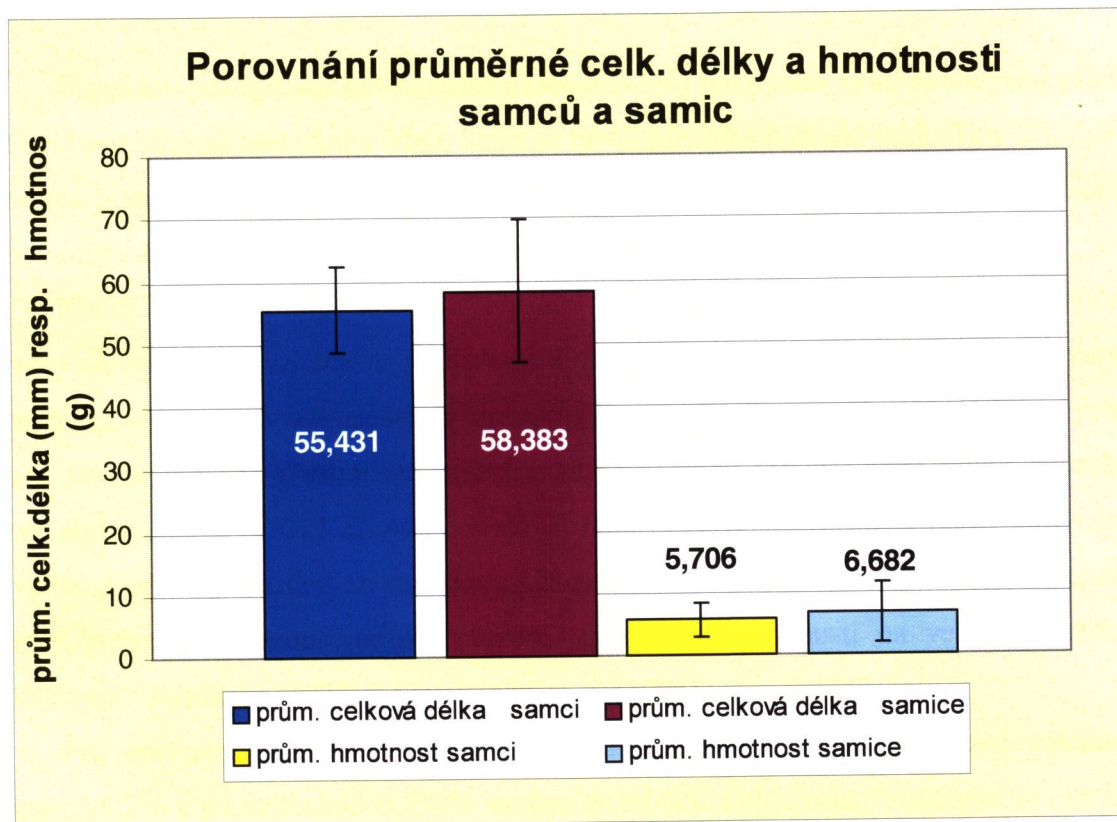
Graf 13.: Závislost růstu hmotnosti na růstu celkové délky těla (CD), délky hlavohruď (DH) a postorbitální délky hlavohruď (PODH) u samců raka pruhovaného.



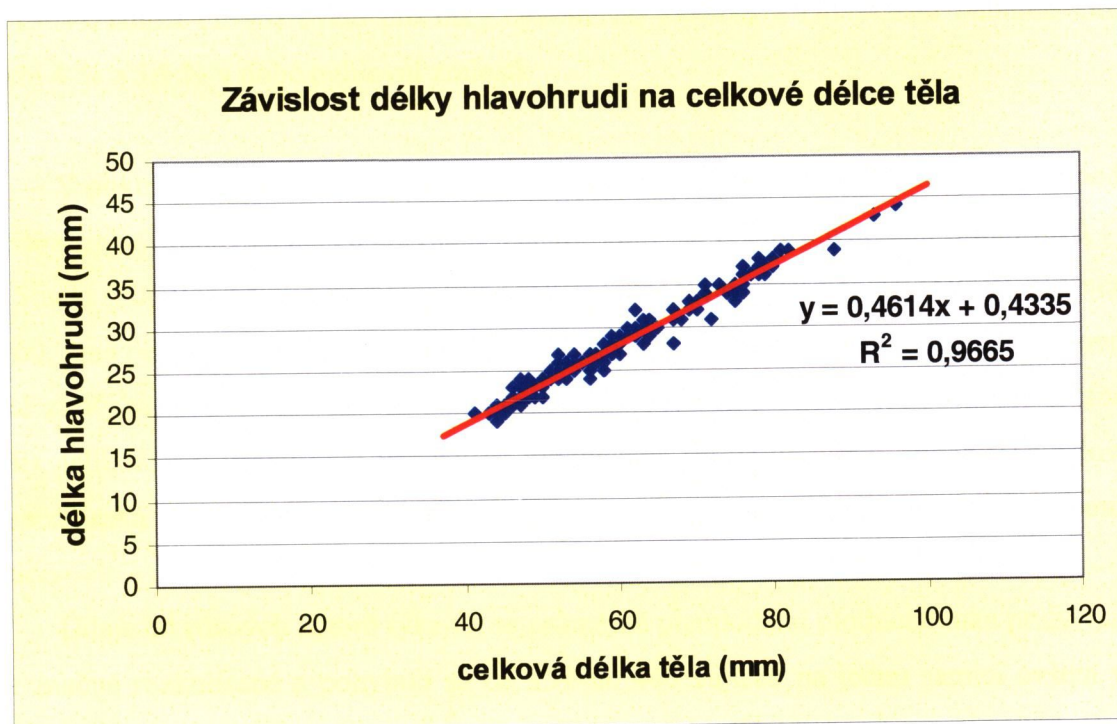
Graf 14.: Závislost růstu hmotnosti na růstu celkové délky těla (CD) samců a samic raka pruhovaného.



Graf 15.: Porovnání průměrné celkové délky a hmotnosti samců a samic.



Graf 16.: Závislost délky hlavohrudi na celkové délce těla raka pruhovaného.



5. Diskuze

V pokusu pro zjištění **potenciální plodnosti** byla potvrzena vyšší potenciální plodnost raka pruhovaného ve srovnání s údaji, které se týkají původních druhů raků (Tab. 2.). Zjištěná průměrná potenciální plodnost $130,8 \pm 107,63$ (46 - 505) oocytů II. řádu na jednu samici raka pruhovaného zhruba odpovídá zjištěným údajům v předchozích studiích.

Kozák *et al.* (2004) udává potenciální plodnost raka pruhovaného 140 vajíček v rozmezí od 76 do 290 vajíček na jednu samici při délce těla 52 - 82 mm a velikost oocytů v rozmezí 0,2 - 1,8 mm v závislosti na reprodukčním cyklu. To jsou téměř identické výsledky jako u tohoto pokusu. Ovšem ve srovnání se Stypiňskou (1973), která udává průměrnou potenciální plodnost od 315 do 440 oocytů II. řádu jde o relativně nízký počet. Srovnáme-li ale velikost raků v jednotlivých studiích můžeme považovat tyto hodnoty za odpovídající. To zároveň potvrzuje přímou lineární závislost potenciální plodnosti na velikosti samic jak udávají např. Stypiňská (1973) a Savolainen *et al.* (1996).

Pro srovnání námi zjištěného GSI raka pruhovaného u samic před naklazením průměrně 4,2% a po naklazení 0,334% možno uvést GSI samic raka *Procambarus clarkii* od 0,05 % na počátku reprodukčního cyklu až po 0,5 - 1,2 % v době pohlavní zralosti (Daniels *et al.*, 1994). Huner (1993) uvádí pro raky *Orconectes rusticus* a *Orconectes immunis* GSI na úrovni 4 % a 5,9 % v době pohlavní zralosti.

V pokusu pro zjištění **pleopodální plodnosti** byla potvrzena vyšší pleopodální plodnost raka pruhovaného ve srovnání s údaji, které se týkají původních druhů raků (Tab. 2.). Stucki (2002) uvádí průměrnou pleopodální plodnost pro raka říčního 150, raka kamenáče cca 60, raka bahenního 180 a raka signálního 114 vajíček. Z těchto údajů lze také usuzovat na velké ztráty vajíček v průběhu inkubace (neboť potenciální plodnost těchto druhů je značně vyšší), jelikož tyto druhy nosí vajíčka na pleopodách přes celé zimní období. To mluví ve prospěch raka pruhovaného, který klade vajíčka až na jaře a nosí je na pleopodách pouze 2 měsíce.

Údaje od různých autorů týkající se průměrné pleopodální plodnosti raka pruhovaného jsou značně rozkolísané a pohybují se od 139 do 440 vajíček na jednu samici ovšem vždy s velkým rozpětím minima a maxima (31 - 555 vajíček) (Holdich a Lowery, 1988; Stucki, 2002; Hamr, 2002). Námi zjištěná pleopodální plodnost $217,8 \pm 94,93$ (95 - 492) vajíček dobře koreluje s těmito výsledky a ukazuje na velký vliv velikosti samic na plodnost. Naproti tomu

jsme mohli pozorovat velké rozdíly v plodnosti v rámci jedné velikosti. Na tuto skutečnost upozorňuje ve své studii také Harlioğlu *et al.* (2004).

Reynolds (2002) uvádí, že vajíčka čeledi *Cambaridae*, kam rak pruhovaný patří, mají v průměru od 1 do 3 mm, průměrně okolo 2,5 mm. Stucki (2002) udává průměrnou velikost vajíčka raka pruhovaného 1,8 mm. Námí zjištěná průměrná velikost vajíček byla $1,8 \pm 0,21$ mm (1,45 - 2,15 mm), což naprosto odpovídá údajům od citovaných autorů.

V pokusu pro zjištění **pracovní plodnosti** byla potvrzena značně vyšší pracovní plodnost raka pruhovaného ve srovnání s údaji, které se týkají původních druhů raků (Tab. 2). Poměrně vysoká je zjištěná průměrná pracovní plodnost raka pruhovaného 136 ráčat po osamostatnění se od samice v porovnání s pracovní plodností u raka říčního od 47 do 97 ráčat ve II. vývojovém stádiu (Policar a Kozák, 2002; Policar *et al.*, 2003; Policar *et al.*, 2004) a téměř shodná s pracovní plodností raka signálního 133 ráčat ve II. vývojovém stádiu (Policar a Kozák, 2002).

*Tab. 2.: Srovnání údajů o plodnosti raka pruhovaného získaných v této práci s předchozími studii a plodnostmi ostatních druhů raků vyskytujících se v ČR (Savolainen *et al.*, 1996; Stucki, 2002; Kozák *et al.*, 2004; Stypiňská, 1973; Policar a Kozák, 2002; Policar *et al.*, 2003; Policar *et al.*, 2004).*

Druh raka	Potenciální plodnost	Pleopodální plodnost	Pracovní plodnost
Rak pruhovaný (tato práce)	130 (46-505)	217 (95-492)	136
Rak pruhovaný	140-440	139-440 (31-555)	-
Rak říční	130-264 (73-436)	150 (max. 250)	47-97
Rak bahenní	-	180 (max. 345)	-
Rak kamenáč	-	60	-
Rak signální	377-456 (73-952)	114 (max.460)	133

V pokusu pro zjištění **inkubační doby** byla zjištěna tato doba velmi krátká. Pro srovnání inkubační doba vajíček u našich původních evropských druhů raka kamenáče, raka říčního, raka bahenního a severoamerického raka signálního se pohybuje od 158 do 214 dní (Stucki, 2002). Tyto druhy se ale páří a kladou vajíčka na podzim a během zimního období je nosí na pleopodech. Rak pruhovaný se, i podle našeho pozorování, páří na podzim i na jaře. Stucki (2002) uvádí, že páření raka pruhovaného bylo pozorováno od konce srpna až do začátku dubna. Samice tohoto druhu kladou vajíčka až na jaře, a proto mají kratší inkubační dobu. Námi zjištěná inkubační doba vajíček raka pruhovaného $47,2 \pm 3,9$ dne (v rozpětí 39 - 57 dní) pozitivně koreluje s inkubační dobou 49 - 55 dnů, kterou uvádí Stucki (2002).

Porovnání růstu a přežití raka pruhovaného a raka říčního. Vysoké procento mortality na počátku odchovu bylo dáno zřejmě nedostatečnou výší krmné dávky, jež tvořila 30% z hmotnosti obsádky. Tato krmná dávka nebyla *add libitum* a projevila se v první fázi odchovu jako nedostatečná pro juvenilní jedince obou druhů. Gydemo a Westin (1993) uvádějí průměrnou mortalitu způsobenou kanibalismem u raků říčních na úrovni 37 %, přičemž může vrůst až na 94 % v případě hladovění. Velmi nízké přežití raka pruhovaného ve společné obsádce bylo velmi pravděpodobně způsobeno predací větším rakem říčním. Velikost raků je jedním ze základních faktorů určující dominanci u raků (Butler a Stein, 1985), větší raci většinou zvítězí nad menšími jedinci (Momot, 1984). Mazlum a Eversole (2005) uvádějí, že juvenilové raka *Procambarus acutus acutus* (Girard), vysazení společně s menšími juvenilny *Procambarus clarkii* dosáhly prokazatelně vyššího přežití a rychlejšího růstu. Stejně tak se projevila větší velikost raka říčního na jeho vyšším přežití až do poloviny našeho experimentu, kdy došlo k vyrovnání velikosti obou druhů. Rak říční ve společné obsádce dosáhl v počáteční fázi experimentu větší hmotnosti, což může dokládat jeho predaci na menším raku pruhovaném, stejně jako dokládá Ahvenharju *et al.* (2005). Nízké přežití raka pruhovaného v druhém období v při samostatném odchovu mohlo být způsobené změnou jeho chování. V tomto období přestala některá ráčata raka pruhovaného vyhledávat úkryty a začala se zdržovat mimo úkryt i přes den. Toto chování je pro tento druh typické ve srovnání s převládající noční aktivitou raka říčního. Vzhledem k tomuto chování mohlo docházet k větší konkurenci při obstarávání potravy mezi oběma druhy. V této souvislosti udává např. Alekhnovich *et al.* (1999), že v kontrastu s rakem říčním a bahenním je rak pruhovaný velmi aktivní i při plném denním světle.

Po 9 týdnech od vylíhnutí ráčat (8 týdnů odchovu) došlo k vyrovnání průměrné velikosti a hmotnosti obou druhů, u raka pruhovaného byl však zaznamenán velký rozdíl mezi

jednotlivými jedinci, který se ještě prohloubil na konci experimentu. Dosažená velikost raka říčního byla srovnatelná s ráčaty tohoto druhu odchovávanými v kontrolovaných podmínkách prostředí (Ackefors *et al.*, 1995; Policar *et al.*, 2004). Na velké rozdíly v růstu během prvního roku života upozorňuje již Pieplow (1938) (Obr. 8.) nebo Andrews (1907). Pieplow (1938) udává rozdíly ve velikosti juvenilů na konci vegetační sezóny od 40 do 65 mm, Andrews (1907) dokonce od 23 do 63 mm, což odpovídá námi zjištěným výsledkům. V našem experimentu jsme nezaznamenávali počet ani dobu svlékání ráčat. Muck *et al.* (2002) zjistil, že 63% samců a 55% samic raka *Orconectes ozarkae* (Williams) je pohlavně dospělá již během prvního roku života. Některé samice raka pruhovaného užitě v pokusu na jaře již dosáhly pohlavní dospělosti. Otázkou je zda by již takto mladé samice byly schopny se na jaře spářit a naklást vajíčka. Pokud by to bylo možné znamenalo by to, že by rak pruhovaný mohl produkovat potomstvo již ve stáří 1+ a dokonale tím využít období jarního páření. Takto by jako krátkověký druh maximalizoval produkci potomstva během svého života. Byla by to další výhoda pro jeho expanzivní osidlování nových lokalit.

Ackefors *et al.* (1995) nezjistili rozdíly v růstu mezi juvenilními samci a samicemi raka říčního, kteří byli odchovávaní individuálně. Gydemo a Westin (1989) uvádí tendenci rychlejšího růstu samců oproti samicím po 6 a 9 měsících odchovu. To může indikovat vyšší aktivitu a větší agresivitu samců raka říčního oproti samicím. Vzhledem k tomuto je zajímavé zjištění u raka pruhovaného, že v našem experimentu byli největší jedinci v akváriu vždy samice. Oproti tomu Muck *et al.* (2002) uvádí stejný růst samců a samic raka *Orconectes ozarkae* v prvním roce života.

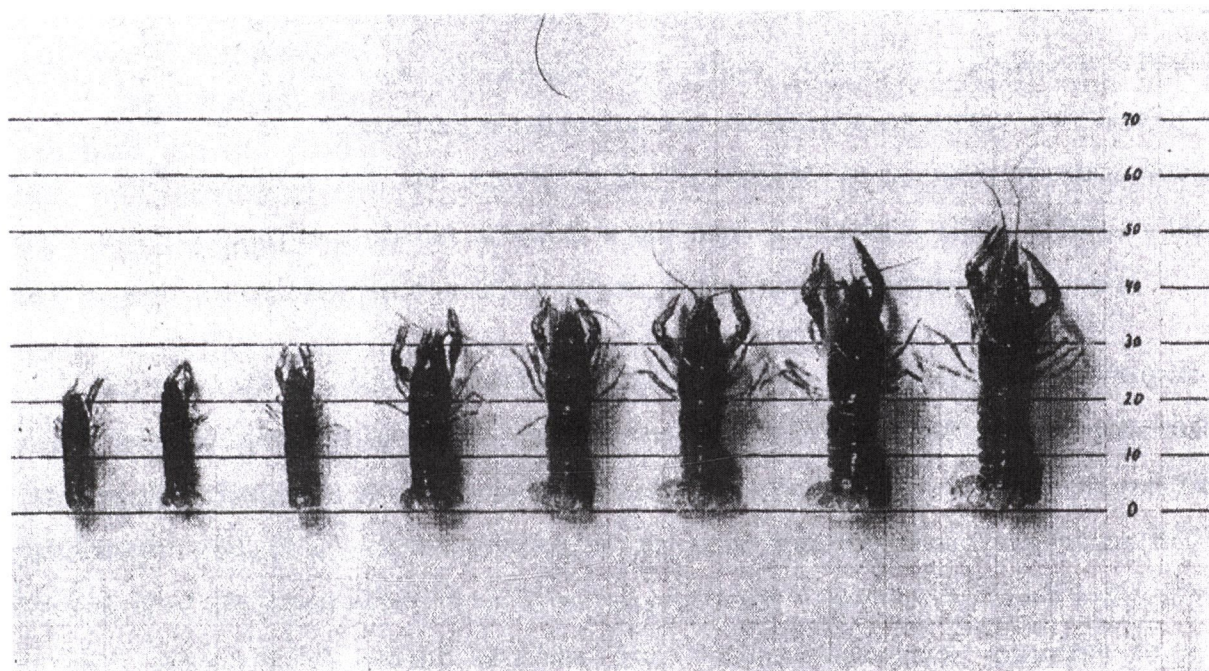
Velmi důležitým faktorem, určujícím vnitro- a mezidruhovou interakci u raků je velikost klepet. Druhy raků s většími klepety jsou většinou úspěšnější v konkurenci se srovnatelně velkými druhy s menšími klepety (Gherardi, 2002). Rutherford *et al.* (1995) uvádí délku klepete jako důležitý indikátor dominance u raků. Zjistil, že u samců raka *Orconectes rusticus* (Girard) byl dominantní vždy jedinec s delšími klepety. Větší hustota raků má vždy za následek větší ztráty klepet (Savolainen *et al.*, 2004). V našem experimentu byl rak pruhovaný s oběma klepety ve společné obsádce větší než raci bez klepet. Stejně tak Nyström (1994) a Savolainen *et al.* (2003) uvádějí, že jedinci, kteří ztratili klepeta dosáhli menší velikosti než juvenilové s oběma klepety. Uvádějí, že menší jedinci odchovávaní dohromady s většími měli více zranění, pravděpodobně způsobené agresivním chováním větších dominantních jedinců. Naproti tomu u menších jedinců odchovávaných samostatně byl zjištěn rychlejší růst, i když u nich bylo zjištěno větší procento ztrát klepet než u velkých jedinců (Ahvenharju *et al.*, 2005). Po ztrátě klepet musí raci využít energetické rezervy na jejich

regeneraci, což se může odrazit v pomalejším růstu (Aiken a Wady 1992). Ztráta klepet a velikost raků má tedy velký vliv na chování a sociální postavení raků v populaci. Mason (1979) uvádí, že absence klepet u raka signálního zvýšila mortalitu raků v důsledku kanibalismu způsobeným jedinci s oběma klepety.

Copp (1986) uvádí, že dominantní hierarchie mezi raky se po vzájemném souboji rychle stabilizuje po tom co se jeden (největší) jedinec stane superdominantním. To může vysvětlovat relativně vysoké přežití v obou samostatných obsádkách v druhém období experimentu. Nízké přežití obou druhů ve společné obsádce může indikovat negativní mezidruhovou interakci obou druhů, která může ovlivnit i sociální chování jedinců uvnitř druhu.

Rak pruhovaný v podstatě vykazuje všechny charakteristiky r-stratéga: brzkou pohlavní zralost, rychlý růst, velké množství potomstva pro danou velikost rodičů, maximální produkci potomstva v nízkém věku, menší velikost těla, větší mortalita a krátký životní cyklus. Toto uvádí např. i Huner a Lindquist (1991).

Obr. 8.: Různé velikosti jednoletých raků pruhovaných (Pieplow, 1938).



Při **terénních odlovech** na lokalitě **Kořensko** byla zjištěna vysoká početnost raka pruhovaného. Lindquist a Huner (1999) nebo Dehus *et al.* (1999) uvádí, že rak pruhovaný zjevně preferuje měkká, bahnitá dna velkých, širokých, mírně proudících řek. Této charakteristice uvedená lokalita přesně odpovídá. Můžeme proto říci, že raku pruhovanému se v takovém prostředí daří a je schopen v něm vytvořit značně velkou populaci. Celkově bylo odloveno 396 dospělých raků a 1512 juvenilních jedinců raka pruhovaného. Dospělí jedinci reprezentovali 26% z celé populace. Podle velikostního rozdělení a plodnosti byly dospělé samice rozděleny do tří věkových tříd. Většina odlovených dospělých samic náležela do „nejmladší“ (jednoleté) skupiny. Velmi malé množství dospělých samic bylo zařazeno do „nejstarší“ (tříleté) skupiny. Tato struktura populace v podstatě odpovídá výsledkům jiných autorů. Stucki (2002) uvádí, že samice raka pruhovaného dosahují pohlavní zralosti již ve stáří 1+. Westman *et al.* (1995) uvádí, že jeho průměrná délka života je dva roky. Maximální délka života se uvádí 4 roky při maximální délce hlavohrudi 61mm (Kossakowski a Orzechowski, 1975; Brink *et al.*, 1988; Momot, 1988). Největší námi odlovený jedinec byla samice o celkové délce těla 96 mm, délce hlavohrudi 44 mm a hmotnosti 29,91 g.

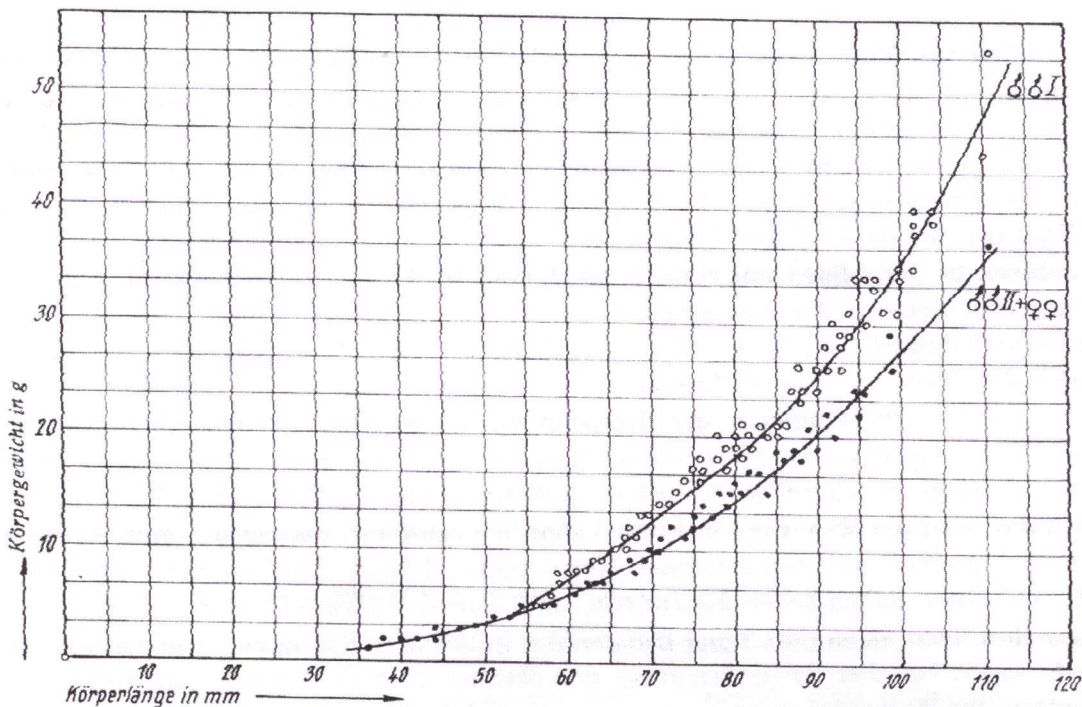
Při odlovu na řekách **Vltavě a Malši v Českých Budějovicích** byl ověřen výskyt raka pruhovaného, který udává na této lokalitě např. Hajer (1994). Dle zkušenosti z této i předchozí lokality lze poukázat na rychlou reakci raka pruhovaného na změnu vodní hladiny a jeho rychlé přemístění zpět do vodního živlu. Skutečnost, že se rak pruhovaný dobře vyrovnává s výraznými změnami prostředí uvádí např. Lindquist a Huner (1999). I tato lokalita odpovídá charakteristice prostředí preferovaného rakem pruhovaným (viz. výše).

Při odlovech na **přítocích údolní nádrže Orlík** byli všichni sledovaní i odchycení jedinci raka pruhovaného na všech lokalitách nalezeni v blízkosti ústí jednotlivých toků. Dehus *et al.* (1999) uvádí, že v sousedním Německu se rak pruhovaný nevyskytuje ve velkých nadmořských výškách a v malých potocích, což pro tento druh zřejmě není vhodné prostředí. Petrušek *et al.* (in press) uvádí, že v ČR se rak pruhovaný vyskytuje ve větších tocích a ve spodních částech jejich přítoků nedaleko ústí. V námi sledovaných lokalitách se ale v minulosti rak pruhovaný hojně vyskytoval. Ďuriš *et al.* (in press) ale uvádí, že v posledních letech (v období 2002-2005) došlo na řadě lokalit k výraznému snížení početnosti raků pruhovaných. To by mohl být důvod nevelkého počtu sledovaných jedinců. Všichni sledovaní jedinci byli odchyceni z jejich úkrytu pod kameny. Stucki (2002) uvádí, že na jaře a v létě se raci během denních hodin nacházeli často v úkrytech a byli aktivní hlavně v noci, což

odpovídá našemu sledování. Z odlovů není jisté zda nalezení jedinci žijí trvale v toku, nebo zda-li šlo o jedince migrující z údolní nádrže Orlík. Zajímavý je i fakt, že všichni odchycení jedinci raka pruhovaného byli samci. Mimoto rak pruhovaný dokáže hloubit nory v jílovitém břehu, které jim poskytnou ochranný kryt i při nedostatku jiných úkrytů (Lindquist a Huner, 1999). Je proto možné spekulovat o tom, že samice (ale i samci) se mohou nacházet v norách vyhloubených ve březích a jejich odchyt se nezdařil.

U všech raků použitých v pokusech byla provedena biometrická měření. Zjištěná mocinná závislost přírůstku hmotnosti na přírůstku celkové délky raka pruhovaného zhruba odpovídá závislosti, kterou uvádí Pieplow (1938) (Graf. 17). Byla zjištěna větší průměrná velikost samic větší než u samců. V pokusu s odchovem ráčat byly na konci odchovu taktéž samice větší. Dalo by se tedy říci, že samice mají vyšší růstovou schopnost než samci. U raka říčního je tato tendence opačná jak uvádí Gydemo a Westin (1989). U druhu *Orconectes ozarkae* ale nebyl zjištěn rozdíl mezi růstem samců a samic (Muck *et al.*, 2002).

Graf 17.: Závislost hmotnosti na celkové délce těla u samců a samic raka pruhovaného (Pieplow, 1938).



6. Závěr

Při experimentech na zjištění plodnosti raka pruhovaného byla potvrzena vyšší potenciální, pleopodální i pracovní plodnost raka pruhovaného ve srovnání s údaji týkajícími se původních druhů. Údaje o vysoké plodnosti tohoto druhu raka jsou o to významnější, že této plodnosti samice dosahují při své malé velikosti (v porovnání s ostatními u nás se vyskytujícími raky). Byla prokázána přímá závislost plodnosti na velikosti samic.

Bylo rovněž pozorováno, že rak pruhovaný navíc velmi brzo pohlavně dospívá, a někteří jedinci (samice) dosáhli pohlavní dospělosti již ve stáří 1+.

Rovněž byla v této práci zjištěna velice krátká inkubační doba oproti našim původním druhům raků. To je způsobeno tím, že samice raka pruhovaného kladou vajíčka až v jarním období. Před kladením vajíček probíhalo ještě jarní období páření. Kratší inkubační doba značně zvýhodňuje raka pruhovaného při rozmnožování oproti našim původním druhům raků. K líhnutí dochází již za průměrně 47 dní. Minimalizuje se tak riziko ztrát na vajíčkách během období jejich nošení na pleopodech. Tyto ztráty jsou u našich původních druhů raků velmi významné.

Rak pruhovaný prokazuje díky těmto výsledkům velkou rozmnožovací schopnost, kterou převyšuje naše původní druhy raků. Tento reprodukční potenciál může úspěšně použít při dalším šíření. Vzhledem k rychlosti životního cyklu raka pruhovaného může být jeho pronikání do nových lokalit velmi rychlé a intenzivní.

V rámci biometrických měření byla zjištěna mocinná závislost mezi hmotností a celkovou délkou těla a lineární závislost mezi délkou hlavohruďi a celkovou délkou těla.

Při odchovu raných stádií raka říčního a raka pruhovaného v laboratorních podmínkách vyšly napovrch další zajímavé skutečnosti o raku pruhovaném.

Především byla zjištěna jeho vysoká růstová schopnost. Ačkoli na začátku experimentu byla ráčata raka pruhovaného podstatně menší než ráčata raka říčního, během poměrně krátkého období dokázala tuto ztrátu dohnat. Na konci sledovaného období (tj. po jednom vegetačním období) již ve velikosti a hmotnosti jasně dominovali raci pruhovaní. Na konci vegetační sezóny dosáhl rak pruhovaný (věk 19 týdnů) větší průměrné velikosti a hmotnosti ($29,3 \pm 5,17$ mm a $616,4 \pm 412,53$ mg), ale zároveň s větší variabilitou než rak říční ($21,2 \pm 1,82$ mm a $229,9 \pm 59,45$ mg).

Dalším důležitým zjištěním byla rozdílnost přežití obou druhů raků a skutečnosti z toho vyplývající. Rak říční dosáhl vyššího přežití než rak pruhovaný v samostatné i společné obsádce. Na počátku odchovu se projevil vliv větší velikosti raka říčního na jeho vyšším přežití a také vyšší vnitrodruhový kanibalismus u raka pruhovaného.

Zatímco na počátku odchovu měla ráčata raka pruhovaného mizivé přežití, během dalšího odchovu jejich přežití stoupalo. Tento vývoj byl dán počáteční větší velikostí raka říčního a jeho predacním tlakem na ráčata raka pruhovaného, který s vyrovnáním velikosti obou druhů zmizel. V druhé fázi odchovu bylo přežití obou druhů vyšší v samostatných obsádkách než ve společné obsádce.

Přežití raka říčního bylo poměrně stabilní a ovlivněno bylo pouze ve společném odchovu obou druhů, když rak pruhovaný dosáhl větších rozměrů. V první polovině experimentu bylo rovněž pozorováno nižší přežití raka pruhovaného v samostatném odchovu. To bylo způsobeno velkou vnitrodruhovou agresivitou a kanibalismem raka pruhovaného. Tento vliv se zřejmě projevil i ve společném odchovu s rakem říčním.

Pozorováno bylo i odlišné chování raka pruhovaného v průběhu odchovu. Ráčata tohoto druhu totiž byla mnohem aktivnější než ráčata raka říčního a vyskytovala se mimo úkryty velmi často během dne.

Na vodním díle Kořensko byla zjištěna velká abundance raka pruhovaného. Při dvou odloveh na stejném místě v týdenním intervalu bylo na úseku odloveno celkem 1908 jedinců. Pohlavně dospělí jedinci tvořili 26% populace. Poměr pohlaví byl zjištěn přibližně 1:1.

V rámci této práce byl rovněž potvrzen výskyt raka pruhovaného na řekách Vltavě a Malši v Českých Budějovicích.

Z odlovů na přítocích údolní nádrže Orlík není jisté zda nalezení jedinci žijí trvale v toku, nebo zda-li šlo o jedince migrující z nádrže. Zajímavý je i fakt, že všichni odchycení jedinci raka pruhovaného byli samci.

Celkovým shrnutím výsledků zjištěných v této práci je závěr, že rak pruhovaný je druhem, který dosahuje velmi brzy pohlavní dospělosti, rychle roste, produkuje velké množství potomstva vzhledem k menší velikosti rodičů a dosahuje vysoké plodnosti již v nízkém stáří. Naproti tomu má vysokou mortalitu během prvních stádií života a vykazuje větší mezidruhovou i vnitrodruhovou agresivitu v porovnání s našimi původními druhy raků.

Když k těmto závěrům přidáme údaje o menší maximální velikosti raka pruhovaného a o jeho krátkém životním cyklu, zjistíme, že tyto charakteristiky obecně odpovídají charakteristikám r-stratégů. Můžeme tedy říci, že mezi raky je rak pruhovaný spíše r-stratégem.

Tyto charakteristiky rovněž předurčují raka pruhovaného k invaznímu způsobu šíření. Vzhledem k tomu, že je navíc imunní k račímu moru a může tuto nemoc přenášet, znamená značnou hrozbu pro původní druhy nejen v u nás, ale i v celé Evropě.

7. Použitá literatura

- Abrahamsson, S. A. A., 1971. Density, growth and reproduction in populations of *Astacus astacus* and *Pacifastacus leniusculus* in an isolated pond. *Oikos*, 22. 373 – 380.
- Ackefors, H., 1989. Intensification of European Freshwater crayfish culture in Europe. Special Session on Crayfish Culture on Aquaculture World Aquaculture Soc., Los Angeles, USA, Feb. 13, 1989. Univ. Stockholm, Sweden.
- Ackefors, H., 1998. The culture and capture crayfish fisheries in Europe. *World Aquaculture* 29. 18-24.
- Ackefors, H., Gydemo, R., Keyser, P., 1995. Growth and moulting in confined juvenile noble crayfish *Astacus astacus* (L.) (Decapoda, Astacidae). *Freshwater Crayfish* 10. 396-409.
- Ahvenharju, T., Savolainen, R., Tulonen J., Ruohonen, K., 2005. Effects of size grading on growth, survival and cheliped injuries of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana) summerlings (age 0+). *Aquaculture Research* 36. 857-867.
- Aiken, D. E., Waddy, S. L., 1992. The growth process in crayfish. *Reviews in Aquatic Sciences* 6. 335-381.
- Alekhovich, A. V., Ablov, S. E., Kulesh, V. F., Pareiko, O. A., 1999. The american spiny-cheek crayfish, *Orconectes limosus*, in the fauna of Belarus. *Crayfish in Europe as alien species How to make the best of the bad situation?* 237-242.
- Ando, H. a Makioka, T., 1998. Structure of the ovary and mode of oogenesis in a freshwater crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard). *Zoological science* 15. 893-901.
- Andrews, E. A., 1907. The young of the crayfishes *Astacus* and *Cambarus*. *Smithsonian Contribution to Knowledge. Part of Volume XXXV, No. 1718. Smithsonian Institution. Washington. 79 pp.*
- Berrill, M. a Arsenault, M., 1984. The breeding behaviour of a northern temperate orconectid crayfish *Orconectes rusticus*. *Animal behaviour* 32. 333-339.
- Brink, F. W. B., Velde, G., Geelen, J. F. M., 1988. Life history parameters and temperature-related activity of an American crayfish, *Orconectes limosus* (Rafineque, 1817) (Crustacea, Decapoda), in the area of the major rivers in The Netherlands. *Arch. Hydrobiol.*, 114, 2. 275 – 289.

- Butler, M. J., Stein, R. A., 1985. An analysis of mechanism governing species replacement in crayfish. *Oecologia* 66. 168-177.
- Copp, N. H., 1986. Dominance hierarchies in the crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) and the question of learned individual recognition (Decapoda, Astacidea). *Crustaceana* 51. 9-24.
- Cukerzis, J. M., 1970. *Biologija širokopalogo raka*. Vilnius.
- Daniels, W. H., D'Abramo, L. R., Graves, K. F., 1994. Ovarian development of female red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) as influenced by temperature and photoperiod. *J. Crustacean Biol.*, 14, 3. 530 – 537.
- Dehus, P., Phillipson, S., Bohl, E., Oidtmann, B., Keller, M., Lechleiter, S., 1999. German conservation strategies for native crayfish species with regard to alien species. *Crayfish in Europe as alien species How to make the best of the bad situation?* 149-153.
- Dudenhause, E. E. a Talbot, J., 1983. An ultrastructural comparison of soft and hardened spermatophores from the crayfish *Pacifastacus leniusculus* (Dana). *Canadian Journal of Zoology* 61. 182-194.
- Ďuriš, Z., 2000. Porównanie ogólnej sytuacji raków w Czechach i w Polsce, możliwości współpracy astakologów obu krajów. In: J.Mastyński, W.Andrzejewski (red.), *Aktualny stan raków w Polsce. I.Symposium astakologów*, Poznań, 06.10.2000. 29-30 (abstr.).
- Ďuriš Z., Horká I., Kozák P. Biometry and demography of the invasive crayfish *Orconectes limosus* in terminal and residential localities in the Czech Republic. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. in press.
- Ďuriš Z. a Horká I., 2001. K výskytu raka bahenního *Pontastacus (=Astacus) leptodactylus* Eschscholtz na Karvinsku. *Časopis Slezského Muzea, Opava (A)* 50. 78-84.
- Gherardi, F., 2002. Behaviour. D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*, pp. 152-191, Blackwell Science Ltd., London.
- Gydemo, R., Westin, L., 1989. Growth and survival of juvenile *Astacus astacus* L. in optimized water temperature. In: *Aquaculture – a biotechnology in progress*. De Pauw, N., E. Jaspers, H. Ackefors & N. Wilkins (eds), pp. 383-391, European Aquaculture Society, Bredene, Belgium.

- Gydemo, R., Westin, L., 1993. Effects of starvation, constant light and partial dactylotomy on survival of noble crayfish, *Astacus astacus* (L.), under high density laboratory conditions. *Freshwater Crayfish* 9. 79-83.
- Hager, J., 1996. Edelkrebse. Graz. 128 s.
- Hajer J., 1989. Americký druh raka v Labi. *Živa*, 37/75(3). 125.
- Hajer J., 1994. Expanze raků druhu *Cambarus affinis* Say ve vodách České republiky. *Fauna Bohemiae septentrionalis*, 19. 123-128.
- Hamr, P., 2002. *Orconectes*. In: *Biology of Freshwater Crayfish*. (D.M. Holdich ed), pp. 585-608. Blackwell Science Ltd., London.
- Harlioğlu, M. M., Barim, O., Türkülü, I., Harlioğlu, G. A., 2004. Potential fecundity of an introduced population, Keban Dam Lake, Elaziğ, Turkey, of freshwater crayfish *Astacus leptodactylus leptodactylus* (Esch., 1852). *Aquaculture*, 230. 189-195.
- Henttonen, P., Huner, J. V., 1999. The introduction of alien species of crayfish in Europe: A historical introduction. *Crayfish in Europe as alien species How to make the best of the bad situation?* Gherardi F. & D. M. Holdich (Eds), 13-22. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Hiley, P. D. a Paey, S., 2006. Signal Crayfish Eradication – Preliminary Biocides Trial. *The Proceedings of the 15th Symposium of the International Association of Astacology*.
- Holdich, D.M., 1988. The dangers of introducing alien animals with particular reference to crayfish. *Freshwater crayfish* 7. 15-30.
- Holdich, D. M., 2003. Crayfish in Europe – an overview of taxonomy, legislation, distribution, and crayfish plague outbreaks. In: *Management & Conservation of Crayfish*, Proceedings of a conference held on 7th November 2002 at the Nottingham Forest Football Club, Nottingham, UK. Holdich D. M. & P. J. Sibley (Eds), pp. 15-34. Environment Agency, Bristol, UK.
- Holdich, D. M. a Lowery, R. S., 1988. *Freshwater Crayfish Biology, Management and Exploitation*. Chapman & Hall, London & Sydney, Timber Press, Portland, Oregon, 498 s.
- Holdich, D. M. a Reeve, I. D., 1988. Functional morphology and anatomy. In: *Freshwater crayfish – Biology, Management and Exploitation*, (eds D. M. Holdich & R. S. Lowery). pp. 11-51. Croom Helm, London, and Timber press, Portland.

- Holdich, D. M., Ackefors, H., Gherardi, F., Rogers, D. W., Skurdal, J., 1999. Native and alien crayfish in Europe: Some conclusions. Crayfish in Europe as alien species How to make the best of the bad situation? 281-292.
- Holzer, M., 1989. Akce rak. Metodická příručka, č. 7, Český svaz ochr. přírody.
- Holzer, M., 2000. Raci v České republice. Ochrana přírody, 55/10. 291 - 294
- Huang, T. S., Cerenius, L., Söderhäll, K., 1994. Analysis of genetic diversity in the crayfish plaque fungus, *Aphanomyces astaci*, strain from the freshwater crayfish *Procambarus clarkii*. Mycol. Res. 99. 574-578.
- Huner, J. V., 1993. Recovery of edible products from some common North American orconectid and procambarid crayfish (Cambaridae) with emphasis on *Procambarus clarkii* (Girard) and *Procambarus zonangulus* Hobbs & Hobbs. Freshwater Crayfish 9. 28 – 37.
- Huner, J. V. a Lidnquist, O. V., 1991. Special problems in freshwater crayfish egg production. Crustacean Issues 7. 235-246.
- Huner, J. V. a Lidnquist, O. V., 1995. Physiological adaptations of freshwater crayfish that permit successful aquacultural ventures. Amer. Zool. 35. 12-19.
- Chybowski, Ł. a Juchno, D., 2002. Histological analyses of the annual cycle of gonad development in the male spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus* Raf. Arch. Pol. Fish., 10(2). 241-253.
- Juchno, D. a Chybowski, Ł., 2003. Histological analyses of gonad development in female spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus* Raf. Arch. Pol. Fish., 11(1). 69-78.
- Kossakowski, J., 1966. Raki (monografie). Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne: Warszawa. Pp23-25.
- Kossakowski, J. a Orzechowski, B., 1975. The crayfish *Orconectes limosus* in Poland. Freshwater crayfish 2. 31-47.
- Kozák P., Adámek Z., Řehulka J., 2000. Úhyn raků a následky račího moru v potoce Pšovka v roce 1998. Bulletin VÚRH Vodňany, 36. 41-45.
- Kozák, P., Pokorný, J., Polícar, T., Kouřil, J., 1998. Základní morfologické znaky k rozlišení raků v ČR. VÚRH JU, Vodňany, edice Metodik, č. 56, 14 p.
- Kozák, P. a Polícar, T. Annual course of gonad development in *Orconectes limosus*. Freshwater Crayfish 15. in press.
- Kozák, P. a Polícar, T., 2003. Practical elimination of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana), from a fish pond. Holdich, D. M. & Sibley, P. J. (eds).

- Management & Conservation of Crayfish. Proceedings of a conference held on 7th November, 2002. Environment Agency, Bristol. 200-208.
- Kozák, P., Ďuriš, Z., Policar, T., 2002. The stone crayfish *Austropotamobius torrentium* (Schrank) in the Czech Republic. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 367. 1-7.
- Kozák, P., Policar, T., Ďuriš, Z., 2004. Migration ability of *Orconectes limosus* through a fishpass and notes on its occurrence in the Czech Republic. *Bull. Fr. de la Pêche et de la Pisciculture*. 372-373:367-373.
- Kozubíková, E., Petrussek, A., Ďuriš, Z., Kozák, P., Geiger, S., Hoffmann, R., Oidtmann, B. Detection of the crayfish plague fungus *Aphanomyces astaci* in the Czech Republic: a pilot study. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. in press.
- Krupauer V., 1968. Zlatý rak. Nakladatelství České Budějovice. 109 str.
- Kultymaticky, W., 1935. *Cambarus affinis* Say – rak amerykański, nowy mieszkawiec Pomorza I Wielkopolski. *Przeegląd rybarski*. Tom 10, 11. 1-16.
- Laurent, P., 1973. *Astacus* and *Cambarus* in France. *Freshwater crayfish* 1:69-78.
- Lewis, S. D., 2002. *Pacifastacus*. In: *Biology of Freshwater Crayfish*. (ed Holdich, D.M.), Blackwell Science Ltd., London. 511-540.
- Lewis, S. D., Horton, H. F., 1997. Life history and population dynamics of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in Lake Billy Chinook, Oregon. *Freshwater Crayfish* 11. 34-53.
- Liley, J. H., Cerenius, L., Söderhäll, K., 1997. RAPD evidence for the origin of crayfish plague outbreaks in Britain. *Aquaculture* 157. 181-185.
- Lindquist, O., Huner, J. V., 1999. Life history characteristics of crayfish: What makes some of them good colonizers? Crayfish in Europe as alien species How to make the best of the bad situation? 23-28. Brookfield, Rotterdam: A.A.Balkema.
- Lozan, J. L., 2000: On the threat to the European crayfish: A contribution with the study of the activity behaviour of four crayfish species (Decapoda: Astacidae). *Limnologica* 2000, 30, 2. 156 – 166.
- Mason, J. C., 1979. Effects of temperature, photoperiod, substrate and shelter on survival, growth and biomass accumulation of juvenile *Pacifastacus leniusculus* culture. *Freshwater Crayfish* 4. 73-82.
- Mason, J. C., 1977. Reproductive efficiency of *Pacifstacus leniusculus* in culture. *Freshwater crayfish* 3. 101-117.

- Matěna J., 1995. Raci v české republice. *Rybářství*, (3). 72.
- Mather, M. E., Stein, R. A., 1993. Using growth/mortality trade-offs to explore a crayfish species replacement in stream riffles and pools. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50. 88-96.
- Mazlum, Y., Eversole, A. G., 2005. Growth and survival of *Procambarus acutus acutus* (Girard, 1852) and *P. clarkii* (Girard, 1852) in competitive settings. *Aquaculture Research* 36. 537-545.
- McAlpine, D., Hogans, W. E., Fletcher, T. J., 1991. *Orconectes limosus* (Crustacea, Cambaridae) an addition to the crayfish fauna of New Brunswick. *Canadian Field Naturalist* 105. 386-387.
- Momot, W. T., 1984. Crayfish production: a reflection of community energetics. *Journal of Crustacean Biology* 4. 35-54.
- Momot, W. T., 1988. *Orconectes* in North America and elsewhere 10. In D.M. Holdich & R.R. Lowery, *Freshwater crayfish. Biology, Management and Exploitation*. London & Sydney: Croom Helm/Portland, Oregon: Timber press.
- Muck, J. A., Rabeni, Ch. F., DiStefano, R. J., 2002. Life-history characteristics of the crayfish *Orconectes ozarkae* in a Missouri Ozark stream. *Freshwater Crayfish* 13. 359-370.
- Neveu, A., 1997. Growth comparison of the different crayfish species in Brittany (France). French national programme on crayfish culture: synthesis of experimental studies. *L'Astaciculteur de France*, 51. 71 – 80.
- Nyström P., 1999. Ecological impact of introduced and native crayfish on freshwater communities: European perspectives. In: F. Gherardi & D.M. Holdich (eds), *Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation?* 63-85. Brookfield, Rotterdam: A.A.Balkema.
- Payne, J. F., 1997. Adaptive success within the cambarid live cycle. *Freshwater crayfish* 11. 1- 12.
- Petrusek, A., Filipová, L., Ďuriš, Z., Horká, I., Kozák, P., Polícar, T., Štambergová, M. Distribution of the invasive spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) in the Czech Republic: history and present. *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture*. in press.

- Pieplow, U., 1938. Fischereiwissenschaftliche Monografie von *Cambarus affinis* Say. Zeitschrift für Ficherei und deren Hilfswissenschaften, Band XXXVI., Verlag J. Neumann - Neudamm und Berlin. 349-440.
- Policar, T., Simon, V., Kozák, P., 2004. Egg incubation in the noble crafish (*Astacus astacus* L.): the effect of controlled laboratory and outdoor ambient condition on hatching success, growth and survival rate of juveniles. Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture. 372-373: 411-423.
- Policar T. a Kozák P., 2000. Výskyt raků v ČR. Bulletin VÚRH Vodňany, Biologie, ochrana a chov raků 36. 18-22.
- Policar T. a Kozák P., 2005. Monitoring výskytu severoamerického raka signálního (*Pacifastacus leniusculus* D.) na vybraných lokalitách ČR. Nепublikovaná zpráva, ZO ČSOP 18/01 DECAPODA Protivín.
- Policar, T. a Kozák, P., 2002. Metody líhnutí a odchovu raků. Ve: Vykusová, B. (red.): Sb. referátů z konference Produkce násadového materiálu ryb a raků , Vodňany. 63 – 71.
- Policar, T., Simon, V., Kozák, P., 2003. Incubation of eggs of the noble crayfish (*Astacus astacus* L.) under controlled conditions. Growth comparison of advanced – and normally ratched crayfish juveniles. In. European native crayfish with a special focus on *Astacus astacus*: linking socioeconomics and conservation. Craynet meeting, September 2003, Halden, Norway. s.11.
- Pöckl, M., 2002. Draft program for the conservation of native crayfish species in Austria. Freshwater crayfish 13. 221-232.
- Portelance, B., 1987. Avis scientifique sur l' exploitation des populations d'écrevisses du lac Siant-Pierre et du flueve Saint-Laurent. Avis scientifique 87/4. Ministere du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Ministere de l'Agriculture, des Pêcheries et de L'Alimentation, Québec.
- Reynolds, J. D., 2002. Growth and reproduction. In: D.M. Holdich (ed), Biology of Freshwater Crayfish, pp. 152-191, Blackwell Science Ltd., London.
- Rutherford P. L., Dunham, D. W., Allison, V., 1995. Winning agonistic encounters by male crayfish *Orconectes rusticus* (Girard) (Decapoda, Cambaridae): chela size matters but chela symmetry does not. Crustaceana 68. 526-529.

- Savolainen, R., Ruohonen, K., Railo, E., 2004. Effect of stocking density on growth, survival and cheliped injuries of stage 2 juvenile signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana. *Aquaculture* 231. 237-248.
- Savolainen, R., Westman, K., Pursiainen, M., 1996. Fecundity of Finnish noble crayfish, *Astacus astacus* L., and signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in various natural habitats and in culture. *Freshwater Crayfish* 11. 319 – 338.
- Schweng, E., 1973. *Orconectes limosus* in Deutschland, insbesondere im Rheingebiet. *Freshwater crayfish* 1. 79-87.
- Seligo, A., 1911. Mitteilungen des Westpreussischen Fischerei – Vereins.
- Söderbäck, B., 1995. Replacement of the native crayfish *Astacus astacus* by the introduced species *Pacifastacus leniusculus* in a Swedish lake: possible causes and mechanisms. *Freshwater Biology*, 33. 291-304.
- Söderhäll, K. Johansson, M. W., Smith, V. J., 1988. Internal defence mechanism. In D.M. Holdich & R.R. Lowery, *Freshwater crayfish. Biology, Management and Exploitation*. 213-235.
- Spitzzy, R., 1973. Crayfish in Austria, history and actual situation. *Freshwater crayfish* 1:9-14.
- Abrahamsson, S.A.A., 1971. Density, growth and reproduction in populations of *Astacus astacus* and *Pacifastacus leniusculus* in an isolated pond. *Oikos*, 22. 373 – 380.
- Stucki, T. P., 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater crayfish* 13. 463-476.
- Stypińska, M., 1973. The fecundity of three types of crayfish inhabiting Polish waters. *Rocz. Nauk Rol.*95 (1). 147-156.
- Talbot, J., 1985. Synthèse des connaissances actuelles sur les populations d'écrevisses du lac St Pierre et propositions sur la mise en valeur de leur exploitation commerciale. Special Report. Direction Générale de la Faune, Service de Espèces d'Eau de Fraiche, Ministère du Loisir, de la Chasse et dela Pêche.
- Taugbøl, T. a Skurdal, J., 1993. Crayfish plaque and management strategies in Norway. *Biol. Conserv.* 63. 75-82.
- Taugbøl, T., Wærvågen, S.B., Linløkken, A.N., Skurdal, J., 1987. Post-molt exoskeleton mineralisation in adult noble crayfish, *Astacus astacus*, in three lakes with different calcium levels. *Freshwater Crayfish* 11. 219-226.

- Taylor, C. A., Warren M. L., Jr, Fitzpatrick, J. F., Jr, *et al.*, 1996. Conservation status of crayfishes of the United States and Canada. *Fisheries*, 21. 25-38.
- Troschel, J. H. a Dehus, P., 1993. Distribution of crayfish species in the Federal Republic of Germany with special reference to *Austropotamobius pallipes*. *Freshwater crayfish* 9. 390-398.
- Ulikowski, D. a Borkowska, I., 1999. Mating of spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus* Raf.) – spring or autumn? *Komun. Ryb.* 3. 4-6.
- Vogt, G., 2000. Functional Anatomy. *Freshwater crayfish* 13. 101-151.
- Westman, K., Savolainen, R. a Pursiainen M., 1995. Development of Europe noble crayfish *Astacus astacus* (L.) and american *Pacifastacus leniusculus* (Dana) populations in the small Finnish lake – a 20-years study. *Freshwater crayfish* 8. 235-248.
- Westman, K., 2000. Comparison of the crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana, a species introduced into Finland, with the native species, *Astacus astacus* L., in allopatry and sympatry. Academic dissertation, Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki, Helsinki. 233s.

8. Přílohy

8.1. Tabulky

Příloha 1.: Tabulka použitá v experimentu na zjištění absolutní plodnosti a GSI samic, které nenakladly vajíčka s uvedením biometrických údajů. Délkové údaje jsou udány v milimetrech a hmotnostní v gramech.

číslo	CD	DH	PODH	hm.	hm.gonád	hm.hepatopankreatu	oocyty II.řádu	GSI	HSI
1	69	32	24	8,78	0,1204	0,172	208	1,371	1,959
2	45	21	15	2,5	0,0147	0,0721	?	0,588	2,884
3	53	25	18	5,18	0,0495	0,1136	138	0,956	2,193
4	47	22	16	3,94	0,027	0,1274	90	0,685	3,234
5	47	21	15	3,12	0,0242	0,1175	78	0,776	3,766
6	49	23	16	3,4	0,0127	0,1073	?	0,374	3,156
min.	45	21	15	2,5	0,0127	0,0721	78	0,374	1,959
max.	69	32	24	8,78	0,1204	0,172	208	1,371	3,766
průměr	51,67	24	17,33	4,487	0,041417	0,118316667	128,5	0,7917	2,8653
sm.odch.	8,138	3,83	3,145	2,09	0,037297	0,029565375	51,0954988	0,3136	0,6199

Příloha 2.: Tabulka použitá v experimentu na zjištění absolutní plodnosti a GSI samic, které ztratily vajíčka během odchovu s uvedením biometrických údajů. Délkové údaje jsou udány v milimetrech a hmotnostní v gramech.

číslo	CD	DH	PODH	hm.	hm.gonád	hm.hepatopankreatu	oocyty II.řádu	GSI	HSI
1	48	22	15	2,47	0,0122	0,117	?	0,514	4,737
2	74	34	25	11,61	0,0324	0,146	?	0,279	1,258
3	80	37	28	15,65	0,0534	0,3893	?	0,341	2,488
4	63	28	20	6,74	0,0186	0,1156	?	0,276	1,715
5	56	25	19	5,08	0,0175	0,0808	?	0,344	1,591
6	58	25	19	4,41	0,0129	0,1024	?	0,293	2,322
7	67	32	23	9,62	0,0282	0,1622	?	0,293	1,686
min.	48	22	15	2,47	0,0122	0,0808	X	0,276	1,258
max.	80	37	28	15,65	0,0534	0,3893	X	0,514	4,737
průměr	63,71	29	21,29	7,94	0,025029	0,159042857	X	0,3343	2,2567
sm.odch.	10,15	5,071	4,025	4,272	0,013517	0,097235853	X	0,0777	1,0869

Příloha 3.: Tabulka použitá v experimentu pro zjištění absolutní plodnosti samic raka pruhovaného, GSI a HSI samic (%) s uvedením biometrických údajů. Délkové údaje jsou udány v milimetrech a hmotnostní v gramech.

Experiment pro zjištění absolutní plodnosti samic raka pruhovaného a Gsi samic												
samice číslo	CD	DH	PODH	Hm.	datum: 18. 4. 2004			Hm. hepatopankreatu	prům. velikost vajíček cca 1 mm (špatný vzorek)	GSI	HSI	
					Hm. gonád	počet vajíček	Hm. vajíček					
1	43	20	14	2,35	0,1457	79	0,0648	cca 1 mm (špatný vzorek)	6,2	2,76		
2	44	19	14	2,24	0,1196	82	0,0799	cca 1 mm (špatný vzorek)	5,34	3,57		
3	47	21	15	2,7	0,1114	91	0,0705	1,167	4,13	2,61		
4	51	24	17	3,63	0,1448	110	0,1246	1,275	3,99	3,43		
5	53	25	17	3,84	0,1538	126	0,134	1,25	4,01	3,49		
6	55	26	18	4,21	0,1459	121	0,173	1,21	3,47	4,11		
7	54	26	18	4,11	0,1073	81	0,1243	1,15	2,61	3,02		
8	75	33	25	11,54	0,7444	244	0,2493	1,675	6,45	2,16		
9	79	36	26	14,16	1,0965	330	0,4164	1,625	7,74	2,94		
10	93	43	31	23,37	1,5119	505	0,5796	1,725	6,47	2,48		
11	46	21	14	2,29	0,0933	70	0,0718	1,235	4,07	3,14		
12	49	23	17	2,7	0,0403	64	0,0991	0,9	1,49	3,67		
13	52	24	18	3,87	0,2159	121	0,1044	1,4	5,58	2,7		
14	52	24	18	3,43	0,0593	66	0,1431	0,895	1,73	4,17		
15	47	22	16	2,99	0,1517	78	0,0731	1,45	5,07	2,44		
16	47	22	16	2,52	0,1087	91	0,891	1,2	4,31	3,54		
17	51	24	17	3,32	0,0277	46	0,1109	0,938	0,83	3,34		
18	45	20	14	2,24	0,0648	90	0,0843	1,05	2,7	3,76		
19	48	22	16	2,72	0,0627	72	0,0816	1,083	2,31	3		
20	51	25	17	3,49	0,1748	149	0,1243	1,3	5,01	3,56		
max.	93	43	31	23,37	1,5119	505	0,5796	1,725	7,74	4,17		
min.	43	19	14	2,24	0,0277	46	0,0648	0,895	0,83	2,16		
průměr	54,1	25	17,9	5,086	0,264025	130,8	0,19	1,252	4,1755	3,1945		
sm. odchylka	12,64476	5,761944	4,311612	5,162557	0,381327	107,626948	0,203635907	0,241227007	1,80487	0,545642		

Příloha 4.: Tabulka použitá v experimentu pro zjištění pleopodální plodnosti raka pruhovaného s uvedením biometrických údajů. Délkové údaje jsou udány v milimetrech a hmotnostní v gramech.

Experiment-pleopodální plodnost raka pruhovaného 2004

číslo	CD	DH	PODH	hm.s.vaj.	hm.bez.vaj.celek.	1.pIL	2.pIL	3.pIL	4.pIL	5.pIL	5.pIP	vel.vajíček				
1	75	35	25	15,57	12,09	0	0	23	19	24	27	29	24	20	2,15	
2	96	44	32	29,91	25,58	0	0	59	51	75	47	45	72	58	1,75	
3	67	28	21	8,92	6,82	3	2	31	27	26	27	30	35	23	1,7	
4	69	33	23	12,27	9,75	2	1	16	26	29	34	34	40	26	1,85	
5	76	36	25	15,56	12,42	2	2	26	32	36	32	32	39	20	2,05	
6	64	31	21	8,76	6,93	1	0	19	15	30	24	27	32	21	1,75	
7	81	39	28	19,74	15,93	1	1	30	21	39	41	53	44	46	1,95	
8	73	35	25	14,43	11,37	0	0	26	14	32	32	29	33	30	2,1	
9	64	29	21	8,32	6,86	0	1	17	11	19	21	24	25	20	1,9	
10	70	32	23	12,06	10,02	1	1	18	17	26	25	29	29	25	2,15	
11	63	30	21	8,61	6,83	1	0	17	16	24	14	22	24	24	1,95	
12	57	26	23	5,95	4,97	1	1	18	16	21	18	16	21	14	1,45	
13	52	24	16	4,42	3,69	0	0	9	5	16	12	7	5	8	1,75	
14	49	22	15	3,49	2,91	0	0	6	9	9	15	4	17	10	1,55	
15	56	26	18	5,62	4,73	0	0	7	6	9	11	9	16	9	1,55	
16	57	27	18	5,91	4,97	1	0	8	11	15	15	15	13	13	1,7	
17	54	27	17	4,31	3,94	0	0	2	1	7	2	5	2	4	1,8	
18	47	21	14	3,1	2,45	0	0	6	8	8	17	12	18	13	1,8	
19	51	25	17	4,82	3,99	0	0	10	10	15	15	18	14	16	1,75	
20	59	28	19	6,57	5,84	1	2	17	16	22	19	29	23	16	1,45	
min.	47	21	14	3,1	2,45	0	0	2	1	7	2	4	2	4	1,45	
max.	96	44	32	29,91	25,58	3	2	59	51	75	47	53	72	58	2,15	
průměr	64	29,9	21,1	9,917	8,1045	0,7	0,55	18,3	16,6	24,1	22,4	23,5	27	20,9	1,805	
sm.odch.	11,9	5,66	4,437	6,45744	5,3538	0,84	0,74	12,4	10,9	14,8	10,7	12,6	15,8	12,2	12,5	0,2067

Příloha 5.: Tabulka použitá v experimentu pro zjištění plodnosti raka pruhovaného dané počtem vylíhlých rácat po osamostatnění od samice s uvedením biometrických údajů. Délkové údaje jsou udány v milimetrech a hmotnostní v gramech.

Experiment-plodnost raka pruhovaného zjištěná počtem vylíhlých rácat po osamostatnění od samice

číslo	CD	DH	PODH	hm.	dat. kladení	dat. líhnutí	dat. III. výv. st.	počet rácat ve II. výv. st.
1	88	39	29	18,68	vajíž při dovozu	11.6. již má	22.6.	243
2	78	36	26	15,4	vajíž při dovozu	11.6. již má	22.6.	155
3	76	36	26	14,46	vajíž při dovozu	11.6. již má	22.6.	164
4	71	34	25	12,7	vajíž při dovozu	11.6. již má	22.6.	230
5	75	34	24	13,05	vajíž při dovozu	11.6. již má	22.6.	180
6	68	31	22	8,95	4.5. již má	18.6. (17.6?)	30.6.	171
7	57	26	18	4,97	4.5. již má	18.6. (17.6?)	29.6.	83
8	65	30	21	7,4	4.5. klade	18.6. začíná	30.6.	130
9	67	31	22	8,73	4.5. již má	15.6.	22.6.	183
10	60	27	20	5,8	10.5. klade	24.6.	před 7.7.	15
11	60	28	20	6,4	4.5. již má	16.6.	4.7. počátek	154
12	55	26	19	4,6	10.5. již má	19.6.	po 4.7.	67
13	52	24	17	4,4	10.5. již má	19.6.	po 4.7.	102
14	47	22	15	2,5	10.5. již má	19.6.	po 4.7.	23
min.	47	22	15	2,5	před 26.4.	11.6.	22.6.	15
max.	88	38	29	18,68	10.5.	24.6.	7.7.	243
průměr	65,64286	30,28571	21,71429	9,145714	X	X	X	135,7142857
sm. odch.	10,91923	4,861343	3,787735	4,727696	X	X	X	67,23883717

Příloha 6.: Tabulka použitá v experimentu na zjištění inkubační doby.

Samice č.	datum kladení vajíček	t (°C)	datum líhnutí ráčat	t (°C)	inkubační doba (d°)
1	5.5.2004	14	21.6.2004	14,5	682
2	7.5.2004	13	24.6.2004	16,5	683,5
3	14.5.2004	12,5	26.6.2004	16,0	647
4	9.5.2004	12	22.6.2004	14,5	628,5
5	7.5.2004	13	21.6.2004	14,5	639
6	9.5.2004	12	24.6.2004	16,5	675
7	8.5.2004	12	22.6.2004	14,5	640,5
8	9.5.2004	12	22.6.2004	14,5	628,5
9	5.5.2004	14	22.6.2004	14,5	682
10	12.5.2004	12,5	24.6.2004	16,5	623,5
11	8.5.2004	12,5	22.6.2004	14,5	640,5
12	9.5.2004	12	22.6.2004	14,5	628,5
13	16.5.2004	12,5	22.6.2004	14,5	543
14	10.5.2004	11,5	21.6.2004	14,5	602
15	11.5.2004	11,5	23.6.2004	15,5	619,5
16	7.5.2004	13	22.6.2004	14,5	653,5
17	15.5.2004	12,5	27.6.2004	15,5	634,5
18	15.5.2004	12,5	24.6.2004	16,5	555,5
19	9.5.2004	12	23.6.2004	15,5	643
20	24.4.2004	12,5	12.6.2004	17,0	661,5
21	22.4.2004	11	12.6.2004	17,0	684,5
22	30.4.2004	13	18.6.2004	16,0	704,5
23	24.4.2004	12,5	12.6.2004	17,0	661,5
24	17.4.2004	8,5	12.6.2004	17,0	730
25	23.4.2004	12	12.6.2004	17,0	673,5
26	24.4.2004	12,5	12.6.2004	17,0	661,5

Příloha 7.: Příklad tabulky pro zaznamenání údajů zjištěných při přelovení ráčat při experimentu s odchovem ráčat.

Společný odchov ráčat raka říčního a pruhovaného v akváriích

Datum přelovení:

Den odchovu:

Akv.č. 5 /A+O

Rak říční

	CD	Hm
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
Suma		
Průměr		
Min		
Max		
STD		

Rak pruhovaný

	CD	Hm
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
Suma		
Průměr		
Min		
Max		
STD		

Sloveno

Suma		
Průměr		
Min		
Max		
STD		

Sloveno

Suma		
Průměr		
Min		
Max		
STD		

Preziti

Preziti

Krmná dávka na 1 den (30%)

mg

Příloha 8.: Příklad tabulky pro souhrnné údaje po přelovení obsádky při odchovu ráčat.

Přežití				
	A.astacus	A.astacus(mix)	O.limosus(mix)	O.limosus
1	95	90	70	73,68
2	100	90	100	94,74
3	100	90	90	66,67
průměr	98,33	90,00	86,67	78,36
smodch	2,36	0,00	12,47	11,93

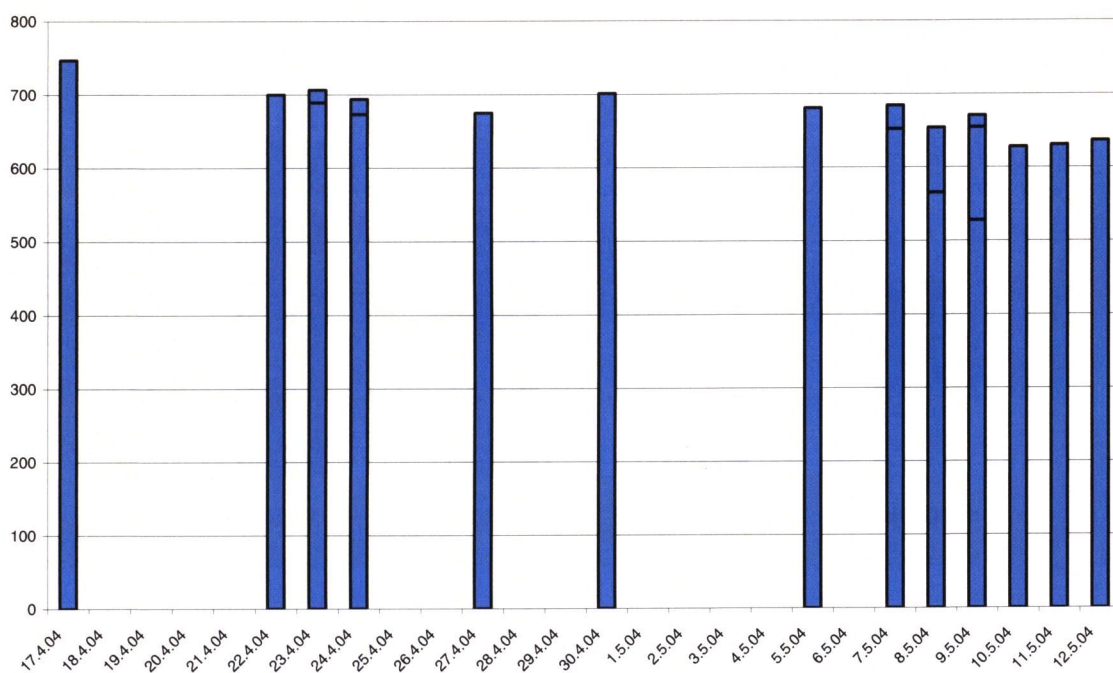
Délka						
	A.astacus	A.astacus(mix)	O.limosus(mix)	O.limosus	A.astacus/poc	O.limosus/poc
1	20,16	20,33	21,57	23,93		
2	20,62	20,78	22,1	22,13		
3	19,65	20,11	22,44	24,17		
průměr	20,14	20,41	22,04	23,41	11,1	7,1
smodch	0,40	0,28	0,36	0,91	0,6	0,73

Hmotnost						
	A.astacus	A.astacus(mix)	O.limosus(mix)	O.limosus	A.astacus/poc	O.limosus/poc
1	211,03	227,88	224,81	342,84		
2	218,97	240,19	233,32	249,21		
3	200,2	199,44	280,7	379,67		
průměr	210,07	222,50	246,28	323,91	44,4	8,8
smodch	7,69	17,07	24,59	54,92	3,2	1,82

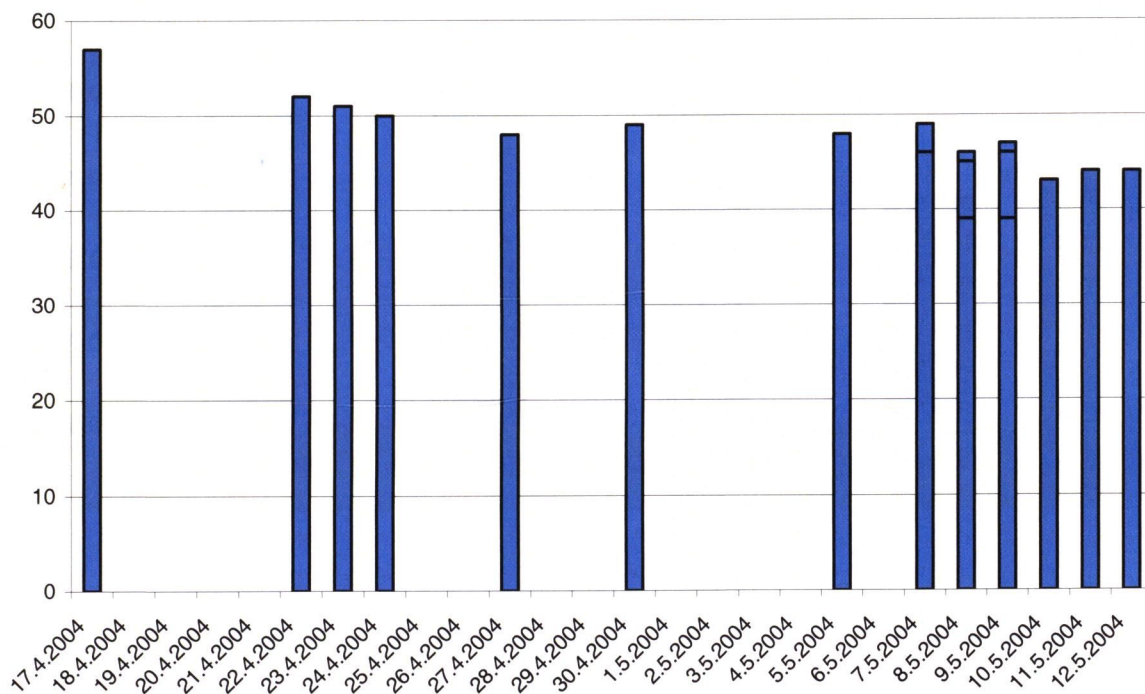
%bez kl				
	A.astacus	A.astacus(mix)	O.limosus(mix)	O.limosus
1	26,33	0	14,28	35,71
2	20	44,44	10	16,67
3	25	11,11	44,44	0
průměr	23,78	18,52	22,91	17,46
smodch	2,73	18,88	15,33	14,59

8.2.Grafy

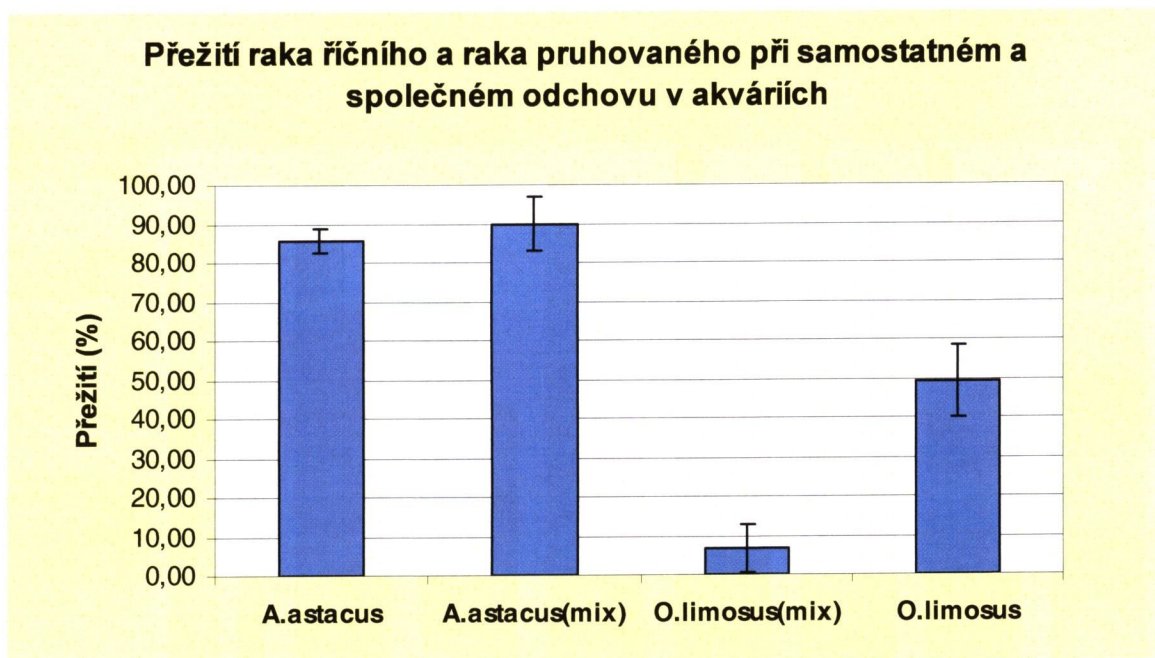
Příloha 9.: Závislost délky inkubační doby (v d°) na době kladení vajíček.



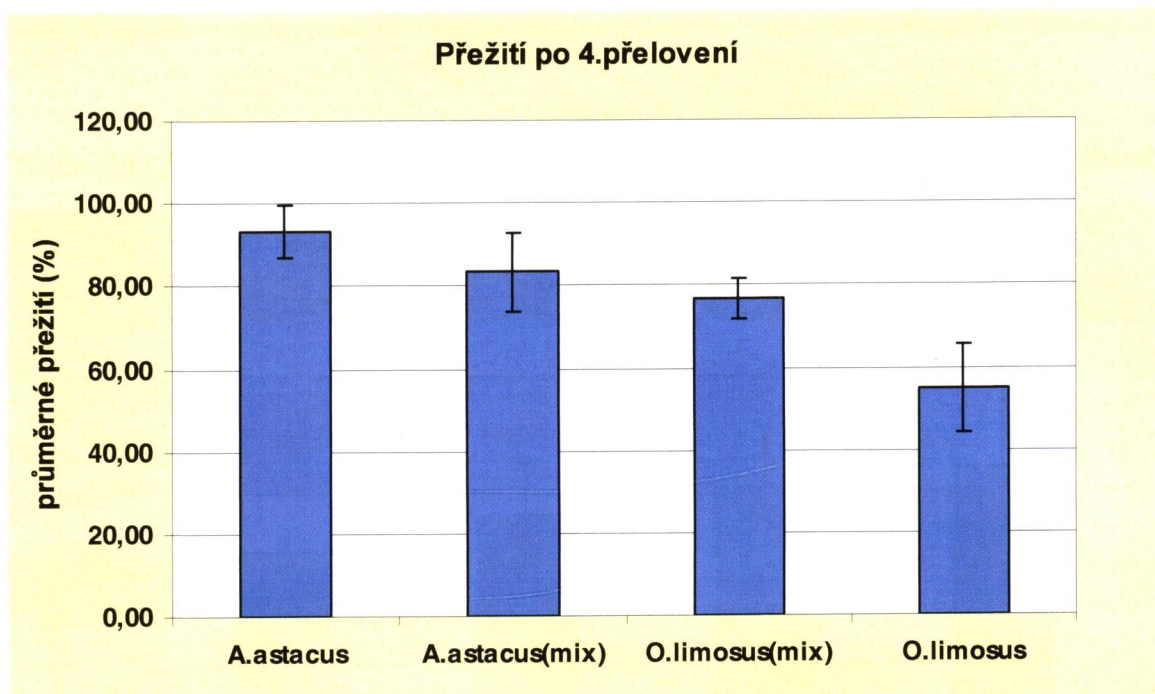
Příloha 10.: Závislost délky inkubační doby (ve dnech) na době kladení vajíček.



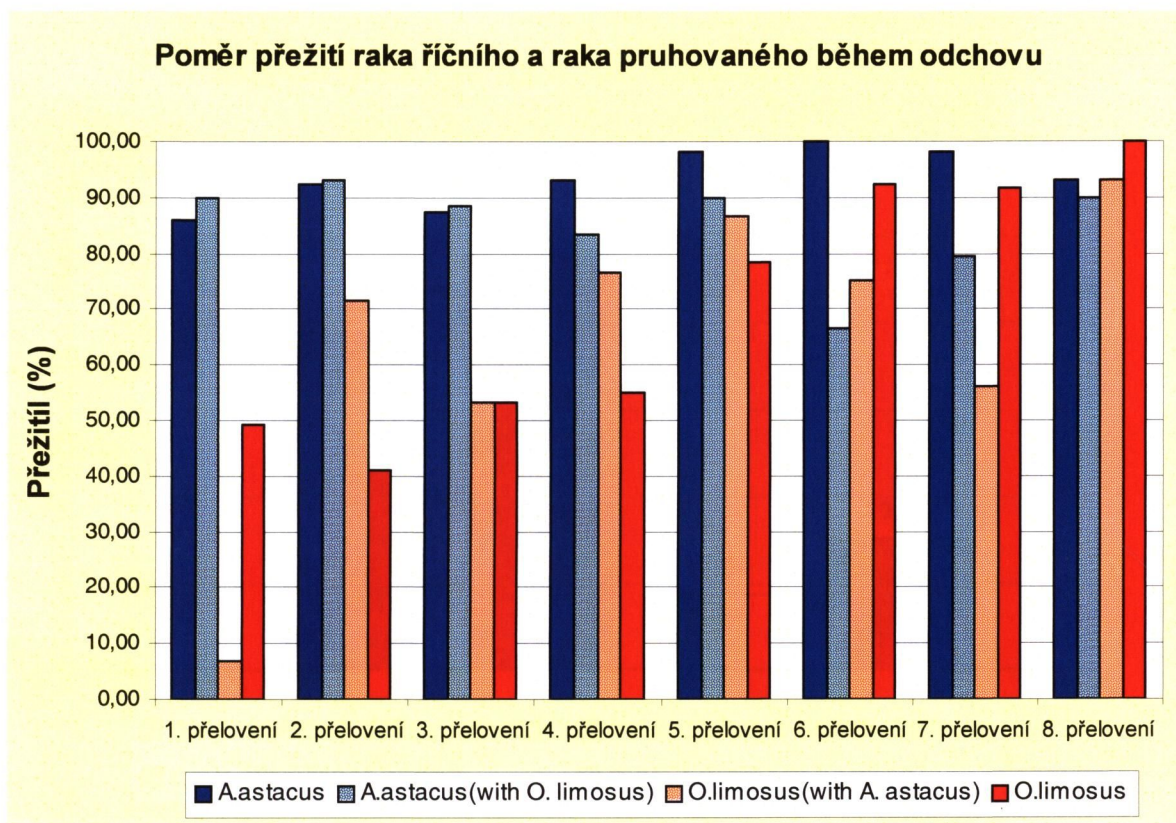
Příloha 11.: Průměrné přežití zjištěné po prvním přelovení u jednotlivých skupin ráčat.



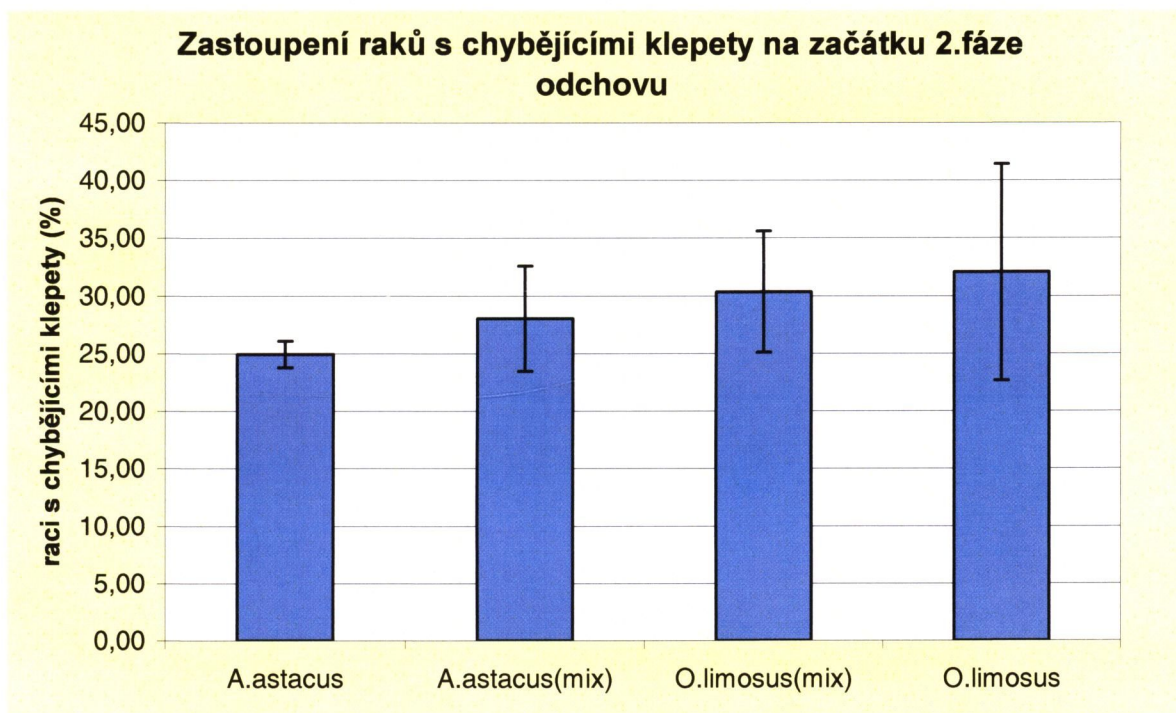
Příloha 12.: Průměrné přežití zjištěné po čtvrtém přelovení u jednotlivých skupin ráčat.



Příloha 13.: Porovnání přežití raka říčního a pruhovaného v jednotlivých obdobích.

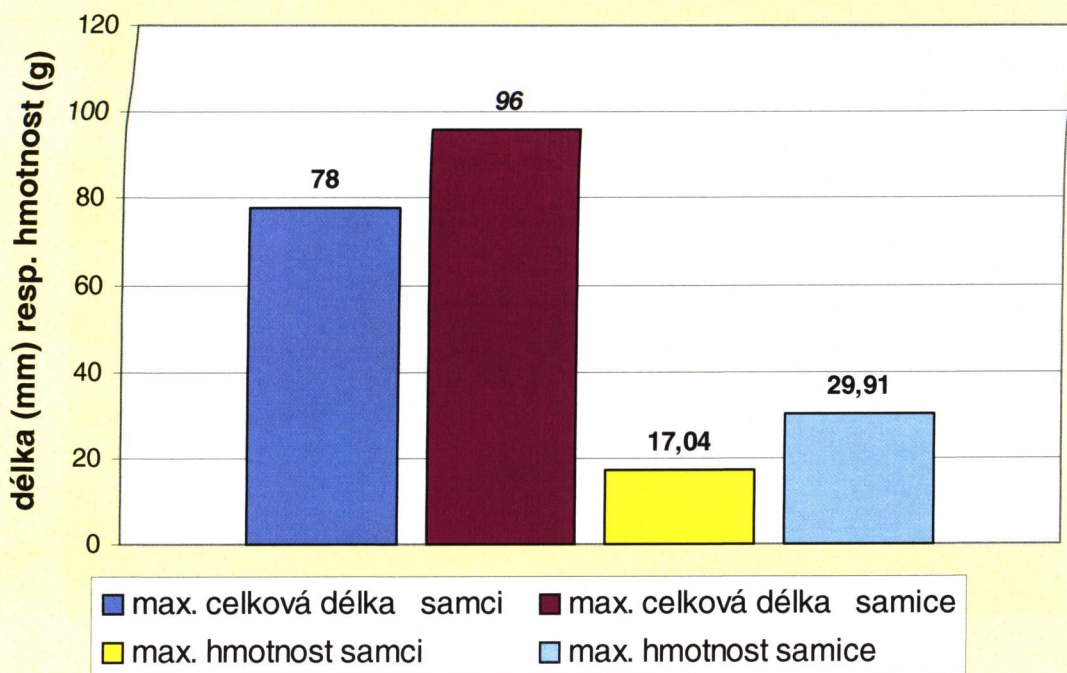


Příloha 14.: Porovnání zastoupení raků s chybějícími klepety v jednotlivých skupinách raků.



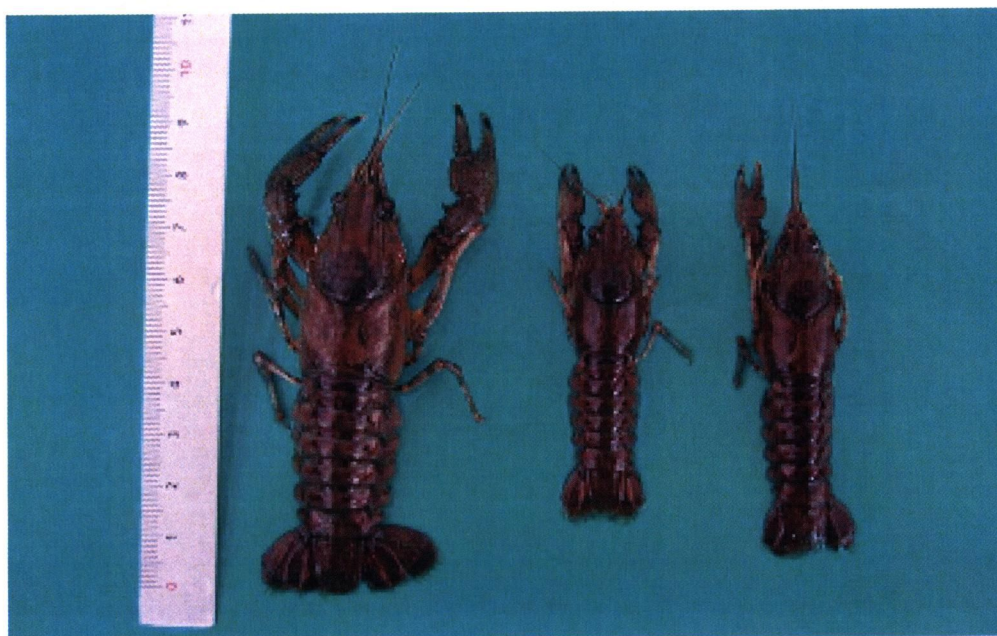
Příloha 15.: Porovnání maximální délky samců a samic raka pruhovaného.

Porovnání max. délky a hmotnosti samců a samic



8.3. Fotopříloha

Příloha 16.: Samice raka pruhovaného – pohled shora.



Příloha 17.: Samice raka pruhovaného – pohled zdola.



Příloha 18.: Vaječníky uložené v tělní dutině raka pruhovaného.



Příloha 19.: Vypreparované vaječníky s oocyty II. řádu na pevném měřítku.



Příloha 20.: Detail „annulus ventralis“ samice raka pruhovaného.



Příloha 21.: Detail gonopodů samce raka pruhovaného.



Příloha 22.: Samice raka pruhovaného s vajíčky připevněnými na pleopodech.



Příloha 23.: Na některých lokalitách je početnost raka pruhovaného opravdu velká.



Příloha 26.: Hledání raka pruhovaného v úkrytu pod břehem (Velký potok).



Příloha 27.: Úsek č. 5 na Hrejkovickém potoce – čísla úseků byla vyznačena na kamenech nebo kmenech stromů na březích.



Příloha 28.: Někdy nebyly podmínky ideální – zakalená voda na Hrejkovickém potoce.



9. Výstupy

9.1. Publikace v recenzovaných časopisech

Kozák Pavel, Buřič Miloš, Polícar Tomáš, Hamáčková Jitka, Lepičová Andrea, Lepič Pavel:
The effect of inter- and intra-specific competition on survival and growth rate of native juvenile noble crayfish *Astacus astacus* and alien spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus*. *Hydrobiologia*. - *in press* (IF2004=0,653).

Kozák, P., Buřič, M., Polícar T. The fecundity, time of egg development and juveniles production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) under controlled conditions. *Bull. Fr. Peche Piscic.* - *in press* (IF2004=0,757).

The effect of inter- and intra-specific competition on survival and growth rate of native juvenile noble crayfish *Astacus astacus* and alien spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus*.

Authors:

Kozák Pavel, Buřič Miloš, Polícar Tomáš, Hamáčková Jitka, Lepičová Andrea

Address of affiliation:

University of South Bohemia in České Budějovice, Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology at Vodňany, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, Czech Republic, kozak@vurh.jcu.cz

Key words:

Orconectes limosus, *Astacus astacus*, competition, interaction, communal stock, cheliped injuries

This paper has not been submitted elsewhere in identical or similar form, nor will it be during the first three months after its submission to *Hydrobiologia*.

Abstract

Juvenile noble crayfish, *Astacus astacus* and spiny-cheek crayfish, *Orconectes limosus* were reared from the 2nd and the 3rd developmental stage (i.e. since the stage of independence), respectively, until the end of the growing season. The first period revealed very low survival rate of *O. limosus* in the communal stock ($7\pm 6.2\%$), probably caused by predation of *A. astacus*. Separately reared *O. limosus* proved significantly higher survival rate ($49\pm 9.2\%$) than those in the communal stock with *A. astacus*. The latter species also showed the highest survival rate in this case ($90\pm 7.1\%$). This was not found to differ from the survival rate of separately reared noble crayfish ($86\pm 3.1\%$). In general, both the significant effect of bigger size of *A. astacus* than that of *O. limosus* and higher intra-specific cannibalism of *O. limosus* were reflected during the first phase of rearing. Size and weight of both species were equivalent 11 weeks after hatching (8 weeks of rearing). The higher cumulative survival rate was reached in the intraspecific culture of *A. astacus* (90 %) while low cumulative survival of both species was found in communal stock (less than 50 %) in the second phase of rearing. At the end of the growing season, 19-week-old *O. limosus* attained a higher mean size and weight but were more variable in the group (29.3 ± 5.17 mm and 616.4 ± 412.53 mg) than *A. astacus* (21.2 ± 1.82 mm and 229.9 ± 59.45 mg). Single and communal stock did not differ. Growth of *O. limosus* was much faster than that of *A. astacus*.

Introduction

Human activities move many species outside of their native ranges, where they may establish and have substantial ecological effects on native communities (Mack et al. 2000; Vitousek et al., 1996). A group of invaders with particularly important ecological effects are the crayfish. These animals have often been introduced outside their native ranges by deliberate stocking (Hobbs et al. 1989). Once established, these animals may eliminate native crayfish species and reduce populations of favoured food items such as gastropods, algae and macrophytes, which can have cascading trophic effects elsewhere in the ecosystem (Klocker & Strayer, 2004; Nyström et al., 1996). The crayfish from North America introduced to Europe (*Orconectes limosus* Rafinesque., *Pacifastacus leniusculus* Dana, *Procambarus clarkii* Girard) often carry the crayfish plague pathogen (*Aphanomyces astaci* Schikora) and may transmit it to the native European crayfish populations (Vogt, 1999). With the spread of non-native species in recent decades, the crayfish plague outbreaks have regained intensity recently (Holdich, 2003). Furthermore, the indigenous crayfish can also be displaced through direct interactions or competition for resources with the non-native species (Holdich et al., 1999). American crayfish are usually characterized by high growth rates, early maturity and large amounts of offspring, but also short life spans and high mortality rates. They are often aggressive and tolerate also deteriorated habitat conditions (Lindqvist & Huner, 1999).

The most widespread non-native species in the Czech Republic is the spiny-cheek crayfish, *O. limosus* (Kozák et al., 2004; Petrusek et al., 2006). It was first intentionally introduced to Europe in 1890, when about 100 specimens from Pennsylvania were released to a fishpond in Barnowko (Berneuchen, Western Pomerania; currently in Poland close to the German border) (Kossakowski, 1966; Hamr, 2002). This crayfish has spread naturally or by secondary translocations to over 15 European countries, including the Czech Republic and its neighbours – Poland, Germany and Austria (Henttonen & Huner, 1999; Holdich, 2003). *O. limosus* occurs in the main Czech rivers and it is still being spread. It is a major vector of *A. astaci* in Czech open water (Kozubíková et al., 2006). There is no evidence of a long-term coexistence of *O. limosus* and the native noble crayfish *Astacus astacus* (Linnaeus) in running waters. The occurrence of *O. limosus* in a number of isolated still water bodies, especially flooded quarries or sandpits where several individuals of native species were also recorded (Petrusek et al., 2006), is certainly caused by frequent human-mediated translocations (especially by fishermen, recreational scuba divers etc.).

Apart from crayfish plague transmission, aggression and resource competition are important parts of crayfish interactions (Söderback, 1991). This species shows several characteristics such as rapid maturation, short-lifespan, high fecundity and second mating period, which facilitates its fast population growth, dispersal and invasive capabilities (Brink et al., 1988; Holdich & Lowery, 1988; Hamr, 2002; Stucki, 2002; Kozák & Polícar, in press; Kozák et al., 2006). Sympatric crayfish species compete for limited resources such as food, shelter and space, and larger crayfish routinely win competitive interactions with smaller individuals (Momot, 1984). Body size is a major determinant of dominance in crayfish (Butler & Stein, 1985) and faster growing; hence, larger-sized, crayfish are reported to outcompete smaller individuals of the same species, as well as smaller individuals of a different species (Momot, 1984; Mather & Stein, 1993). The size difference may be providing a competitive advantage in conspecific interactions.

The specific objectives of this experiment were to determine the growth and survival of young-of-the-year (YOY) of *A. astacus* and *O. limosus* in intra-specific and inter-specific competition treatments.

Materials and Methods

Stocking material

At the end of October 2003, 20 egg-bearing females of *A. astacus* were collected from Světlohorská reservoir in Šumava Protected Landscape Area. Environmental conditions of the Světlohorská reservoir were described in detail by Polícar & Kozák (2005). Twenty mature females of *O. limosus* (without pleopodal eggs) were collected on April 18, 2004 in the Kořensko reservoir (Vltava river, South Bohemia, Czech Republic). The females of the two species were placed in a separate fibreglass trough with 1.5 m² area with shelters, placed in the laboratory. Laying of eggs in *O. limosus* females took place between April 24 and May 10. Hatching of juveniles occurred between May 20 and June 19 in *A. astacus* and between June 11 and June 16 in *O. limosus*. Stage 1 hatchling are lecithotrophic and immobile, remaining attached to the pleopods. The astacid stage 2 and cambarids stage 3 juveniles resemble adults and begin to be independent (Reynolds, 2002; Muck et al., 2002; Andrews, 1907). Moulting of *A. astacus* and *O. limosus* juveniles used in experiments to the second and third stage, respectively (which is the first stage of juvenile independence) occurred on June 28. Juveniles were stocked to the experiment on July 9, e.g. approximately one month old and 11 days after last moult. There was a statistical difference between sizes (and weights) of both species. Total length (TL) and weight of subsamples were measured to the nearest millimetre and 0.1 mg to estimate the starting size and weight of juveniles, respectively. The body size and weight of *A. astacus* at the second developmental stage were 11.1±0.60 mm (10-12 mm) and 44.37±3.201 mg (37.1-51.5 mg), respectively in comparison to the body size and weight of 7.1±0.73 mm (7-8 mm) and 8.83±1.816 mg (5.8-11.8 mg), respectively for the *O. limosus* at the third developmental stage.

Rearing conditions

All juveniles were stocked into nine 15 L aquaria (20x30 cm of bottom area). Two bricks (28.5 x 13.5 x 6.5 cm) with 40 holes (each of diameter 1x3 cm) were placed in each aquarium to provide refuges for the crayfish. Both species were reared separately at initial densities of 40 juveniles per aquarium (designated hereafter as single stocks), as well as in a communal stock in 1:1 ratio at densities of 20 juveniles per species and aquarium (333 individuals m⁻² in all three treatments). The three treatments (single *A. astacus*, single *O. limosus*, mixed-species group) were carried out in triplicates. The rearing was divided into two eight-week experiments during which the crayfish were monitored at regular two-week intervals to check survival and growth rates and crayfish with cheliped injuries were monitored regularly. The crayfish were measured to the nearest 1 mm from the tip of the rostrum to the end of telson to give the total body length (TL). The animals were weighed to the nearest 0.1 mg. Prior to weighing, the animals were first put on filter paper to remove excess water trapped between the branchiostegites and appendages. The first experiment lasted until size and weight equilibration of juveniles of both species (altogether 4 two-week intervals = 8 weeks of rearing) to examine mainly the impact of size on predation risk. After every sampling, during this period, additionally crayfish were stocked to maintain the original density (40 crayfish per aquarium) because low survival of *O. limosus* in the communal stocks was observed. The second experiment again lasted 8 weeks (4 two-week periods) of rearing. The initial density of crayfish was half of the above (20 individuals per aquarium) because of larger size of crayfish and no crayfish were additionally stocked after the control catching to check the effect of inter-specific competition on cumulative survival and growth rate. This experiment was finished at the end of October. The crayfish were fed with frozen zooplankton twice a day at a ratio of 30 % of initial crayfish body mass adjusted at the beginning of each period. Mean (±SD) water temperature during the experiment was 20.6±1.2 °C. The oxygen level was measured daily and did not decrease below 7.5 mg.l⁻¹. Lights were set on 12h L: 12h D regime. Faeces and waste feed were siphoned out daily before feeding.

Statistical analysis

All data are presented as the mean ± SD. Statistical analyses were performed using Statistica software (6.1. version), StatSoft, Inc. Differences in survival and growth (TL, weight) were compared between groups by Anova, Tukey HSD and Kruskal-Wallis test. For all of these statistical tests, P values lower than or equal to 0.05 were considered indicative of a significant difference.

Results

EXPERIMENT 1: early phase growth

Period 1

In general, both the significant effect of larger size of *A. astacus* than that of the *O. limosus* and higher intra-specific cannibalism of *O. limosus* were reflected during the first phase of rearing. We found very low survival rate of *O. limosus* in the communal stock (7±6.2%), probably caused by predation by *A. astacus*.

Separately reared *O. limosus* showed a significantly higher survival rate ($49\pm 9.2\%$) than those in the communal stock with *A. astacus*. *A. astacus* also showed the highest survival rate in the communal stock with *O. limosus* ($90\pm 7.1\%$). It was not found to differ from the survival rate of separately reared *A. astacus* ($86\pm 3.1\%$) (Fig. 1).

The size and weight between both species still differed at the end of period 1. The *A. astacus* in communal stock reached higher weight than those in single treatment.

Period 2

High intra-specific cannibalism of *O. limosus* was reflected during the second period of rearing. We found the least survival ($41\pm 4.7\%$) in single *O. limosus*. The *O. limosus* in the communal stock had lower survival ($72\pm 10.2\%$) than *A. astacus* in both communal and monospecies rearing ($93\pm 6.2\%$ and $93\pm 3.5\%$). The size and weight between both species still differed at the end of the period 2 but without statistical difference between stocks of the same species. We recorded the change in spiny cheek crayfish behaviour as some of the individuals did not use shelters during the day and they staid out of them.

Period 3

We found a difference between the survival of *A. astacus* ($87\pm 6.12\%$ and $88\pm 6.2\%$) and *O. limosus* ($53\pm 6.2\%$ and $53\pm 12.0\%$). There was no inter-specific effect on survival. Size of both species was found equilibrated at the end of the period 3 (9 weeks after hatching). Only *O. limosus* in communal stock reached a lower weight than *A. astacus*. Statistical difference was found between the diffusion of size (and weight) of both species. In general, the size of *A. astacus* was relatively well balanced, ranging from 11 to 20 mm, with majority (more than 75 %) between 17 and 19 mm. Size of *O. limosus* substantially varied, ranging between 11 and 29 mm with majority between 14 and 20 mm.

Period 4

The lowest survival was found in single *O. limosus* ($55\pm 10.8\%$) in comparison to high survival of *A. astacus* both alone and communally ($93\pm 6.2\%$ and $83\pm 9.4\%$ respectively). The survival of *O. limosus* in the communal stock (77 ± 4.7) did not differ from the others. The bigger disproportion in size inside the group of *O. limosus* persisted. While the mean size and weight of both species did not statistically differ, the variances of both samples were different (Fig. 2). The minimum and maximum size of *A. astacus* and *O. limosus* ranged between 15-23 mm and 12-36 mm, respectively. The *O. limosus* with both chelae in the communal stock was bigger than those ones without chelae.

EXPERIMENT 2: later growth

No significant difference was found in the survival during all periods in the second experiment except for period 7. There was higher survival in single populations (*A. astacus* $98\pm 2.5\%$ and *O. limosus* $92\pm 6.0\%$) than in communal stock (*A. astacus* $65\pm 2.1\%$ and *O. limosus* $56\pm 6.2\%$). The higher cumulative survival rate was reached by single *A. astacus* (90 %) while low cumulative survival of both species was found in communal stock (less than 50 %) (Fig. 3). At the end of period 5 the size and weight of *O. limosus* were bigger than those of *A. astacus* (Fig. 4, 5). Single and communal stocks did not differ. At the end of the growing season, 19-week-old *O. limosus* reached higher mean size and weight than *A. astacus* but they were highly variable in the group (29.3 ± 5.17 mm and 616.4 ± 412.53 mg) (Fig. 6, 7). The *A. astacus* gained mean size and weight of 21.2 ± 1.82 mm and 229.9 ± 59.45 mg, respectively. The sex ratio was either 1:1 or females were more abundant in all treatments. The biggest individuals of *O. limosus* in each aquarium were also females.

Discussion

The high mortality at the beginning of rearing caused mainly by cannibalism was probably due to lack of food. Gydemo & Westin (1993) reported that on average, 37% of the mortality of adult *A. astacus* was caused by cannibalism, but cannibalism increased to 94% when crayfish were being starved. The feeding rate of 30% would appear to be very low for the youngest stage of both species. The very low survival rate of *O. limosus* in the communal stock was certainly caused by predation by bigger *A. astacus*. Body size is a major determinant of dominance in crayfish (Butler and Stein, 1985), larger crayfish routinely win competitive interactions with smaller individuals (Momot, 1984). Mazlum & Eversole (2005) showed that *Procambarus acutus acutus* (Girard) YOY, which were larger than *P. clarkii* YOY at stocking, grew and survived at significantly greater rates. The body size advantage at hatching and through the faster growth of *P. a. acutus* was important in defining competitive interaction with *P. clarkii*. The bigger size of *A. astacus* at hatching and beginning of our experiment was advantage for them approximately half of the season because *O. limosus* grew faster even in communal stock. The *A. astacus* in communal stock reached higher weight than those in single treatment at the

beginning of rearing. Ahvenharju et al. (2005) reported that larger individuals of *Pacifastacus leniusculus* benefited from the presence of smaller co-species. Higher mortality or inter-specific cannibalism showed *O. limosus* in comparison to *A. astacus* at this period. In contrast to the first period, single *O. limosus* had lower survival than those in communal stock which could be caused changes in their behaviour. They started to stay more outside of the shelters during the daytime which is typical for this species in contrast to the mainly nocturnal activity of *A. astacus* and they could compete better for the food at this time.

Although the average size and weight of both species was equivalent 9 weeks after hatching (8 weeks of rearing), the bigger disproportion in size inside the group of *O. limosus* was monitored and extended at the of rearing. The size of *A. astacus* was comparable with juveniles reared elsewhere under controlled conditions (Ackefors et al, 1995; Policar et al., 2004). We did not monitor the number and time of crayfish moulting in our experiment. Ackefors et al. (1995) and Ackefors (1999) found that under experimental conditions juveniles of *A. astacus* moult 6 times during the first year and reach stage 7. There were only small differences in the mean moult interval even with different feeding. For *O. limosus* there is a lack of published information regarding the number of developmental stages. Only very old information focused on moulting frequency of *O. limosus* was given by Andrews (1907). The *O. limosus* hatched in May 18 reached the stage 7 in July 17 with the 29 mm of body length. The body length in October ranged between 23 to 62 mm without mention of developmental stages. The high disproportion is in good relationship with our results. Muck et al. (2002) estimated that 63% of males and 55% of females of *Orconectes ozarkae* (Williams) matured during their first year of life and were capable of mating.

Ackefors et al. (1995) indicated that if males and females of *A. astacus* were reared individually there were probably no differences in growth rate between males and females during the juvenile stages but Gydemo & Westin (1989) found a tendency in males to attain larger sizes after 6 and 9 months of rearing. This indicates that juvenile males of *A. astacus* may be more aggressive than females, a behaviour which could favour the competition for food and optimal shelter sites. This is in contrary to *O. limosus* in our study where we found the biggest individuals in each aquarium to be females. Muck et al. (2002) showed that males and females of *O. ozarkae* grew at the same rate throughout the first growing season. From March until May males were larger than females. Adult males began to moult in March while females carried eggs and young until May, at which time they began to grow. Adult females began moulting after release of young and grew to the same size as males by July.

Chelae are important also in determining success in intra- and inter-specific crayfish interactions. Crayfish species with larger chelae win more fights than similar-sized species with smaller chelae (Gherardi, 2002). Rutherford et al. (1995) reported that chelae length is an important indicator of fighting ability in crayfish. They found that in agonistic interactions between male *Orconectes rusticus* (Girard) the winner had significantly longer chelae than the loser. Higher density of crayfish increased the frequency of cheliped injuries (Savolainen et al., 2004). The *O. limosus* with both chelae in the communal stock were bigger than those ones without chelae at the end of the first experiment. Animals that had lost a cheliped were reported to be significantly smaller in comparison with juveniles with two chelipeds (Nyström, 1994; Savolainen, 2003). Smaller animals held together with larger ones had the highest number of injuries, probably because of aggressive behaviour of the dominant larger individuals. The smaller crayfish grew faster in the absence of large animals. However, smaller juveniles had more injuries than larger individuals even when reared separately (Ahvenharju et al., 2005). Chelae form a substantial proportion of crayfish total biomass. After a cheliped loss, crayfish are forced to regenerate the missing claw using a part of their energy reserves, which would otherwise be used in growth (Aiken & Wady, 1992). Missing claws and the size of crayfish have a great effect on their overall success, behaviour and social status in the population. Mason (1979) reported that absence of chelae in *P. leniusculus* increased mortality due to cannibalism or damage by conspecifics with unbroken chelae.

Dominance hierarchies among crayfish, stabilize rapidly after fighting where one animal (the largest) was superdominant (Copp, 1986). This could explain relatively high cumulative survival rate in both single stocks in the second phase of rearing. The low survival of both species in the communal stock indicated some inter-specific interaction which could affect social behaviour also inside the species.

Besides the tolerance to *A. astaci*, growth in *O. limosus* was much faster than in *A. astacus*. This is one trait in the life history of r-selected species which are adapted to unpredictable environments, exhibit rapid growth rate, short life spans and are able to take maximum advantage of abundant resources. Together with other behaviour and ecological properties, faster growth make *O. limosus* a successful invasive species in disturbed habitats and other areas that are subject to man-induced modifications. The only disadvantage was lower survival of *O. limosus* in both single and communal stocks which could be balanced by higher fecundity and early maturation of this species.

Conclusion

- *A. astacus* had higher survival than *O. limosus* in both treatments. The significant effect of bigger size of *A. astacus* than that of *O. limosus* on survival rate and higher intra-specific cannibalism of *O. limosus* were reflected during the first phase of rearing.
- Survival of both species was significantly higher in the intra-specific treatment than in inter-specific treatment in the second phase of rearing.
- The *O. limosus* grew much faster than *A. astacus*. Size and weight of both species was found equilibrated 11 weeks after hatching (8 weeks of rearing).
- The highest cumulative survival rate was attained by the single *A. astacus* (90 %) while low cumulative survival of both species was found in communal stock (less than 50 %) at the second phase of rearing. At the end of the growing season, 19-week-old *O. limosus* gained higher mean size and weight but they were highly variable in the group (29.3±5.17 mm and 616.4±412.53 mg) than *A. astacus* (21.2±1.82 mm and 229.9±59.45 mg).

Acknowledgements

This investigation was financially supported by the Czech Science Foundation project No. 206/03/D064, Ministry of Agriculture project No. QF3028 and by the USB RIFCH No. MSM6007665809.

References

- Ackefors, H., 1999. Observations on the yearly life cycle of *Astacus astacus* in a small lake in Sweden. *Freshwater Crayfish* 12: 413-429.
- Ackefors, H., R. Gydemo & P. Keyser, 1995. Growth and moulting in confined juvenile noble crayfish *Astacus astacus* (L.) (Decapoda, Astacidae). *Freshwater Crayfish* 10: 396-409.
- Ahvenharju, T., R. Savolainen, J. Tulonen & K. Ruohonen, 2005. Effects of size grading on growth, survival and cheliped injuries of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana) summerlings (age 0+). *Aquaculture Research* 36: 857-867.
- Aiken, D. E. & S. L. Waddy, 1992. The growth process in crayfish. *Reviews in Aquatic Sciences* 6: 335-381.
- Andrews, E. A., 1907. The young of the crayfishes *Astacus* and *Cambarus*. *Smithsonian Contribution to Knowledge*. Part of Volume XXXV, No. 1718. Smithsonian Institution. Washington. 79 pp.
- Brink, F. W. B., G. Velde & J. F. M. Geelen, 1988. Life history parameters and temperature-related activity of an American crayfish, *Orconectes limosus* (Rafineque, 1817) (Crustacea, Decapoda), in the area of the major rivers in The Netherlands. *Archiv fur Hydrobiologie* 114: 275-289.
- Butler, M. J. & R. A. Stein, 1985. An analysis of mechanism governing species replacement in crayfish. *Oecologia* 66: 168-177.
- Copp, N. H., 1986. Dominance hierarchies in the crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) and the question of learned individual recognition (Decapoda, Astacidea). *Crustaceana* 51: 9-24.
- Gherardi, F., 2002. Behaviour. D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*, pp. 152-191, Blackwell Science Ltd., London.
- Gydemo, R. & L. Westin, 1989. Growth and survival of juvenile *Astacus astacus* L. in optimized water temperature. In: *Aquaculture – a biotechnology in progress*. De Pauw, N., E. Jaspers, H. Ackefors & N. Wilkins (eds), pp. 383-391, European Aquaculture Society, Bredene, Belgium.
- Gydemo, R. & L. Westin, 1993. Effects of starvation, constant light and partial dactylotomy on survival of noble crayfish, *Astacus astacus* (L.), under high density laboratory conditions. *Freshwater Crayfish* 9: 79-83.
- Hamr, P., 2002. *Orconectes*. In: D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*. pp. 585-608. Blackwell Science Ltd., London.
- Henttonen, P. & J.V. Huner, 1999. The introduction of alien species of crayfish in Europe: A historical introduction. In: *Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation?* Gherardi F. & D. M. Holdich (Eds), 13-22. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Hobbs, H. H., J. P. Jass & J. V. Huner, 1989. A review of global crayfish introductions with particular emphasis on two North American species (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana* 56: 299-316.

- Holdich, D. M., 2003. Crayfish in Europe – an overview of taxonomy, legislation, distribution, and crayfish plague outbreaks. In: Management & Conservation of Crayfish, Proceedings of a conference held on 7th November 2002 at the Nottingham Forest Football Club, Nottingham, UK. Holdich D. M. & P. J. Sibley (Eds), pp. 15-34. Environment Agency, Bristol, UK.
- Holdich, D. M. & R. S. Lowery, 1988. Freshwater Crayfish Biology, Management and Exploitation. Chapman & Hall, London & Sydney, Timber Press, Portland, Oregon, 498 pp.
- Holdich, D.M., H. Ackefors & F. Gherardi, 1999. Native and alien crayfish in Europe: Some conclusions. In: F. Gherardi, D.M. Holdich (eds), Crayfish in Europe as alien species. How to make the best from a bad situation? A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, 281-292.
- Klocker, C. A. & D. L. Strayer, 2004. Interactions among an invasive crayfish (*Orconectes rusticus*), a native crayfish (*Orconectes limosus*), and native bivalves (Sphaeriidae and Unionidae). Northeastern Naturalist 11: 167-178.
- Kossakowski, J., 1966. Raki. [Crayfish.] Państwowe wydawnictwo rolnicze i lesne, Warszawa. (in Polish).
- Kozák, P. & T. Policar, Annual course of gonad development in *Orconectes limosus*. Freshwater Crayfish 15. in press
- Kozák, P., M. Buřič & T. Policar, 2006. The fecundity and juveniles production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*). Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture. 380-381: in press
- Kozák, P., T. Policar & Z. Ďuriš, 2004. Migration ability of *Orconectes limosus* through a fishpass and notes on its occurrence in the Czech Republic. Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture. 372-373: 367-373.
- Kozubíková, E., A. Petrušek, Z. Ďuriš, P. Kozák, Sh. Geiger, R. Hoffmann & B. Oidtmann, 2006. The crayfish plague in the Czech Republic – review of recent suspect cases and a pilot detection study. Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture. 380-381: in press
- Lindqvist, O. V. & J. V. Huner, 1999. Life history characteristics of crayfish: what makes some of them good colonizers? Pp. 23-30 in F. Gherardi & D.M. Holdich, eds. Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation? A.A. Balkema, Rotterdam.
- Mack, R. N., D. Simberloff, W. M. Lonsdale, H. Evans, M. Clout & F. A. Bazzaz, 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. Ecologica Applications 10: 689-710.
- Mason, J. C., 1979. Effects of temperature, photoperiod, substrate and shelter on survival, growth and biomass accumulation of juvenile *Pacifastacus leniusculus* culture. Freshwater Crayfish 4: 73-82.
- Mather, M. E. & R. A. Stein, 1993. Using growth/mortality trade-offs to explore a crayfish species replacement in stream riffles and pools. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 50: 88-96.
- Mazlum, Y & A. G. Eversole, 2005. Growth and survival of *Procambarus acutus acutus* (Girard, 1852) and *P. clarkii* (Girard, 1852) in competitive settings. Aquaculture Research 36: 537-545.
- Momot, W. T., 1984. Crayfish production: a reflection of community energetics. Journal of Crustacean Biology 4: 35-54.
- Muck, J. A., Ch. F. Rabeni & R. J. DiStefano, 2002. Life-history characteristics of the crayfish *Orconectes ozarkae* in a Missouri Ozark stream. Freshwater Crayfish 13: 359-370.
- Nyström, P., 1994. Survival of juvenile signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) in relation to light intensity and density. Nordic Journal of Freshwater Research 69: 162-166.
- Nyström, P., C. Brönmark & W. Granéli, 1996. Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish? Freshwater Biology 36: 631-646.
- [O]Petrušek, A., L. Filipová, Z. Ďuriš, I. Horká, P. Kozák, T. Policar & M. Štambergová, 2006. Distribution of the invasive spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) in the Czech Republic: history and present. Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture. 380-381: in press
- Policar, T., V. Simon & P. Kozák, 2004. Egg incubation in the noble crayfish (*Astacus astacus* L.): the effect of controlled laboratory and outdoor ambient condition on hatching success, growth and survival rate of juveniles. Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture. 372-373: 411-423.
- Policar T. & P. Kozák, 2005. Comparison of trap and baited stick catch efficiency for noble crayfish (*Astacus astacus* L.) in the course of the growing season. Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture. 376-377, 675 - 686.

- Reynolds, J.D., 2002. Growth and reproduction. In: D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*, pp. 152-191, Blackwell Science Ltd., London.
- Rutherford P. L., D. W. Dunham & V. Allison, 1995. Winning agonistic encounters by male crayfish *Orconectes rusticus* (Girard) (*Decapoda, Cambaridae*): chela size matters but chela symmetry does not. *Crustaceana* 68: 526-529.
- Savolainen, R., K. Ruohonen & J. Tulonen, 2003. Effects of bottom substrate and presence of shelter in experimental tanks on growth and survival of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana) juveniles. *Aquaculture Research* 34: 289-297.
- Savolainen, R., K. Ruohonen & E. Railo 2004. Effect of stocking density on growth, survival and cheliped injuries of stage 2 juvenile signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana. *Aquaculture* 231: 237-248.
- Söderback, B., 1991. Interspecific dominance relationship and aggressive interactions in the freshwater crayfishes *Astacus astacus* (L.) and *Pacifastacus leniusculus* (Dana). *Canadian Journal of Zoology* 69: 1321-1325.
- Stucki, T., 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater crayfish* 13: 463-476.
- Vitousek, P. M., C. M. D'Antonio, L. L. Loope & R. Westbrooks, 1996. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* 84: 469-478.
- Vogt G., 1999. Diseases of European freshwater crayfish, with particular emphasis on interspecific transmission of pathogens. In: *Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation?* Gherardi, F. & D. M. Holdich (Eds), 87-103. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.

Figure

- Fig. 1: The survival of *A. astacus* and *O. limosus* in single and communal stocks in individual periods.
- Fig. 2: The size distribution of *A. astacus* and *O. limosus* at the end of the first experiment.
- Fig. 3: The cumulative survival rate of *A. astacus* and *O. limosus* in the single and communal stocks in the second experiment.
- Fig. 4: The mean body length of *A. astacus* and *O. limosus* in single and communal stock in individual periods.
- Fig. 5: The mean body weight of *A. astacus* and *O. limosus* in the single and communal stock in individual periods.
- Fig. 6: The size distribution of crayfish *A. astacus* and *O. limosus* at the end of rearing.
- Fig. 7: The length-weight relationship in *A. astacus* and *O. limosus* at the end of rearing.

Fig. 1

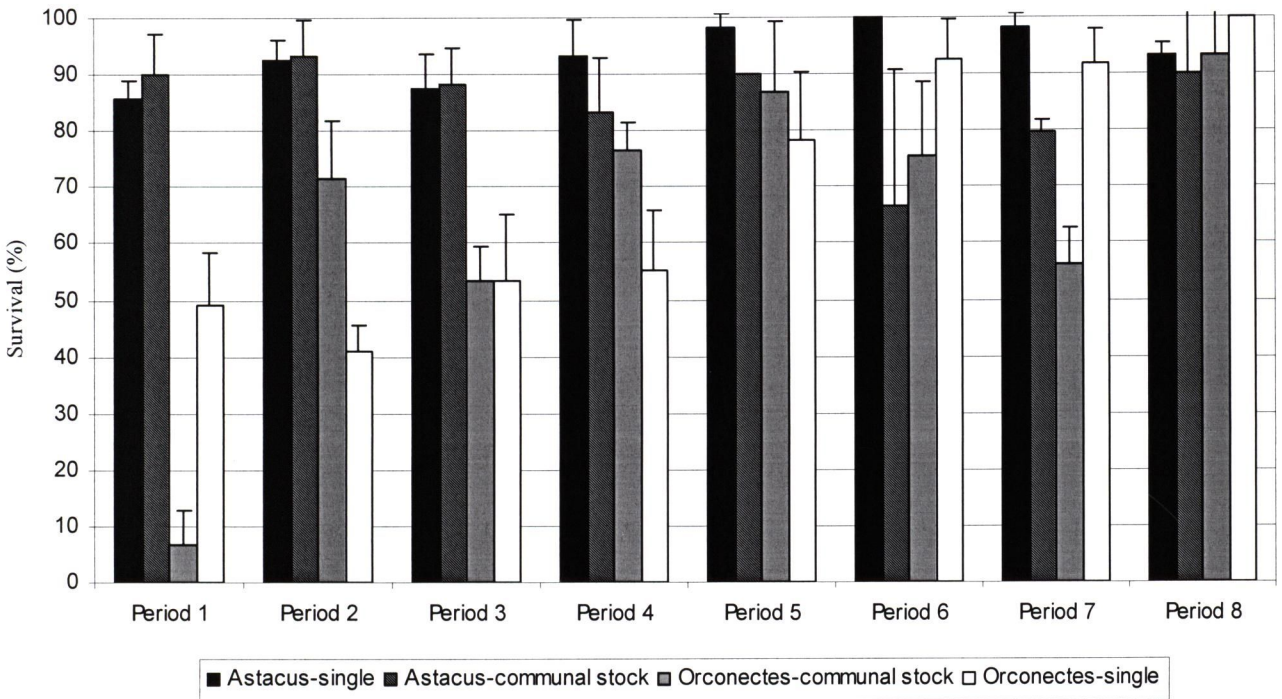


Fig. 2

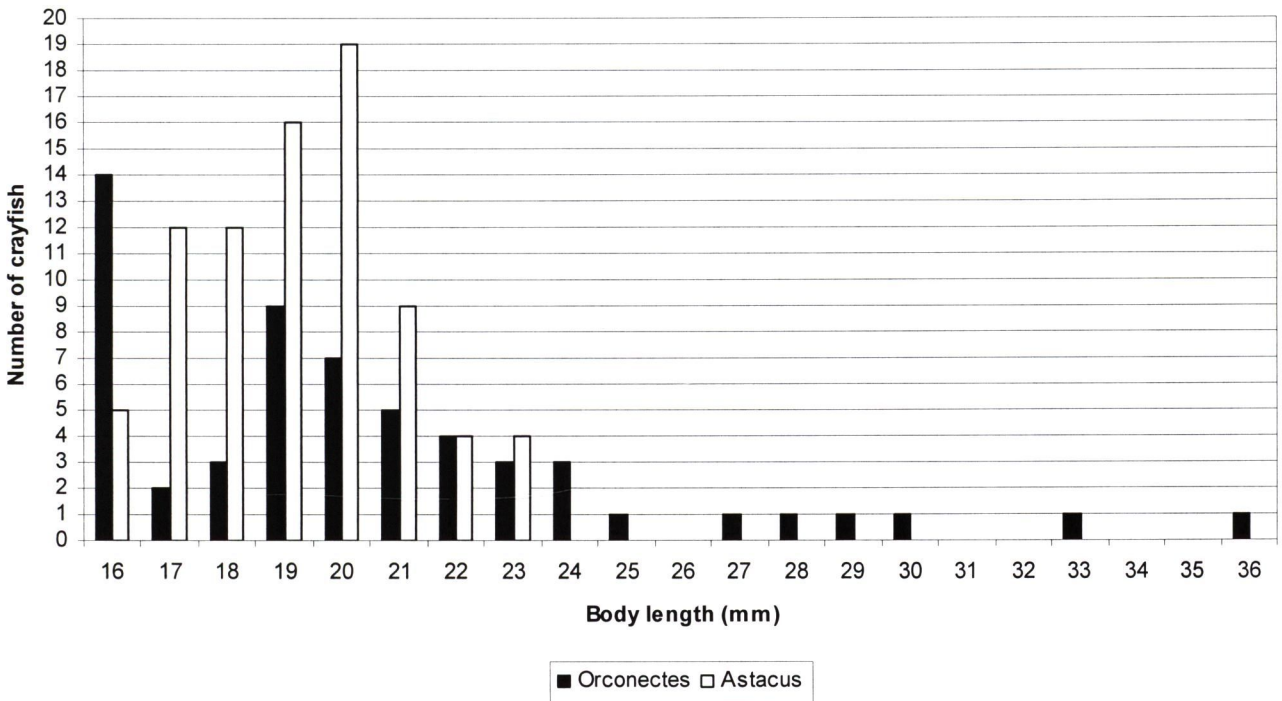


Fig. 3

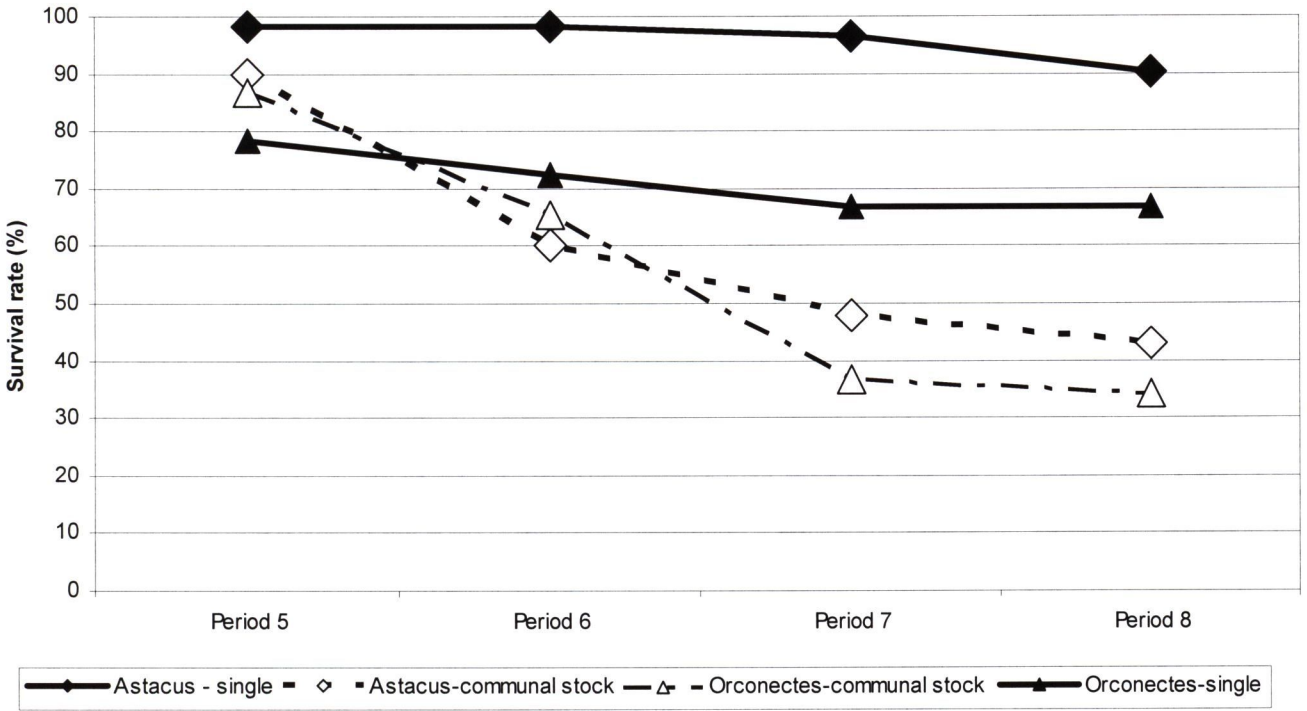


Fig.4

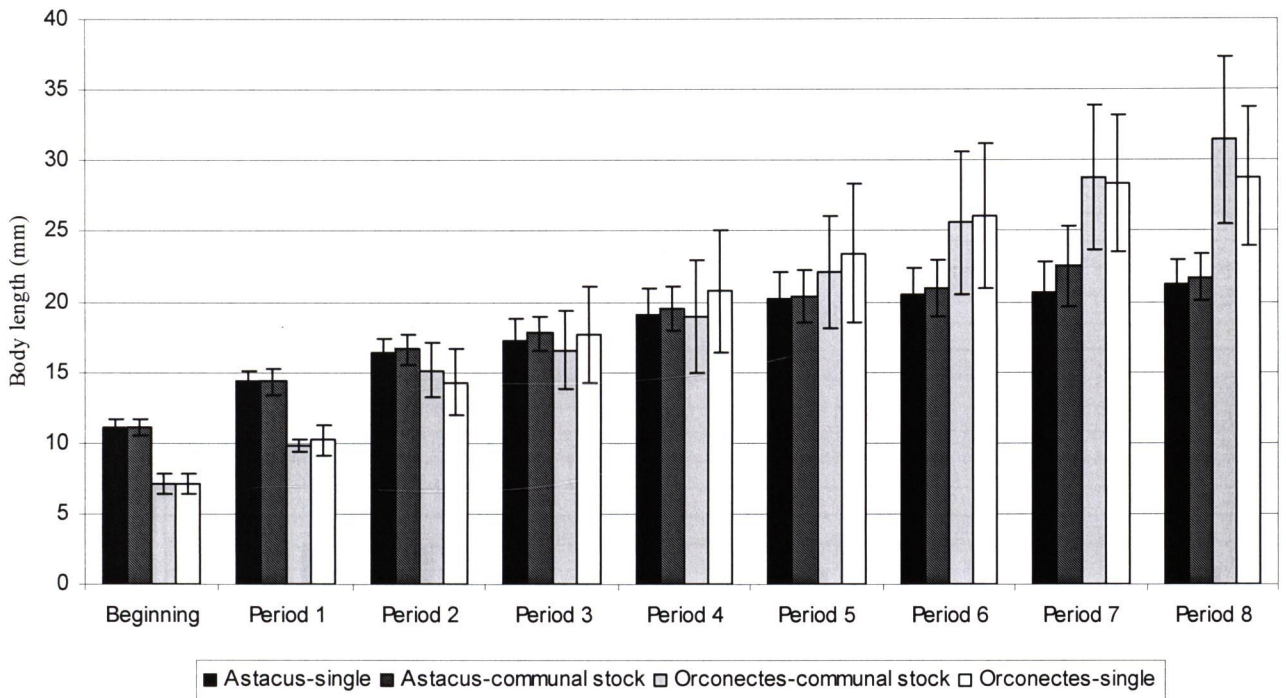


Fig. 5

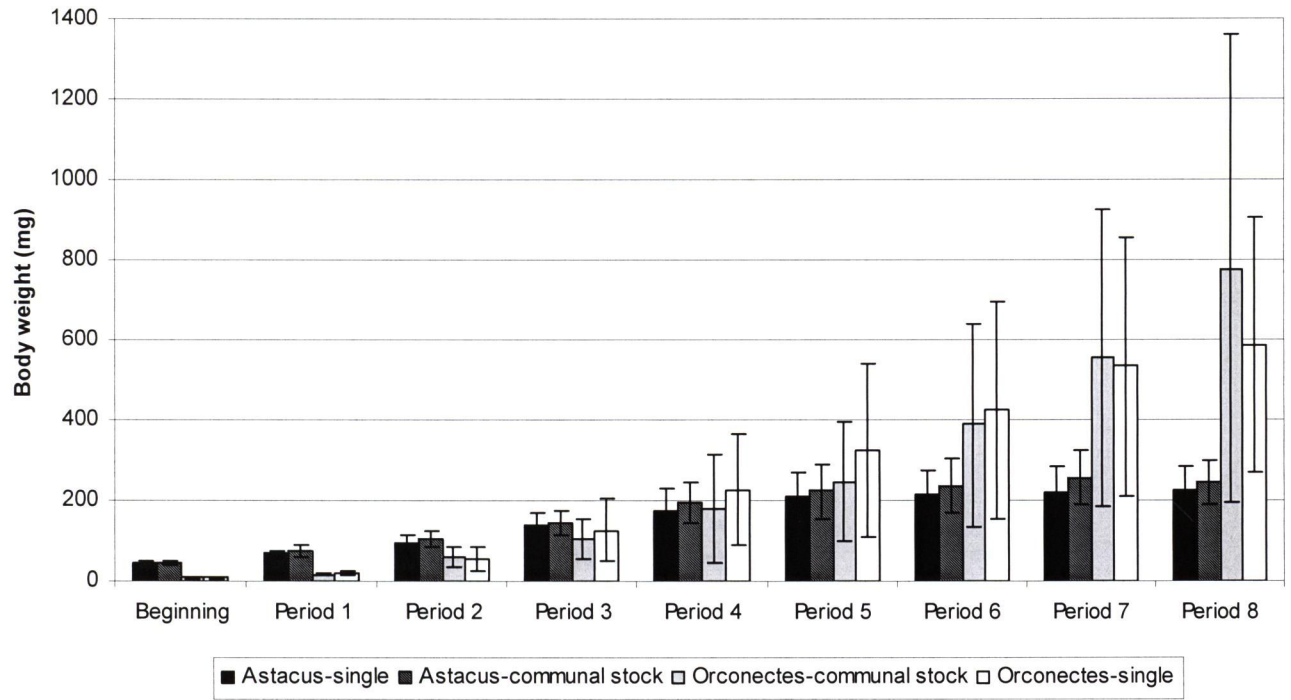
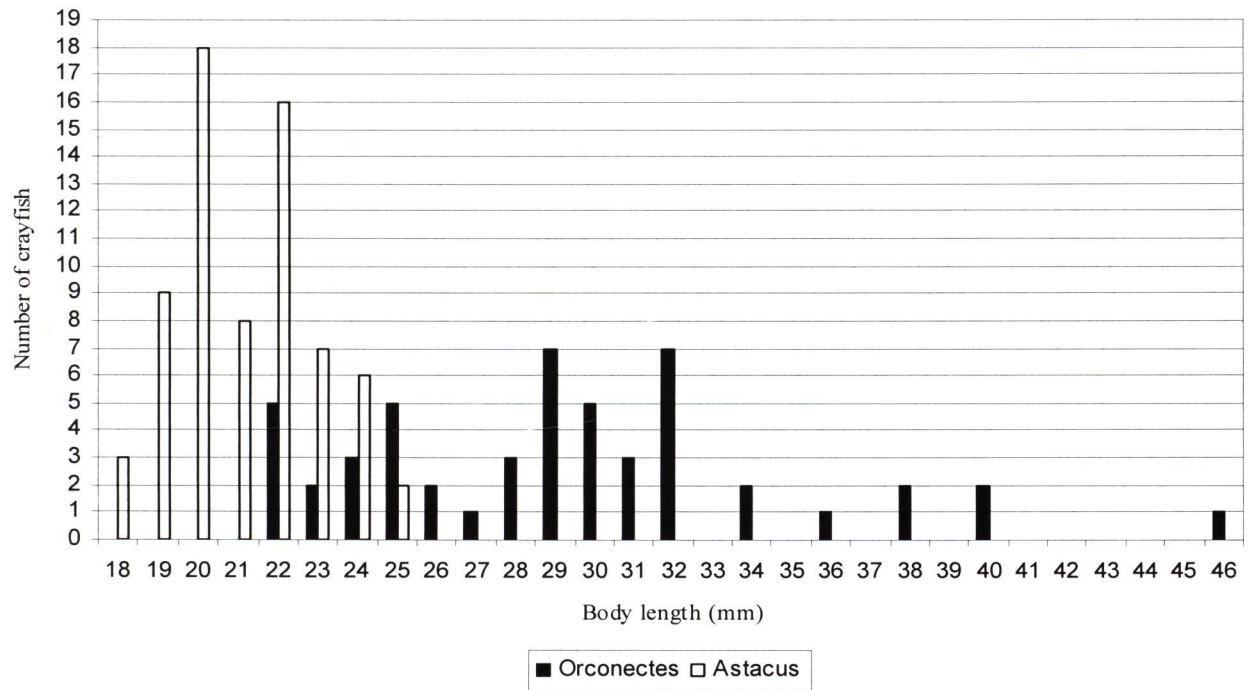
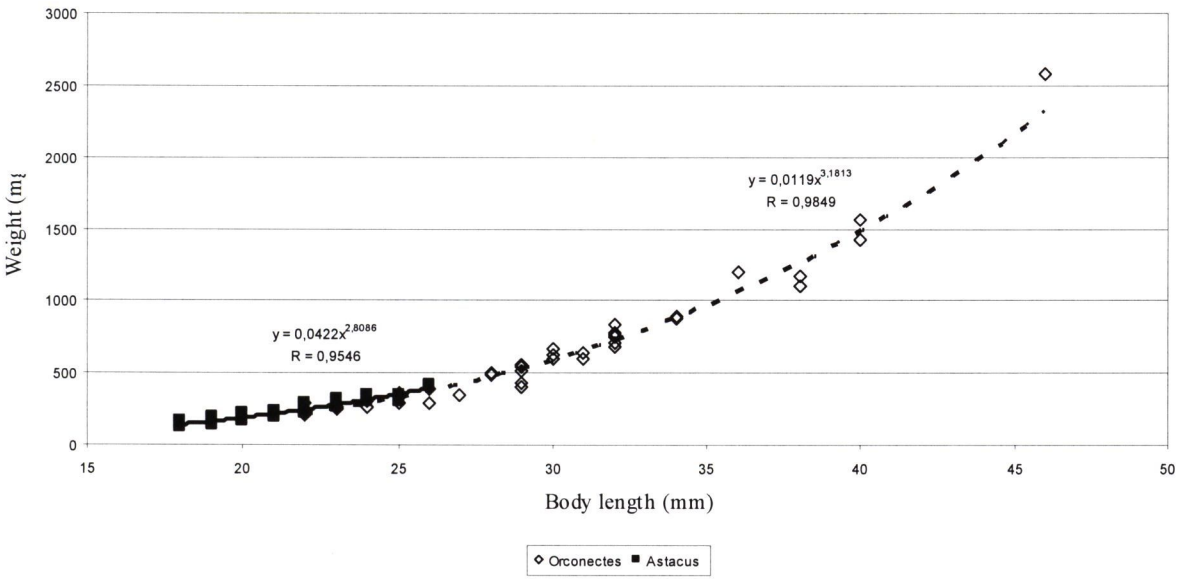


Fig. 6





THE FECUNDITY, TIME OF EGG DEVELOPMENT AND JUVENILE PRODUCTION IN SPINY-CHEEK CRAYFISH (*ORCONECTES LIMOSUS*) UNDER CONTROLLED CONDITIONS

P. KOZÁK (1), M. BUŘIČ (2), T. POLICAR (1)

(1) University of South Bohemia in České Budějovice, Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology, 389 25 Vodňany, Czech Republic.
E-mail: kozak@vurh.jcu.cz

(2) University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Agriculture, Czech Republic.

Reçu le 30 mai 2005

Received May 30, 2005

Accepté le 12 janvier 2006

Accepted January 12, 2006

ABSTRACT

We comprehensively describe the fecundity and time of embryonic development of the spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*). Linear relationships between female size and ovarian fecundity, pleopodal fecundity, and production of juveniles at the 3rd fecundity stage, were confirmed. The ovarian fecundity was evaluated for the smallest as well as largest females in the sampled population (43-93 mm of body length); the number of oocytes (eggs) ranged widely, between 46 and 505. No significant difference was found between the ovarian and pleopodal fecundity observed just after egg laying. The value of the female gonadosomatic index just before laying was $4.2 \pm 1.8\%$ (0.8-7.7%). The mean diameter of eggs on female pleopods was 1.8 ± 0.2 mm (1.45-2.15 mm). A statistically significant difference was found between the numbers of eggs carried on individual pairs of pleopods. Mean time from laying to hatching was 46 ± 3.8 days (37-56 days), i.e. 647 ± 39.9 CTU (Celsius Temperature Units = degrees Celsius \times days). Mean production of juveniles at the 3rd stage was found to be 135.7 ± 67.24 (15-243) juveniles. The early sexual maturation and also high number of juveniles at the 3rd stage per female gives this species a good predisposition for quick establishment in new localities.

Key-words: Crayfish, *Orconectes limosus*, lifecycle, Czech Republic, juveniles, egg development.

LA FÉCONDITÉ ET LA PRODUCTION DE JUVÉNILES CHEZ L'ÉCREVISSE AMÉRICAINNE (*ORCONECTES LIMOSUS*)

RÉSUMÉ

Cette étude décrit en détail la fécondité et la durée de développement embryonnaire de l'écrevisse américaine (*Orconectes limosus*) et confirme le rapport direct entre la taille de la femelle, la fécondité ovarienne, pléopodale et la production de juvéniles au stade 3. La fécondité ovarienne a été évaluée pour les femelles les plus petites aussi bien que pour les plus grandes femelles de la population échantillonnée (longueur corporelle de 43 à 93 mm). Le nombre d'oocytes varie fortement, entre 46 et 505. On n'a pas trouvé de différence significative entre la fécondité ovarienne et la fécondité pléopodale, observées juste après

la ponte. La valeur de l'indice gonadosomatique (I.G.S.) trouvée juste avant la ponte est de $4,2 \pm 1,8$ % (0,8-7,7 %) pour les femelles et de $0,3 \pm 0,05$ % (0,2-0,4 %) pour les mâles. Le diamètre moyen des œufs sur les pléopodes des femelles était de $1,8 \pm 0,2$ mm (1,45-2,15 mm). Le nombre d'œufs sur les paires individuelles de pléopodes était très variable (95 à 492). La durée moyenne entre la ponte et l'éclosion était de $46 \pm 3,8$ jours (37 à 56 jours), i.e. $647 \pm 39,9^\circ$ Celsius \times jour (543 à 730). La production moyenne de juvéniles au stade 3 fut de $135,7 \pm 67,24$ (15 à 243) juvéniles. La maturité sexuelle plus précoce et le grand nombre de juvéniles de stade 3 produits par femelles donnent à cette espèce une prédisposition à occuper plus rapidement de nouveaux sites.

Mots-clés : Écrevisse, *Orconectes limosus*, cycle biologique, République Tchèque, juvéniles, développement des œufs.

INTRODUCTION

The spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) (Rafinesque) is originally native to the east coast of the USA and Canada (HOBBS, 1974; HAMR, 2002). This species was imported to Europe in 1891. Nowadays, it is widely distributed throughout most Western- and Central European countries (HOLDICH *et al.*, 1999). It is one of five crayfish species that are currently present in open waters of the Czech Republic. The noble crayfish *Astacus astacus* (Linnaeus), stone crayfish *Austropotamobius torrentium* (Schrank), narrow-clawed crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz) and signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* (Dana) are also present.

Although the first report of the presence of the spiny-cheek crayfish on the Czech territory was published at the end of the 1980's, the species seems to have been present in the river Elbe already in the 1960's. By the end of 20th century, it had spread widely in the Elbe watershed, due to its natural dispersal potential as well as a result of anthropogenic translocations (KOZÁK *et al.*, 2004; PETRUSEK *et al.*, *in review*). This species is a major vector of the crayfish plague pathogen, *Aphanomyces astaci*, in Czech open waters (KOZUBÍKOVÁ *et al.*, *in review*).

The spiny-cheek crayfish shows several characteristics such as rapid maturation, short-lifespan, high fecundity and second mating period, which facilitate its fast population growth, dispersal and invasive capabilities. In Québec populations, mating takes place in September-October and again in March-April (HAMR, 2002). According to BRINK *et al.* (1988), the mating period for *O. limosus* occurs in autumn, just as it does for *A. astacus*, *A. leptodactylus* and *P. leniusculus*. HAMR (2002) states, however, that in American and European populations mating also takes place in spring, and eggs are carried from March to May. BRINK *et al.* (1988) captured ovigerous females of *O. limosus* from mid-March to May. A similar period for egg development has been presented by PIEPLOW (1938), SMITH (1981) and ORZECZOWSKI (1984). SMITH (1981) and BRINK *et al.* (1988) observed that larger and presumably older females of *O. limosus* extruded their eggs earlier in the season than smaller and younger ones. A temporal difference in the onset of the breeding period between younger and older females is probably a more common phenomenon in orconectid crayfish, as it is also known for *Orconectes immunis* (TACK, 1941).

The potential reproductive capacity of crayfish is usually measured by ovarian egg counts, and realised reproductive capacity by pleopod egg counts. Pleopod egg counts are typically more variable and lower in total numbers than ovarian counts because of incomplete egg extrusion at spawning, eggs that fail to be fertilised, eggs that fail to attach after extrusion or because of losses of attached eggs during the incubation period for various reasons (MASON, 1977; SAVOLAINEN *et al.*, 1996). Pleopod egg counts are more informative when determining recruitment to a population and are therefore more useful when management of a population is involved (LEWIS, 2002). In *Austropotamobius*

pallipes, the ovarian fecundity differs from pleopodal egg counts by 20-40% (REYNOLDS, 2002). In White Lake (Ireland), the observed shortfall in *Austropotamobius pallipes* pleopodal egg number relative to ovarian fecundity was about 30%, but females immediately after spawning had retained at most 2% of their eggs in ovaries or oviducts. This suggests that the discrepancy between the two measures of fecundity is chiefly due to poor egg attachment, rather than to factors such as egg resorption or incomplete fertilisation (SAVOLAINEN *et al.*, 1996; REYNOLDS, 2002). Both ovarian and pleopodal fecundity correlated with female size (STYPIŃSKA, 1973; SAVOLAINEN *et al.*, 1996; AUSTIN, 1998a; SCHULZ and ŠMIETANA, 2001; HARLIOĞLU *et al.*, 2004; MAZLUM and EVERSOLE, 2004; NAKATA and GOSHIMA, 2004; HUBER and SCHUBART, 2005; MAGUIRE *et al.*, 2005), but the relationship between the egg number and body size was strongly influenced by environmental conditions (REYNOLDS, 2002). Different authors evaluated the pleopodal fecundity just after ovulation (ABRAHAMSSON, 1971; AUSTIN, 1998a,b; LEONARD *et al.*, 2001; NAKATA and GOSHIMA, 2004; CELADA *et al.*, 2005a; SÁEZ-ROYUELA, 2005), during incubation (JONES, 1995; LEWIS and HORTON, 1997; MAZLUM and EVERSOLE, 2004; CELADA *et al.*, 2005a,b; SÁEZ-ROYUELA, 2005) or just before hatching (SÖDERBÄCK, 1995; SAVOLAINEN *et al.*, 1996; CELADA *et al.*, 2005b; SÁEZ-ROYUELA *et al.*, 2005).

STYPIŃSKA (1973) recorded an average ovarian fecundity of spiny-cheek crayfish from 315 to 440 eggs related to size group (body length of females ranged from 75 to 104 mm). KOZÁK and POLICAR (in press) found a mean ovarian fecundity (females from 52-82 mm of body length) of 140 eggs, with a minimum of 76 and maximum of 290 eggs.

PIELOW (1938) observed pleopodal fecundity of 241-394 eggs in the spiny-cheek crayfish females (body length ranging from 66 to 92 mm) just two days after laying. Three weeks after the laying, however, the average pleopodal fecundity values were lower – 130 eggs with a minimum and maximum of 2 and 316 eggs, respectively. HOLDICH and LOWERY (1988) presented a pleopodal fecundity of 400 eggs for a spiny-cheek crayfish female with a carapace length of 45 mm. MOMOT in HOLDICH and LOWERY (1988), however, presented a much lower value of mean pleopodal fecundity – 163 eggs. STUCKI (2002) found a mean average pleopodal fecundity of 139 eggs with minimum and maximum 31 and 555 eggs, respectively. HAMR (2002) collected data of several authors and presented pleopodal fecundity ranging between 57 and 440 eggs.

The aim of our study was to comprehensively describe the fecundity and the time of embryonic development of the spiny-cheek crayfish under Central European conditions.

MATERIAL AND METHODS

Crayfish used in the experiment were collected on April 18 and April 26, 2004 in the Kořensko reservoir (Vltava River, South Bohemia, Czech Republic). We measured the body length, carapace length and weight of all crayfish.

Ovarian and pleopodal fecundity

Ovarian fecundity of 20 females was evaluated on April 18, just after catching. We selected individuals that represented both the smallest and largest size fractions of mature females in the sample. Total whole body wet weight of each individual was determined to the nearest 0.1 g on an electronic balance. Each crayfish was then dissected and its gonad was removed. The gonad was weighed on an electronic balance to the nearest 0.0001 g. The gonadosomatic index (GSI; ratio of wet weight of ovary to the whole body wet weight $\times 100$) was calculated for each crayfish. The number of eggs in the ovaries was counted.

The laying of eggs took place at the end of April and beginning of May. Altogether, 16 females were kept in a special apparatus with shelters in a flow-through system throughout this period. Pleopodal fecundity was evaluated approximately 3 days after the laying. Eggs were removed and counted individually from each pleopod.

Number of juveniles at the 3rd stage

Altogether, 20 females without eggs were stocked individually on April 18 in the Rückel-Vacek hatching apparatus (originally used for hatching salmonid eggs) with a flow-through system. We observed the time of egg laying, hatching and the time of juvenile independence (3rd stage); observations were done only twice a week to minimize disturbance and manipulation. Just after reaching the 3rd stage, we counted the number of juveniles.

Time of embryonic development

Altogether, 80 females were kept in 4 special apparatuses (4 × 20 females) with shelters in a flow-through system. Females were individually marked with a gloss-paint pen by writing their individual number on the carapace (see SINT and FÜREDER, 2004). Females were checked daily to observe time of laying and subsequently time of juvenile hatching. This allowed us to record the specific time of laying and hatching, but unfortunately caused daily disturbance of females.

Water temperature and outside air temperature were measured automatically by temperature sensors RT-F52 (Qi Analytical Ltd. CZ) at one hour intervals during all experiments (Figure 1). The CTU (Celsius Temperature Units = degrees Celsius × days) was calculated.

Data analysis

Average values of the acquired parameters and SD were counted. Statistical significance was assessed using one-way analysis of variance (ANOVA, Statgraphics

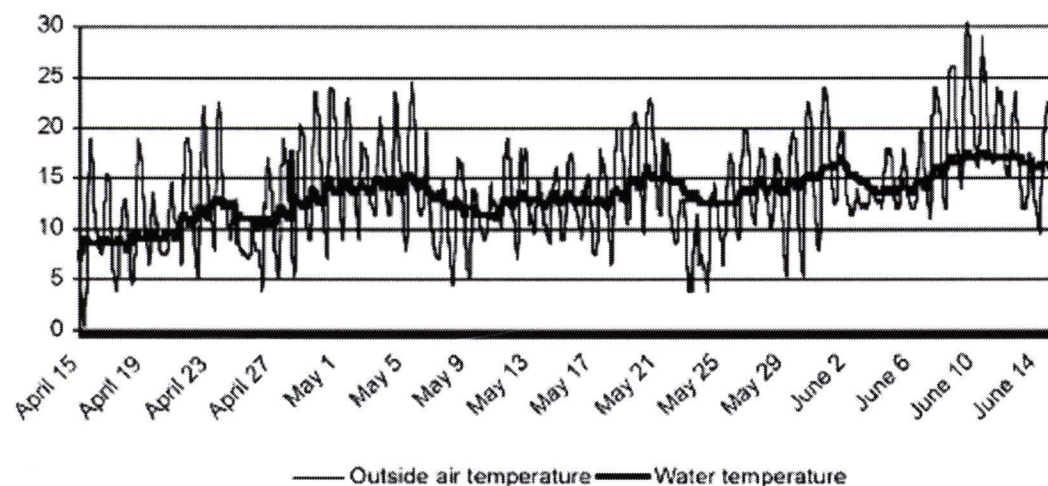


Figure 1

The course of water temperature and outside air temperature during experiments, measured every hour.

Figure 1

Température de l'eau et de l'air extérieur au cours des expériences, mesurées toutes les heures.

version 5), followed by Tukey HSD multiple range test comparisons. The difference between ovarian and pleopodal fecundity was tested by ANCOVA, using the female body length as a covariate. Linear regression was evaluated from the following parameters: ovarian and pleopodal fecundity, and number of juveniles at the 3rd stage, and assessed with Statgraphics version 5. Probability values < 0.01 were considered to be significant.

Results

Ovarian fecundity

The body length and weight of 20 mature females used in the experiment was 54.1 ± 12.64 mm (43-93 mm) and 5.08 ± 5.16 g (2.24-23.37 g), respectively.

The mean ovarian fecundity was found to be 130.8 ± 107.6 , ranging from 46 to 505 eggs. The ovarian fecundity showed a linear relationship ($r^2 = 0.9042$, $P < 0.0000$) to the body length (Figure 2). The average size of eggs was found to be 1.2 ± 0.2 mm (0.9-1.7 mm). We did not find any significant relationship between the size of eggs and their number. Respective to the size of females, however, the largest females had a higher number of the biggest eggs (1.6-1.7 mm), and had also the highest values of GSI (6.45-7.74%). The average gonadosomatic index of females was found to be $4.2 \pm 1.8\%$ (0.83-7.74%).

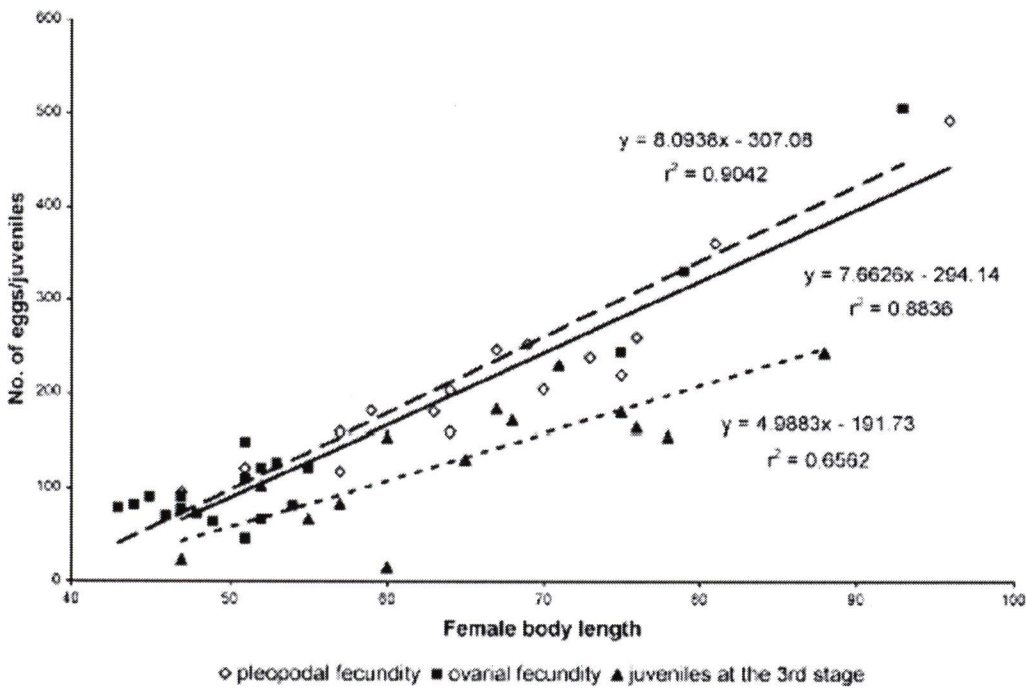


Figure 2

The relationship between the body length and ovarian fecundity, pleopodal fecundity, and production of juveniles at the 3rd stage in spiny-cheek crayfish females (*Orconectes limosus*).

Figure 2

Relation entre la fécondité ovarienne et pléopodale et la production de juvéniles au stade 3, chez l'écrevisse américaine (*Orconectes limosus*).

Pleopodal fecundity

The body length and weight of 16 females used in the experiment was 66.8 ± 11.68 mm (47-96 mm) and 10.86 ± 6.86 g (3.10-29.91 g), respectively. The mean pleopodal fecundity was found to be 217.8 ± 94.9 (95-492) eggs. The pleopodal fecundity again showed a linear relationship ($r^2 = 0.8836$, $P < 0.0000$) to the body length (Figure 2). The estimated pleopodal fecundity was 10% lower than the estimated ovarian fecundity calculated by the resulting linear equations. However, we did not find a significant difference between ovarian and pleopodal fecundity when tested by ANCOVA using size as a covariate.

The proportion of eggs placed on each pairs of pleopods and results of the pairwise comparison between different pairs are shown in the Table 1. We found a statistically significant difference ($P < 0.01$) between the egg numbers carried on individual pairs of pleopods. The highest numbers of eggs were placed on the 3rd and 4th pair of pleopods with 53.1 ± 23.1 (25-122) and 59.0 ± 24.1 (28-117) eggs, respectively. Practically no eggs were placed on the 1st pair of pleopods: 1.6 ± 1.5 (0-5) eggs. Altogether, 15.2 ± 7.8 (1-31) eggs were attached directly to the abdomen cuticle. The average size of eggs attached to the pleopods was 1.8 ± 0.21 mm (1.45-2.15 mm). We did not find any relationship between the size of a female and the size of eggs.

Table 1

Percentage of eggs carried on individual pairs of pleopods (different alphabetic superscripts show significant differences in pairwise comparison; $P < 0.01$).

Tableau 1

Pourcentage d'œufs incubés sous chaque paire de pléopodes

	1 st pair	2 nd pair	3 rd pair	4 th pair	5 th pair	Others	Total no. of eggs
Average \pm STD	$1 \pm 0,6^e$	$18 \pm 2,7^c$	$25 \pm 1,8^{ab}$	$27 \pm 2,4^a$	$22 \pm 3,2^b$	$7 \pm 2,7^d$	$217,8 \pm 94,93$
Min-Max	0-2	14-24	21-27	23-32	16-27	1-11	95-492

Table II

The size of females, fecundity and egg/juvenile size (average and range).

Tableau II

Longueur des femelles, fécondité et taille des œufs/juveniles (moyenne et amplitude).

	Females			No. of eggs/ juveniles		Egg/juvenile size	
	No.	body length (mm)	range (mm)	average	range	average (mm)	range (mm)
Ovarian fecundity	20	54.1	43-93	130.8	46-505	1.2	0.9-1.7
Pleopodal fecundity	16	66.8	47-96	217.8	95-492	1.8	1.4-2.1
Juveniles at the 3 rd stage	14	65.6	47-88	135.7	15-243	7.1	6-8

Juveniles at the 3rd stage

All 20 females laid eggs between April 22 and May 15. Six females lost eggs during the incubation. Juveniles hatched between June 11 and June 24, and moulted to the 3rd stage between June 22 and July 4. Total number of juveniles per female at the 3rd stage (calculated from the values of 14 females which had not lost eggs) was 135.7 ± 67.24 . The body length and weight of the 14 females was 65.6 ± 10.92 mm (47-88 mm) and 9.14 ± 4.73 g (2.50-18.68 g), respectively. The number of juveniles showed a positive correlation with the female body length ($r^2 = 0.6562$, $P < 0.0004$) (Figure 2).

Time of embryonic development

The body length and weight of 80 mature females used in the experiment was 56.8 ± 10.06 mm (41-82 mm) and 5.91 ± 5.60 g (2.10-17.91 g), respectively. The time of laying was not dependent on the size of the female. We did not confirm that larger females extruded their eggs earlier. The disturbance also caused considerable losses of eggs during the incubation, especially if female was disturbed directly during the laying process. Only 43 females out of 80 females laid their eggs, and 26 of them reached the 1st juvenile stage. The laying of females in this experiment took place between April 18 and May 16. Hatching of juveniles occurred between June 12 and June 27. The mean time from laying to hatching of juveniles at the 1st stage was 46 ± 3.8 days (37-56 days), i.e. 647 ± 39.9 CTU (543-730 CTU). The water temperature slowly increased during the experiment from 8 to 17°C. Females laying the eggs later had a lower requirement of CTU for embryonic development.

DISCUSSION

The higher fecundity of spiny-cheek crayfish in comparison with native European crayfish was confirmed. The ovarian fecundity of 130.8 ± 107.63 (46-505) oocytes per female is in agreement with our previous study (KOZÁK and POLICAR, in press). STYPIŇSKA (1973) presented an even higher average ovarian fecundity for the spiny-cheek crayfish, from 315 to 440 oocytes. Our results are comparable, however, if we take into account the size of females used in the experiments. The impact of spiny-cheek crayfish female size on fecundity has been confirmed by several studies, e.g. PIEPLOW (1938), STYPIŇSKA (1973), SCHULZ and ŠMIETANA (2001).

The literature data about average pleopodal fecundity of spiny-cheek crayfish are wide, ranging from 139 to 440 eggs per female, and there is always a large difference between minimum and maximum (altogether, the pleopodal fecundity ranges in the interval 35-555 eggs) (PIEPLOW, 1938; HOLDICH and LOWERY, 1988; STUCKI, 2002; HAMR, 2002). The pleopodal fecundity of 217.8 ± 94.93 (95-492) eggs recorded in our experiment is in agreement with the published data. We did not find a significant difference between ovarian fecundity and pleopodal fecundity observed just after laying when the results were corrected for female size. We can presume that the potential difference between ovarian fecundity and the number of pleopodal eggs at the end of embryonic development are caused mainly by losses of eggs during the incubation period. The magnitude of this difference may possibly reflect quality of environmental conditions. This phenomenon has already been observed in the spiny-cheek crayfish by PIEPLOW (1938), and by e.g. CELADA *et al.* (2005a,b) and SÁEZ-ROYUELA *et al.* (2005) in other crayfish species. We also recorded large variability in the fecundity of females of a comparable size, similarly to HARLIOĞLU *et al.* (2004).

The spiny-cheek crayfish has a higher average fecundity than native European crayfish, and comparable to non-native American species present in Europe. SAVOLAINEN

et al. (1996) presented an average ovarian fecundity for the noble crayfish and signal crayfish of 166-264 oocytes with a minimum of 73 and maximum of 436 oocytes, and 377-456 (73-952) oocytes, respectively. They presented pleopodal fecundity of only 50-60% (max. 250 eggs) and 30-60% (max. 466 eggs) of ovarian fecundity for the noble and the signal crayfish, respectively. These observations, however, were carried out in spring rather than close to the egg laying time. For the signal crayfish, CELADA *et al.* (2005a) presented an average pleopodal fecundity of up to 348 and 233 eggs at the beginning and at the end of embryonic development, respectively. STYPIŃSKA (1973) presented 130-325 and 210-345 oocytes for the noble crayfish and the narrow-clawed crayfish, respectively, dependent on the size of females. SCHULZ and ŠMIETANA (2001) presented that fully-matured female spiny-cheek crayfish had a considerably higher number of eggs than narrow-clawed crayfish of the same body length. This difference amounted to approx. 200 eggs for females of 9 cm length and 300 eggs for females of 11 cm length. LINDQVIST and LOUEKARI (1975) presented 248 oocytes for the noble crayfish. STUCKI (2002) presented the following average pleopodal fecundities per female: noble crayfish 150, stone crayfish 60, narrow-clawed crayfish 180 and signal crayfish 114 eggs per one female. MAGUIRE *et al.* (2005) founded a mean pleopodal fecundity of 62 eggs, ranging between 30 and 104 eggs, for the stone crayfish. The big eggs losses happen during the winter incubation among these crayfish species (CELADA *et al.*, 2005a,b), which is a significant advantage for the spiny-cheek crayfish, which carries eggs for one to two months only in spring (as described already by ANDREWS, 1907).

BRINK *et al.* (1988) recorded ovigerous females of the spiny-cheek crayfish in their studied catchments from March to May. In our experiment, females carried eggs in April and May, and the mean time from laying to hatching was 46 ± 3.8 days (37-56 days, i.e. 647 ± 39.9 CTU (543-730 CTU). This is much lower than for the noble crayfish, where the estimated requirement for hatching in nature is approximately 240 days (1,500 CTU), (ČUKERZIS, 1973; TAUGBØL and SKURDAL, 1990). MASSON (1977), HOFMANN (1980), WINNICKI *et al.* (2004), and CELADA *et al.* (2005a,b) stated that 906-1,380 CTU are needed for embryonic development in the signal crayfish, which is still higher than values recorded in our experiment for the spiny-cheek crayfish. The requirement of higher CTU for egg development in European crayfish in comparison with the spiny-cheek crayfish is evident even if we take into account the artificially shortened incubation times under laboratory conditions (HESSEN *et al.*, 1987; PÉREZ *et al.*, 1998; CARRAL *et al.*, 2004; POLICAR *et al.*, 2004).

The number of juveniles reaching the 3rd stage was also high (136 juveniles) in comparison with the noble crayfish and the signal crayfish at the 2nd stage (stage of independence). However, the number of juveniles in the 2nd or 3rd stage per female under laboratory conditions is mainly related to rearing conditions, so the differences of such values among various studies are difficult to interpret. In our previous study, under similar experimental conditions we obtained values of 47-97 and 133 juveniles at the 2nd stage for the noble crayfish (POLICAR and KOZÁK, 2002, POLICAR *et al.*, 2004) and the signal crayfish (POLICAR and KOZÁK, 2002), respectively.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Adam PETRUSEK and two anonymous reviewers for all the comments and suggestions that have helped improving the manuscript. This investigation was financially supported by the Czech Ministry of Education (project USB RIFCH No. MSM6007665809) and the Czech Science Foundation (projects 206/03/0532 and 206/03/D064).

REFERENCES

- ABRAHAMSSON S.A.A., 1971. Density, growth and reproduction in populations of *Astacus astacus* and *Pacifastacus leniusculus* in an isolated pond. *Oikos*, 22, 373-380.
- ANDREWS E.A., 1907. The young of the crayfishes *Astacus* and *Cambarus*. *Smithsonian Contribution to Knowledge*. Part of Volume XXXV, No. 1718. Smithsonian Institution. Washington. 79 p.
- AUSTIN C.M., 1998a. A comparison of clutch and brood size in the Red Claw, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) and the Yabby, *C. destructor* Clark (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture*, 167, 135-145.
- AUSTIN C.M., 1998b. Intraspecific variation in clutch and brood size and rate of development in the yabby, *Cherax destructor* (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture*, 167, 147-159.
- BRINK F.W.B., VELDE G., GEELEN J.F.M., 1988. Life history parameters and temperature-related activity of an American crayfish, *Orconectes limosus* (Rafineque, 1817) (Crustacea, Decapoda), in the area of the major rivers in The Netherlands. *Arch. Hydrobiol.*, 114, 2, 275-289.
- CARRAL J.M., PÉREZ J.R., CELADA J.D., SÁEZ-ROYUELA M., MELENDRE P.M., AGUILERA A., 2004. Effects of dead egg removal frequency on stage 2 juvenile production in artificial incubation of *Austropotamobius pallipes* Lereboullet. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 372-373, 425-430.
- CELADA J.D., ANTOLÍN J.I., CARRAL J.M., SÁEZ-ROYUELA M., RODRÍGUEZ R., 2005a. Successful sex ratio of 1M: 4F in the astacid crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana under captive breeding conditions. *Aquaculture*, 244, 89-95.
- CELADA J.D., ANTOLÍN J.I., CARRAL J.M., PÉREZ M., SÁEZ-ROYUELA M., 2005b. Reproductive efficiency of the signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana. Astacidae) at different densities under both culture and laboratory conditions. *Aquaculture*, in press.
- CUKERZIS J.M., 1973. Biologische Grundlagen der Methode der kunstlichen Aufzucht der Brut dese *Astacus astacus* L.. *Freshwater Crayfish*, 1, 187-202 (in German with English abstract).
- HAMR P., 2002. *Orconectes*. In: D.M. HOLDICH (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*. pp. 585-608. Blackwell Science Ltd., London.
- HARLIOĞLU M.M., BARIM Ö., TÜRKGÜLÜ I., HARLIOĞLU G.A., 2004. Potential fecundity of an introduced population, Keban Dam Lake, Elaziğ, Turkey, of freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus leptodactylus* (Esch., 1852). *Aquaculture*, 230, 189-195.
- HESSON D.O., TAUGBØL T., FJELD E., SKURDAL J., 1987. Egg development and lifecycle timing in the noble crayfish (*Astacus astacus*). *Aquaculture*, 64, 77-82.
- HOBBS H.H., 1974. Synopsis of the Families and Genera of Crayfishes (Crustacea: Decapoda). *Smithsonian Contributions to Zoology*, 164, 33 p.
- HOFMANN J., 1980. Die Flußkrebse/Freshwater Crayfish. 2. Auflage (von K.M. Stempel). Paul Parey, Hamburg, 110 p. (in German).
- HOLDICH D.M., ACKEFORS H., GHERARDI F., 1999. Native and alien crayfish in Europe: Some conclusions. In: F. GHERARDI, D.M. HOLDICH (eds), *Crayfish in Europe as alien species. How to make the best from a bad situation?* A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 281-292.

- HOLDICH D.M., LOWERY R.S., 1988. *Freshwater Crayfish Biology, Management and Exploitation*. Chapman & Hall, London & Sydney, Timber Press, Portland, Oregon, 498 p.
- HUBER M.G.J. and SCHUBART C.D., 2005. Distribution and reproductive biology of *Austropotamobius torrentium* in Bavaria and documentation of a contact zone with the alien crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 376-377, 759-776.
- JONES C.M., 1995. Production of juvenile redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda, Parastacidae) I. Development of hatchery and nursery procedures. *Aquaculture*, 138, 221-238.
- KOZÁK P., POLICAR T., Annual course of gonad development in *Orconectes limosus*. *Freshwater Crayfish*, 15, in press.
- KOZÁK P., POLICAR T., ĎURIŠ Z., 2004. Migration ability of *Orconectes limosus* through a fishpass and notes on its occurrence in the Czech Republic. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 372-373, 367-373.
- KOZUBÍKOVÁ E., PETRUSEK A., ĎURIŠ Z., KOZÁK P., GEIGER SH., HOFFMANN R., OIDTMANN B., 2006. The crayfish plague in the Czech Republic – Review of recent suspect cases and a pilot detection study. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 380-381, 000-000.
- LEONARD B.V., LENNARD W.A., KILDEA D.G., 2001. A method for testing the effectiveness of artificial incubation of eggs vs. maternal brooding in the freshwater crayfish *Cherax destructor* (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture*, 195, 299-309.
- LEWIS S.D., 2002. *Pacifastacus*. In: D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*, Blackwell Science Ltd., London, 511-540.
- LEWIS S.D., HORTON H.F., 1997. Life history and population dynamics of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in Lake Billy Chinook, Oregon. *Freshwater Crayfish*, 11, 34-53.
- LINDQVIST O.V., LOUEKARI K., 1975. Muscle and hepatopancreas weight in *Astacus astacus* L. (Crustacea, Astacidae) in the trapping season in Finland. *Ann. Zool. Fennici*, 12, 237-243.
- MAGUIRE I., KLOBUČAR G.I.V., ERBEN R., 2005. The relationship between female size and egg size in the freshwater crayfish *Austropotamobius torrentium*. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 376-377, 777-785.
- MASON J.C., 1977. Artificial incubation of crayfish eggs (*Pacifastacus leniusculus* Dana). *Freshwater Crayfish*, 3, 119-132.
- MAZLUM Y., EVERSOLE A.G., 2004. Observations on the life cycle of *Procambarus acutus* in South Carolina culture ponds. *Aquaculture*, 238, 249-261.
- NAKATA K., GOSHIMA S., 2004. Fecundity of the Japanese crayfish, *Cambaroides japonicus*: ovary formation, egg number and egg size. *Aquaculture*, 242, 335-343.
- ORZECZOWSKI B., 1984. Productivity of the freshwater crayfish *Orconectes limosus* Raf. (= *Cambarus affinis* Say) in Koronowo Basin. *Acta Univ. Nicolai Copernici Prace Limnol.* (in Polish), 14, 13-36.
- PÉREZ J.R., CARRAL J.M., CELADA J.D., SAEZ-ROYUELA M., ROMERO M.P., 1998. Effects of different thermal treatments during embryonic development on the artificial incubation efficiency of crayfish (*Austropotamobius pallipes* Lereboullet) eggs. Control of the embryogenetic duration and implications for commercial production. *Invertebrate Reproduction and Development*, 34, 253-258.

- PETRUSEK A., FILIPOVÁ L., ĎURIŠ Z., HORKÁ I., KOZÁK P., POLICAR T., ŠTAMBERGOVÁ M., 2006. distribution of the invasive spiny-cheek crayfish (*orconectes limosus*) in the czech republic – history and present. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 380-381, 000-000.
- PIEPLow U., 1938. Fischereiwissenschaftliche Monographie von *Cambarus affinis* Say. *Zeitschr. Fisherei*, 36, 349-440.
- POLICAR T., KOZÁK P., 2002. Metody líhnutí a odchovu raků. (Methods of crayfish hatching and rearing) In: B. VYKUSOVÁ (ed.): *Proc. conf. Produkce násadového materiálu ryb a raků (Hatchery production of fish and crayfish stocks)*, Vodňany, 63-71.
- POLICAR T., SIMON V., KOZÁK P., 2004. Egg incubation in the noble crafish (*Astacus astacus* L.): the effect of controlled laboratory and outdoor ambient condition on hatching success, growth and survival rate of juveniles. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 372-373, 411-423.
- REYNOLDS J.D., 2002. Growth and reproduction. In: D.M. HOLDICH (ed.), *Biology of Freshwater Crayfish*, Blackwell Science Ltd., London, 152-191.
- SÁEZ-ROYUELA M., CARRAL J.M., CELADA J.D., MELENDRE P.M., AGUILERA A., 2005. Comparison between individual and group mating of *Austropotamobius pallipes* under controlled conditions. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 376-377, 699-704.
- SAVOLAINEN R., WESTMAN K., PURSIANEN M., 1996. Fecundity of Finnish noble crayfish, *Astacus astacus* L., and signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in various natural habitats and in culture. *Freshwater Crayfish*, 11, 319-338.
- SCHULZ R., ŠMIETANA P., 2001. Occurrence of native and introduced crayfish in northeastern Gemany and northwestern Poland. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 361, 629-641.
- SINT D., FÜREDER L., 2004. Reintroduction of *Astacus astacus* L. in East Tyrol, Austria. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 372-373, 301-314.
- SMITH D.G., 1981. Life history parameters of the crayfish *Orconectes limosus* in Southern New-England USA. *Ohio J. Sci.*, 81, 169-172.
- SÖDERBÄCK B., 1995. Replacement of the native crayfish *Astacus astacus* by the introduced species *Pacifastacus leniusculus* in a Swedish lake: possible causes and mechanisms. *Freshwater Biology*, 33, 291-304.
- STUCKI T.P., 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater crayfish*, 13, 463-476.
- STYPIŃSKA M., 1973. The fecundity of three types of crayfish inhabiting Polish waters. *Rocz. Nauk Rol.*, 95 (1), 147-156 (in Polish).
- TACK P.I., 1941. The life history and ecology of the crayfish *Cambaris immunis* Hagen. *Amer. Midl. Nat.*, 25, 420-466.
- TAUGBØL T., SKURDAL J., 1990. Reproduction, moulting and mortality of female noble crayfish, *Astacus astacus* (L., 1858), from five Norwegian populations subjected to indoor culture conditions (Decapoda, Astacoidea). *Crustaceana*, 58, 113-123.
- WINNICKIA.PAWLOSD., FORMICKIK., ŠMIETANAP., 2004. On selected morphomechanical characteristics of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana) eggs during incubation. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 372-373, 431-438.
-

9.2. Publikace ve sbornících z domácích konferencí

Kozák, P., Buřič, M., Polícar, T., 2004. Studium plodnosti raka pruhovaného (*Orconectes limosus*). Ve: 55 let výuky rybářské specializace na MZLU v Brně, (ed Spurný, P.), sborník referátů z konference, Brno. 301 - 308.

Kozák, P., Buřič, M., Polícar, T., Hamáčková, J., Lepičová, A. Porovnání růstu a přežití juvenilního raka říčního *Astacus astacus* a raka pruhovaného *Orconectes limosus* v laboratorních podmínkách. Ichtyologická konference, Vodňany 2006. - *in press*.

STUDIUM PLODNOSTI RAKA PRUHOVANÉHO (*ORCONNECTES LIMOSUS*).

Study of spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) fecundity

P. KOZÁK, M. BUŘIČ, T. POLICAR

Summary: Ovarian and pleopodal fecundity and production of juveniles at the 2nd stage in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) were investigated in the present study. The results showed that there was a linear relationship between female size and fecundity. The mean value of ovarian and pleopodal fecundity and of juveniles at the 2nd stage were found 130,8±107,63 (46-505) oocytes, 217,8±94,93 (95-492) eggs and 135,7±67,24 (15-243) juveniles. We found statistically high difference between the egg numbers carried on individual pairs of pleopods.

Úvod

Domovinou raka pruhovaného *Orconectes limosus* Raf. je Severní Amerika (Hamr, 2002). Rak pruhovaný byl introdukován do Německa z Pensylvánie v roce 1890. Do dnešní doby byl zjištěn v 16 evropských zemích (Holdich a Lowery, 1988). V sousedním Polsku je dnes dominantním druhem (Ďuriš, 2000), který zcela vyhubil tamější původní druhy až na zbytkové enklávy. Ve vodách dnešní ČR byl poprvé formálně doložen Hajerem (1989) v r. 1988 v Labi u Ústí n. L. Počátkem 90. let byl pak zjištěn v Labi od Děčína až po Hradec Králové, dále pak ve Vltavě po České Budějovice, v Berounce u Plzně a přítocích zmíněných řek a na dalších lokalitách (Hajer, 1994; Matěna, 1995; Kozák *et al.*, 2004). Rak pruhovaný ohrožuje původní evropské druhy přímým vytlačováním z jejich stanovišť a hlavně přenosem račího moru, jež je způsobován plísní *Aphanomyces astaci* (Holdich a Lowery, 1988).

Rak pruhovaný je středně velký rak s nápadnými bočními trny na hlavohrudí. Barva těla je v základě hnědá s charakteristickými tmavě hnědými pruhy na zadečkových člancích (Hamr, 2002). Ačkoli je rak pruhovaný relativně malého věku, Holdich a Lowery (1988) uvádějí, že dospělý rak pruhovaný, tj. starší tři let, dosahuje velikosti okolo 50 mm délky hlavohrudí. Na rozdíl od našich druhů raků rostou rychleji a velice brzy pohlavně dospívají (Neveu, 1997).

Ke kopulaci dochází u raka pruhovaného, stejně jako u ostatních druhů na podzim (Brink *et al.*, 1988, Hager, 1996). U raka pruhovaného bylo však opakovaně pozorováno i druhé, jarní období kopulace (Ulikowski a Borkowska, 1999, Chybowski a Juchno, 2002). Hamr (2002) uvádí také u populace v Quebecu páření v září-říjnu a podruhé v březnu-dubnu. Stucki (2002) pozoroval páření od konce srpna až do začátku dubna.

Plodnost raků můžeme hodnotit několika ukazateli. Potenciální (*ovariální*) plodnost raků je dána počtem oocytů ve vaječnicích. *Pleopodální* plodnost raků je dána počtem oplodněných a upevněných vajíček na *pleopodách* samic. Pracovní plodnost je dána počtem ráčat většinou ve II. vývojovém stádiu. *Pleopodální* plodnost je hodnocena různým způsobem: těsně po kladení vajíček (Abrahamsson, 1971), v průběhu inkubace (Lewis & Horton, 1997) a také těsně před vlastním líhnutím ráčat (Söderbäck, 1995; Savolainen *et al.*, 1996). *Pleopodální* plodnost je obvykle více variabilní a nižší, než je *ovariální* plodnost. To je dáno neúplnou ovulací vajíček, neoplozenými vajíčky, špatně přichycenými vajíčky na pleopodách samic a ztrátou vajíček při inkubaci (Savolainen *et al.*, 1996). Ke ztrátě vajíček při inkubaci dochází z důvodu redukce, která nastává při zvětšování velikosti vajíček. Bylo však zjištěno, že větší samice dokáží vajíčka při inkubaci lépe ochránit před predátory (Taugbøl *et al.*, 1987).

Pleopodální plodnost samic představuje více informací o vývoji dané populace raků. Plodnost je nejvýznamnější ukazatel reprodukce a je využívána jako základní hodnota při výzkumu dané populace raků (Lewis, 2002).

Ovariální a *pleopodální* plodnost samic pozitivně koreluje s délkou těla samic (Stypińska, 1973, Savolainen *et al.*, 1996).

Existuje několik publikací zaměřených na plodnost raka pruhovaného. Kozák a Policar (in press) udávají potenciální plodnost raka pruhovaného 140 vajíček v rozmezí od 76 do 290 vajíček na jednu samici (délka těla 52-82 mm) a velikost oocytů v rozmezí 0,2 – 1,8 mm v závislosti na reprodukčním cyklu. Stypińska (1973) zjistila průměrnou potenciální plodnost od 315 do 440 vajíček v závislosti na velikostní skupině (délka těla 75-104 mm). Holdich a Lowery (1988) udávají pleopodální plodnost samic s délkou hlavohruď 45 mm cca 400 vajíček. Naproti tomu Momot in Holdich a Lowery (1988) uvádí průměrnou pleopodální plodnost 163 vajíček. Stucki (2002) stanovil průměrnou pleopodální plodnost 139 vajíček s minimálním počtem vajíček 31 a maximálním počtem 555 vajíček na jednu samici. Průměrnou velikost vajíčka udává 1,8 mm. Hamr (2002) shrnuje ve své práci údaje několika autorů a udává pleopodální plodnost mezi 57 a 440 vajíčky na samici, přičemž u populace v Quebecu stanovuje průměrnou plodnost na 309 vajíček na samici.

Vývojem gonád raka pruhovaného v průběhu roku se zabývaly Chybowski a Juchno (2002), Juchno a Chybowski (2003) a Kozák a Policar (in press). Cílem experimentu bylo stanovit potenciální, pleopodální a pracovní plodnost samic raka pruhovaného a jejich závislost na velikosti samic.

Materiál a metodika

Rak pruhovaný použitý v experimentu byl odloven dne 18.4. a 26.4.2004 v nádrži Kořensko (Vltavská kaskáda). Raci byli umístěni do speciálních aparátů s průtokem vody. Potenciální plodnost samic byla zjišťována dne 18.4.2004 od 20 ks samic po vypreparování gonád počtem vajíček ve vaječnicích v období před kladením (bezprostředně po odlovu). Ke kladení vajíček došlo na konci měsíce dubna až počátkem května. Pleopodální plodnost samic byla zjišťována odběrem vajíček z pleopod od 16 samic v rozmezí 1-5 dnů po nakladení. Vajíčka byla počítána individuálně z každé pleopody a poté vypočítáno procento vajíček na každém páru pleopod. Pracovní plodnost byla stanovena u 14 ks samic počtem ráčat ve II. vývojovém stádiu. Samice byly drženy

individuálně v Rückel-Vackových aparátech až do doby, kdy došlo k vylíhnutí ráčat, jejich svléknutí do II.vývojového stádia a osamostatnění se od samice. Dále byl u vzorku 20 ks samic a 11 ks samců zjištěn gonadosomatický index v měsíci dubnu, tedy bezprostředně před kladením vajíček. U všech dospělých raků byla provedena biometrika (celková délka, délka hlavohruďi, hmotnost). Statistické vyhodnocení rozdílů v plodnosti u různě velkých samic ($P < 0,05$) a podílu vajíček na jednotlivých pleopodách ($P < 0,01$) bylo provedeno jednofaktorovou analýzou (ANOVA, Statgrafics, Tukey test).

Výsledky

Nejmenší pohlavně zralá samice využitá v experimentu měla délku těla 43 mm, délku hlavohruďi 19 mm a hmotnost 2,24 g oproti největší pohlavně zralé samici, která měla délku těla 96 mm, délku hlavohruďi 44 mm a hmotnost 29,91 g.

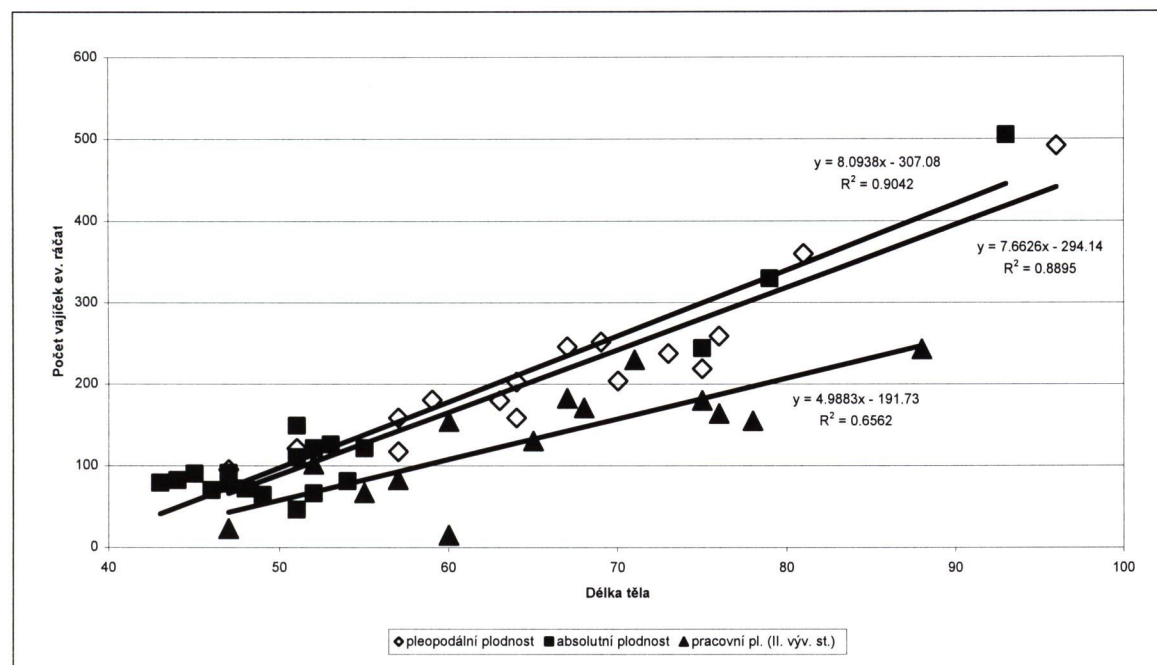
Potenciální plodnost od 20 samic o průměrné délce těla $54,1 \pm 12,64$ mm (43-93 mm) byla zjištěna v průměru $130,8 \pm 107,63$ (46-505) oocytů II.řádu. Velikost oocytů byla průměrně $1,2 \pm 0,24$ mm (0,9-1,7 mm). Gonadosomatický index byl u těchto samic zjištěn na úrovni $4,2 \pm 1,8\%$ (0,83-7,74%).

Pleopodální plodnost od 16 samic o průměrné délce těla $66,8 \pm 11,68$ mm (47-96 mm) byla zjištěna průměrně $217,8 \pm 94,93$ (95-492) vajíček. Velikost vajíček byla průměrně $1,8 \pm 0,21$ mm (1,45-2,15 mm). Potenciální a pleopodální plodnost prokazovala úzkou lineární závislost na délce těla samic (Obr. 1).

Pracovní plodnost zjištěná spočítáním ráčat ve II. vývojovém stádiu od 14 samic o průměrné délce těla $65,6 \pm 10,92$ mm (47-88 mm) byla průměrně $135,7 \pm 67,24$ (15-243) kusů ráčat. U pracovní plodnosti byla prokázána též pozitivní lineární korelace s délkou těla samic, nicméně se zde již projevil negativní vliv prostředí na snížení plodnosti.

Při statistickém porovnání plodností byla zjištěna statisticky nižší potenciální plodnost než plodnost pleopodální, ale nelišila se od plodnosti pracovní. Při statistickém hodnocení velikosti samic zařazených do jednotlivých skupin bylo zjištěno, že samice ve skupině pro vyhodnocení pleopodální plodnosti byly statisticky menší než samice v druhých skupinách, kde byla hodnocena potenciální a pracovní plodnost.

Obr. 1: Potenciální, pleopodální a pracovní plodnost samic raka pruhovaného.



Rozmístění vajíček na jednotlivých párech pleopodů se statisticky velmi významně lišilo. Na prvním páru pleopodů bylo zjištěno statisticky nejméně vajíček, v průměru pouze $1,6 \pm 1,50$ (0-5) vajíčka, tedy pouze necelé 1% z celkového počtu (Tab. 1). Na druhém páru bylo v průměru $40,7 \pm 21,69$ (14-110) vajíček. Nejvíce vajíček bylo přichyceno na 3., 4. a dále pak na 5. páru a to $53,1 \pm 23,08$ (25-122), $59,0 \pm 24,14$ (28-117), $48,3 \pm 22,83$ (25-115) vajíček. V průměru $15,2 \pm 7,76$ (1-31) bylo uchyceno mimo pleopody tj. přímo na abdomenu, což bylo více než na 1. páru pleopodů.

Tab. 1: Procentické zastoupení vajíček na jednotlivých pleopodách.

	1. pár	2. pár	3. pár	4. pár	5. pár	Mimo	Celkem (počet ks)
Průměr±STD	$1 \pm 0,6^e$	$18 \pm 2,7^c$	$25 \pm 1,8^{ab}$	$27 \pm 2,4^a$	$22 \pm 3,2^b$	$7 \pm 2,7^d$	217,8±94,93
Min-Max	0-2	14-24	21-27	23-32	16-27	1-11	95-492

Diskuze a závěr

Byla potvrzena vyšší potenciální, pleopodální a pracovní plodnost raka pruhovaného ve srovnání s údaji týkající se původních druhů. Námi stanovená průměrná potenciální plodnost $130,8 \pm 107,63$ (46-505) oocytů II. řádu na jednu samici zhruba odpovídá námi zjištěnému údaji v předchozí studii (Kozák a Polícar, in press). Ve srovnání se Stypiňskou (1973), která udává průměrnou potenciální plodnost od 315 do 440 oocytů jde o relativně nízký počet. Srovnáme-li ale velikost raků v jednotlivých studiích, můžeme považovat tyto hodnoty za odpovídající. To potvrzuje přímou závislost potenciální plodnosti na velikosti samic, jak udávají např. Stypiňská (1973) a Savolainen *et al.* (1996). Ačkoli vypočítané regresní křivky pro potenciální a pleopodální plodnost jsou téměř shodné, při statistickém porovnání plodnosti byla pleopodální plodnost vyšší než potenciální, což prakticky není možné. Důvodem bylo zařazení statisticky menších samic do skupiny pro hodnocení potenciální plodnosti.

Také údaje týkající se průměrné pleopodální plodnosti raka pruhovaného jsou značně rozkolísané a pohybují se od 139 do 440 vajíček na jednu samici, ovšem vždy s velkým rozpětím minima a maxima (31-555 vajíček) (Holdich a Lowery, 1988, Stucki, 2002, Hamr, 2002). Námi zjištěná pleopodální plodnost $217,8 \pm 94,93$ (95-492) vajíček dobře koreluje s těmito výsledky a ukazuje na velký vliv velikosti samic na plodnost. Naproti tomu jsme mohli pozorovat velké rozdíly v plodnosti v rámci jedné velikosti. Na tuto skutečnost upozorňuje ve své studii Harlioğlu *et al.* (2004).

Při porovnání plodnosti s ostatními druhy raků zjistíme, že rak pruhovaný má s ohledem na velikost těla vyšší průměrnou plodnost než původní druhy raků a srovnatelnou s ostatními nepůvodními druhy. Savolainen *et al.* (1996) uvádí průměrnou potenciální plodnost raka říčního (*Astacus astacus* L.) od 166 do 264 oocytů II. řádu s minimem 73 a maximem 436 oocytů a pro raka signálního (*Pacifastacus leniusculus* Dana) 377-456 (73-952) oocytů. Potenciální plodnost také korelovala s velikostí samic. Pleopodální plodnost byla hodnocena až v jarním období (tedy na rozdíl od našeho experimentu až v závěrečné fázi inkubace) a tvořila u raka říčního 50-60% (max. 250 vajíček) a u raka signálního pouze 30-60% (max. 466 vajíček) potenciální plodnosti. Stypiňská (1973) uvádí u raka říčního průměrnou potenciální plodnost od 130 do 325 a u raka bahenního (*Astacus leptodactylus* Esch.) od 210 do 345 oocytů v závislosti na velikosti. Linquist a Louekari (1975) uvádějí průměrnou potenciální plodnost raka říčního 248 oocytů. Stucki (2002) uvádí průměrnou pleopodální plodnost pro raka říčního 150,

raka kamenáče (*Austropotamobius torrentium* Schr.) cca 60, raka bahenního 180 a raka signálního 114 vajíček. Z těchto údajů lze také usuzovat na velké ztráty vajíček v průběhu inkubace, u druhů, které nosí vajíčka na pleopodách přes celé zimní období. To mluví ve prospěch raka pruhovaného, který klade vajíčka až na jaře a nosí je na pleopodách pouze 2 měsíce.

Poměrně vysoká je také zjištěná průměrná pracovní plodnost raka pruhovaného 136 ráčat v porovnání s naší zjištěnou pracovní plodností u raka říčního od 47 do 97 ráčat ve II. vývojovém stádiu (Policar a Kozák, 2002, Policar *et al.* 2003, Policar *et al.* – in press) u raka signálního 133 ráčat ve II. výv. stádiu (Policar a Kozák, 2002).

Poděkování

Práce byla provedena za podpory GAČR projektu č. 206/03/0532 a projektu č. 206/03/D064 a dále výzkumného záměru MSM 126100001.

Literatura

- Abrahamsson, S.A.A., 1971. Density, growth and reproduction in populations of *Astacus astacus* and *Pacifastacus leniusculus* in an isolated pond. *Oikos*, 22: 373 – 380.
- Brink, F. W. B., Velde, G., Geelen, J. F. M., 1988. Life history parameters and temperature-related activity of an American crayfish, *Orconectes limosus* (Rafineque, 1817) (Crustacea, Decapoda), in the area of the major rivers in The Netherlands. *Arch. Hydrobiol.*, 114, 2: 275 – 289.
- Đuriš, Z., 2000. Porównanie ogólnej sytuacji raków w Czechach i w Polsce, możliwości współpracy astakologów obu krajów. In: J.Mastyński, W.Andrzejewski (red.), Aktualny stan raków w Polsce. I.Sympozjum astakologów, Poznań, 06.10.2000: 29-30 (abstr.).
- Hager, J., 1996. Edelkrebse. Graz: 128 s.
- Hajer J., 1989. Americký druh raka v Labi. *Živa*, 37/75(3): 125.
- Hajer J., 1994. Expanze raků druhu *Cambarus affinis* Say ve vodách České republiky. *Fauna Bohemiae septentrionalis*, 19: 123-128.
- Hamr, P. 2002. *Orconectes*. In: *Biology of Freshwater Crayfish*. (D.M. Holdich ed), pp. 585-608. Blackwell Science Ltd., London.
- Harlioğlu, M.M., Barim, Ö., Türkgülü, I., Harlioğlu, G.A., 2004. Potential fecundity of an introduced population, Keban Dam Lake, Elazığ, Turkey, of freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus leptodactylus* (Esch., 1852). *Aquaculture*, 230: 189-195.
- Holdich, D. M., Lowery, R. S., 1988. *Freshwater Crayfish Biology, Management and Exploitation*. Chapman & Hall, London & Sydney, Timber Press, Portland, Oregon, 498 s.
- Chybowski, Ł., Juchno, D. 2002. Histological analyses of the annual cycle of gonad development in the male spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus* Raf. *Arch. Pol. Fish.*, 10(2): 241-253.
- Juchno, D., Chybowski, Ł. 2003. Histological analyses of gonad development in female spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus* Raf. *Arch. Pol. Fish.*, 11(1): 69-78.
- Kozák, P., Policar, T., Annual course of gonad development in *Orconectes limosus*. *Freshwater Crayfish* 15. in press.
- Kozák, P., Policar, T., Đuriš, Z., 2004. Migration ability of *Orconectes limosus* through a fishpass and notes on its occurrence in the Czech Republic. *Bull. Fr. de la Peche et de la Pisciculture*. – in press

- Lewis, S.D., 2002. *Pacifastacus*. In: Biology of Freshwater Crayfish. (ed Holdich, D.M.), Blackwell Science Ltd., London: 511-540.
- Lewis, S.D., Horton, H.F., 1997. Life history and population dynamics of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in Lake Billy Chinook, Oregon. *Freshwater Crayfish* 11: 34-53.
- Lindqvist, O.V., Louekari, K., 1975. Muscle and hepatopancreas weight in *Astacus astacus* L. (*Crustacea, Astacidae*) in the trapping season in Finland. *Ann. Zool. Fennici* 12: 237-243.
- Matěna J., 1995. Raci v České Republice. *Rybářství*, (3): 72.
- Neveu, A., 1997. Growth comparison of the different crayfish species in Brittany (France). French national programme on crayfish culture: synthesis of experimental studies. *L'Astaciculteur de France*, 51: 71 – 80.
- Polícar, T., Kozák, P., 2002: Metody líhnutí a odchovu raků. Ve: Vykusová, B. (red.): Sb. referátů z konference Produkce násadového materiálu ryb a raků , Vodňany: 63 – 71
- Polícar, T., Simon, V., Kozák, P. The effect of controlled- and natural egg incubation in the noble crayfish (*Astacus astacus* L.) on fecundity of females, growth and survival rate of juveniles. *Bull. Fr. de la Peche et de la Pisciculture*. – in press
- Polícar, T., Simon, V., Kozák, P., 2003. Incubation of eggs of the noble crayfish (*Astacus astacus* L.) under controlled conditions. Growth comparison of advanced – and normally hatched crayfish juveniles. In. European native crayfish with a special focus on *Astacus astacus*: linking socioeconomics and conservation. Craynet meeting, September 2003, Halden, Norway, s.11.
- Savolainen, R., Westman, K., Pursiainen, M., 1996. Fecundity of Finnish noble crayfish, *Astacus astacus* L., and signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in various natural habitats and in culture. *Freshwater Crayfish* 11: 319 – 338.
- Söderbäck, B., 1995. Replacement of the native crayfish *Astacus astacus* by the introduced species *Pacifastacus leniusculus* in a Swedish lake: possible causes and mechanisms. *Freshwater Biology*, 33: 291-304.
- Stucki, T.P., 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater crayfish* 13:463-476.
- Stypińska, M., 1973. The fecundity of three types of crayfish inhabiting Polish waters. *Rocz. Nauk Rol.*95 (1): 147-156 (in Polish).
- Taugbøl, T., Wærvågen, S.B., Linløkken, A.N., Skurdal, J., 1987. Post-molt exoskeleton mineralisation in adult noble crayfish, *Astacus astacus*, in three lakes with different calcium levels. *Freshwater Crayfish* 11: 219-226.
- Ulikowski, D., Borkowska, I. 1999. Mating of spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus* Raf.) – spring or autumn? *Komun. Ryb.* 3: 4-6 (in Polish).

Adresa autorů

Ing. Pavel Kozák, Ph.D., Ing. Tomáš Polícar, Ph.D., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, Česká republika, E-mail: kozak@vurh.jcu.cz

Miloš Buřič, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, katedra rybářství, Studentská 13, 370 05 České Budějovice

POROVNÁNÍ RŮSTU A PŘEŽITÍ JUVENILNÍHO RAKA ŘÍČNÍHO *ASTACUS ASTACUS* A RAKA PRUHOVANÉHO *ORCONECTES LIMOSUS* V LABORATORNÍCH PODMÍNKÁCH.

THE GROWTH AND SURVIVAL OF *ASTACUS ASTACUS* AND *ORCONECTES LIMOSUS* JUVENILES UNDER LABORATORY CONDITIONS.

Kozák P, Buřič M, Polícar T, Hamáčková J, Lepičová A

Klíčová slova:

Orconectes limosus, *Astacus astacus*, interakce, klepeta, společná obsádka

ABSTRACT

Juvenile noble crayfish, *Astacus astacus* and spiny-cheek crayfish, *Orconectes limosus* were reared since the 2nd developmental stage and the 3rd developmental stage (i.e. since the stage of independence), respectively, till the end of a growing season. Both species were reared separately, as well as in a communal stock in 1:1 ratio. The body size and weight of *A. astacus* at the second developmental stage were 11.1 ± 0.60 mm (10-12 mm) and 44.37 ± 3.201 mg (37.1-51.5 mg), respectively in comparison to the body size and weight of 7.1 ± 0.73 mm (7-8 mm) and 8.83 ± 1.816 mg (5.8-11.8 mg), respectively for the *O. limosus* at the third developmental stage. There was statistical difference between sizes (and weights) of both species. The first period revealed very low survival rate of *O. limosus* in both (the communal and separately reared) stocks. In general, both the significant effect of bigger size of *A. astacus* than that of *O. limosus* and higher intra-specific cannibalism of *O. limosus* were reflected during the first phase of rearing. At the end of the growing season *O. limosus* gained higher mean size and weight but more variable in the group (29.3 ± 5.17 mm and 616.4 ± 412.53 mg) than *A. astacus* (21.2 ± 1.82 mm and 229.9 ± 59.45 mg). The maximum size and weight of *O. limosus* and *A. astacus* gained 46 mm a 2578 mg and 26 mm a 425 mg, respectively.

ÚVOD

Rak pruhovaný *O. limosus* je nejrozšířenějším nepůvodním druhem raka v České Republice (Kozák *et al.*, 2004; Petrusek *et al.*, in review). Tento druh byl poprvé introdukovan do Evropy v roce 1890, (Kossakowski 1966; Hamr 2002) a od té doby se buď přirozenou cestou nebo za pomoci člověka rozšířil do více než 15 evropských zemí včetně České republiky (Henttonen a Huner, 1999; Holdich, 2003). Rak pruhovaný se vyskytuje v Labi, Vltavě, některých dalších přítocích a na dalších lokalitách, převážně zatopených lomech. Většina českých populací je stále významným přenašečem plisně *Aphanomyces astaci*, která u původních evropských druhů raků způsobuje onemocnění račí mor (Kozubíková *et al.*, in review). Prozatím neexistuje informace o dlouhodobém soužití raka pruhovaného a původního raka říčního *Astacus astacus* v tekoucích vodách. Zaznamenali jsme pouze výskyt několika jedinců původních druhů raků na několika lokalitách stojatých vod, převážně zatopených lomů se stabilizovanou početnou populací raka pruhovaného. S největší pravděpodobností se zde jedná o důsledek vysazení sportovními potápěči, rybáři apod. (Petrusek *et al.*, in review).

Kromě přenosu račího moru jsou důležitými faktory ve vzájemné konkurenci u raků agresivita a potravní konkurence (Söderback, 1991). Rak pruhovaný ukazuje na rozdíl od raka říčního několik charakteristik tzv. r-stratéga jako je rychlejší pohlavní dospívání, kratší délka života, větší plodnost a druhé období páření. (Brink *et al.*, 1988; Holdich a Lowery, 1988; Hamr 2002; Stucki 2002; Kozák & Polícar, in press; Kozák *et al.*, in review).

Prostorové uspořádání a chování raků všech druhů je ovlivněno různou velikostí raků v dané populaci vyskytující se na určité lokalitě. V případě společného obsazení lokality s omezeným zdrojem potravy, úkrytů a prostoru obvykle u raků vítězí větší jedinci nad menšími (Momot, 1984). Velikost těla je základním parametrem určujícím dominanci u raků (Butler a Stein, 1985). Rychleji rostoucí jedinci jsou schopni vytlačit menší jedince ať již stejného nebo jiného druhu raků (Momot 1984; Mather a Stein, 1993). Rozdíl ve velikosti může být tedy jedním ze základních znaků určujícím mezidruhovou interakci.

Cílem experimentu bylo porovnat růst a přežití raka říčního a raka pruhovaného v první vegetační sezóně a to jak v samostatné, tak ve smíšené obsádce v laboratorních podmínkách.

MATERIÁL A METODIKA

Ráčata byla získána od samic raka říčního a raka pruhovaného odlovených v jarním období na přírodních lokalitách. Líhnutí ráčat raka říčního proběhlo v období od 20. května do 19. června a raka pruhovaného mezi 11. a 16. červnem. První vývojové stádium je u obou druhů nesamostatné, pevně spojené se samicí, využívající k výživě pouze žloutkový váček. Ráčata raka říčního se osamostatňují a začínají přijímat potravu ve druhém vývojovém stádiu, na rozdíl od raka pruhovaného, kde k tomu dochází až ve 3. vývojovém stádiu (Reynolds, 2002; Muck *et al.*, 2002; Andrews, 1907). Do experimentu byla použita ráčata, u kterých došlo ke svlékání do prvního stádia nezávislosti (druhé u raka říčního a třetí u raka pruhovaného) dne 28. června. Vlastní experiment započal dne 9. července, tedy 11 dní po svlékání, kdy ráčata přešla do druhého respektive třetího vývojového stádia. Ráčata raka říčního byla při nasazení statisticky prokazatelně větší ($11,1 \pm 0,60$ mm a $44,37 \pm 3,201$ mg) než ráčata raka pruhovaného ($7,1 \pm 0,73$ mm a $8,83 \pm 1,816$ mg).

Ráčata byla vysazena celkem do 9 patnáctilitrových akvárií s úkryty ve formě cihel (2 cihly $28,5 \times 13,5 \times 6,5$ cm v každém akváriu, každá se 40 otvory 1×3 cm). Počáteční hustota ráčat byla 40 raků na akvárium (333 ráčat. m^{-2}). Raci byli nasazeni do 3 experimentálních skupin, každá 3x opakovaná. První tvořila samostatná obsádka raka říčního, druhá samostatná obsádka raka pruhovaného a třetí smíšená obsádka obou druhů v poměru 1:1. Odchov byl rozdělen na dvě osmítýdenní fáze během nichž byli raci ve dvoutýdenních intervalech (období) pravidelně přepočítáváni, měřeni a váženi. První fáze odchovu trvala do dosažení stejné průměrné velikosti obou druhů (celkem 4 dvoutýdenní období – 8 týdnů odchovu). Po každém přelovení byli raci doplňováni na původní obsádku 40 raků na akvárium z důvodu velmi nízkého přežití raka pruhovaného. Druhá fáze odchovu trvala opět 8 týdnů (4 dvoutýdenní období), hustota raků byla snížena na polovinu (20 raků na akvárium) z důvodu větší velikosti raků a raci již nebyli po přelovení doplňováni na původní hustotu, z důvodu zjištění vlivu mezidruhové konkurence na kumulativní přežití a růstu raků. Experiment byl ukončen na konci měsíce října.

Raci byli krmeni mraženým zooplanktonem dvakrát denně v dávce 30% počáteční hmotnosti obsádky při každém přelovení. Teplota vody během experimentu byla $20,6 \pm 1,2$ °C. Obsah rozpuštěného kyslíku neklesl během experimentu pod $7,5$ mg. l^{-1} . Světelný režim byl 12h světlo : 12h tma.

Rozdíly v přežití a růstu byly porovnány pomocí testu Anova, Tukeyho HSD a Kruskal-Wallisova testu programu Statistica software (verze 6.1.), StatSoft, Inc.

VÝSLEDKY

První fáze odchovu

1. období

Nejvyššího přežití bylo dosaženo u raků říčních odchovávaných společně s rakem pruhovaným a to v průměru $90 \pm 7,1$ %, které se však statisticky nelišilo od přežití raků říčních odchovávaných samostatně ($86 \pm 3,1$ %). Oproti tomu přežití raků pruhovaných odchovávaných samostatně bylo statisticky významně nižší $49 \pm 9,2$ % než u raka říčního. Statisticky nejnižší přežití ($7 \pm 6,2$ %) bylo u raka pruhovaného, který byl odchovávan společně s rakem říčním (Obr. 1). Rozdíl ve velikosti a hmotnosti raků byl stále statisticky významný. Raci říční odchovávaní společně s raky pruhovanými dosáhli vyšší hmotnosti než raci říční odchovávaní samostatně. Tyto dosažené výsledky ukázaly, že větší velikost raka říčního žijícího společně s rakem pruhovaným významně negativně ovlivňuje přežití raka pruhovaného. U oddělených odchovů obou druhů raků byl prokázán vyšší vnitrodruhový kanibalismus u raka pruhovaného oproti raku říčnímu.

2. období

U raků pruhovaných odchovávaných samostatně bylo dosaženo signifikantně nejnižšího přežití, a to $41 \pm 4,7$ %. Při společném odchovu obou druhů bylo statisticky nižší přežití u raka pruhovaného ($72 \pm 10,2$ %) než u raka říčního ($93 \pm 6,2$ %). Při samostatném odchovu raka říčního bylo přežití $93 \pm 3,5$ %. Tyto výsledky opět potvrdily vysoký vnitrodruhový kanibalismus u raka pruhovaného. Na konci tohoto období byl stále rozdíl ve velikosti a hmotnosti raka říčního a pruhovaného. Největší velikosti a hmotnosti dosáhli raci říční při společném odchovu a dále raci říční odchovávaní samostatně. Mezi velikostí a hmotností těchto dvou skupin raků nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Oproti prvnímu období nejmenší velikosti dosáhli raci pruhovaní odchovávaní samostatně, ale bez statisticky zjištěného rozdílu s raky pruhovanými ve společném odchovu. V tomto období byla zaznamenána změna v chování u raka pruhovaného. Někteří jedinci přestali vyhledávat úkryt a zdržovali se během dne mimo úkryt.

3. období

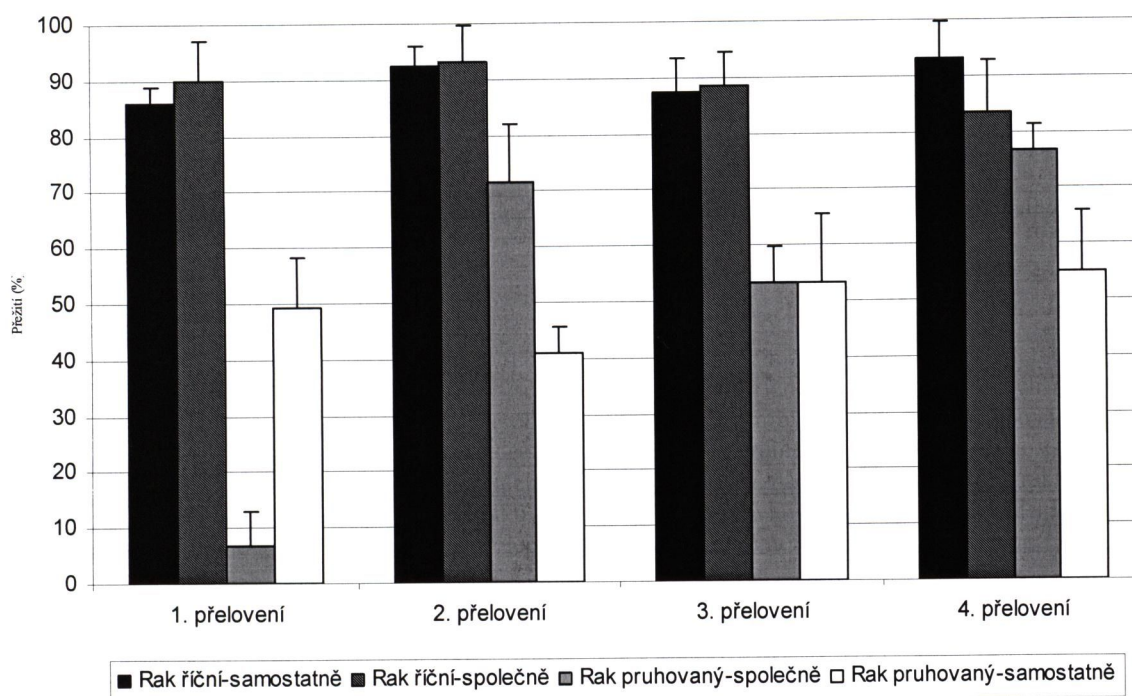
Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi přežitím raka říčního ($87 \pm 6,12$ % a $88 \pm 6,2$ %) a raka pruhovaného ($53 \pm 6,2$ % a $53 \pm 12,0$ %). Rozdíl v přežití při samostatném a společném odchovu v rámci druhu nebyl zjištěn. Průměrná velikost raků ve všech skupinách byla vyrovnaná a hmotnost téměř také. Rak pruhovaný

ve společném odchovu dosáhl statisticky nižší hmotnosti než rak říční. Zajímavá je ale skladba velikostí raků uvnitř skupin. Obecně lze říci, že velikost raka říčního byla velmi vyrovnaná a pohybovala se na konci třetího období od 11 do 20 mm, přičemž více jak 75 % raků bylo mezi 17-19 mm. Oproti tomu populace raka pruhovaného byla značně rozrostlá a velikost se pohybovala od 11 do 29 mm a 80% raků bylo v rozmezí 14-20 mm.

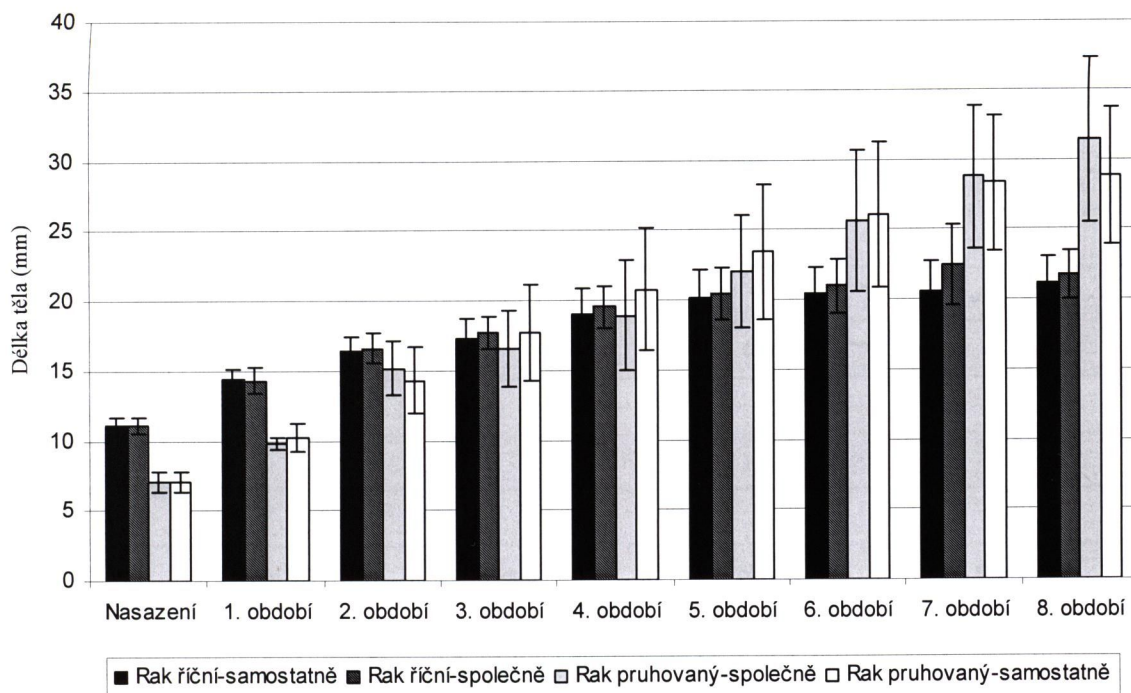
4. období

V závěrečném období první fáze odchovu bylo dosaženo opět nejnižšího přežití v samostatném odchovu raka pruhovaného ($55 \pm 10,8\%$) ve srovnání s vysokým přežitím raka říčního v obou variantách ($93 \pm 6,2\%$ a $83 \pm 9,4\%$). Přežití raka pruhovaného ve společné obsádce s rakem říčním bylo $77 \pm 4,7\%$. Pokračoval stále trend velkého rozrůstání raků pruhovaných uvnitř každé skupiny. Ačkoli se průměrná velikost i hmotnost obou druhů na konci období statisticky nelišila, variabilita těchto ukazatelů byla různá (Obr. 2). Velikost raka říčního se pohybovala v rozmezí od 15 do 23 mm oproti raku pruhovanému, kde byla velikost v rozmezí od 12 do 36 mm. Jedinci raka pruhovaného s oběma klepety ve společné obsádce byli větší než jedinci bez klepet.

Obr. 1: Přežití raka říčního a raka pruhovaného v samostatné a společné obsádce během první fáze odchovu.



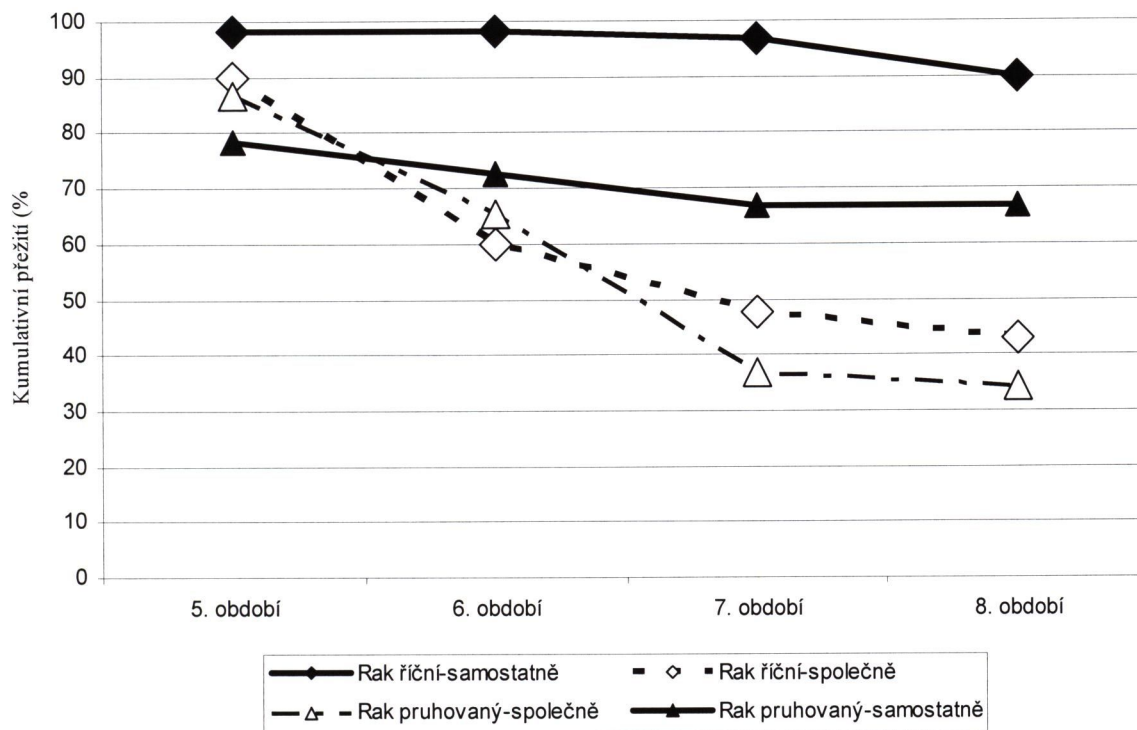
Obr. 2: Průměrná délka raka říčního a raka pruhovaného v samostatné a společné obsádce při jednotlivých přeloveních.



Druhá fáze odchovu

V průběhu druhé fáze odchovu nebyl nalezen rozdíl v přežití obou druhů raků chovaných společně i odděleně v jednom období, s výjimkou sedmého období. Zde bylo zaznamenáno vyšší přežití v samostatných obsádkách u obou druhů (rak říční $98 \pm 2,5\%$ a rak pruhovaný $92 \pm 6,0\%$) oproti společné obsádce (rak říční $65 \pm 2,1\%$ a rak pruhovaný $56 \pm 6,2\%$). Od konce 5. období byla průměrná velikost a hmotnost raka pruhovaného vyšší než raka říčního. Na konci vegetační sezóny ve věku 19 týdnů (od vylíhnutí) dosáhl rak pruhovaný vyšší velikosti a hmotnosti ($29,3 \pm 5,17$ mm a $616,4 \pm 412,53$ mg) než rak říční ($21,2 \pm 1,82$ mm a $229,9 \pm 59,45$ mg). U raka říčního byla dosažena maximální velikost a hmotnost pouze 26 mm a 425 mg oproti 46 mm a 2578 mg dosažených u raka pruhovaného. Velikost a hmotnost obou druhů raků v samostatné a společné obsádce se statisticky nelišily. Nejvyššího kumulativního přežití bylo dosaženo u samostatné obsádky raka říčního (90 %) a nejnižší u obou druhů ve společné obsádce (méně než 50 %) (Obr. 3). Největší jedinci raka pruhovaného v každém akváriu byly vždy samice.

Obr. 3: Kumulativní přežití raka říčního a raka pruhovaného v druhé fázi odchovu.



DISKUZE

Vysoké procento mortality na počátku odchovu bylo dáno zřejmě nedostatečnou výší krmné dávky, jež tvořila 30% z hmotnosti obsádky. Tato krmná dávka nebyla *add libitum* a projevila se v této první fázi odchovu jako nedostatečná pro juvenilní jedince obou druhů. Gydemo a Westin (1993) uvádějí průměrnou mortalitu způsobenou kanibalismem u raků říčních na úrovni 37 %, přičemž může vrstít až na 94 % v případě hladovění. Velmi nízké přežití raka pruhovaného ve společné obsádce bylo velmi pravděpodobně způsobeno predací větším rakem říčním. Velikost raků je jedním ze základních faktorů určující dominanci u raků (Butler a Stein, 1985), větší raci většinou zvítězí nad menšími jedinci (Momot 1984). Mazlum a Eversole (2005) uvádějí, že juvenilové raka *Procambarus acutus acutus* (Girard), vysazení společně s menšími juvenilny *P. clarkii* dosáhly prokazatelně vyššího přežití a rychlejšího růstu. Stejně tak se projevila větší velikost raka říčního na jeho vyšším přežití až do poloviny našeho experimentu, kdy došlo k vyrovnání velikosti obou druhů. Rak říční ve společné obsádce dosáhl v počáteční fázi experimentu větší hmotnosti, což může dokládat jeho predaci na menším raku pruhovaném, stejně jako dokládá Ahvenharju *et al.* (2005). Nízké přežití raka pruhovaného v druhém období v při samostatném odchovu mohlo být způsobené změnou jeho chování. V tomto období přestala některá ráčata raka pruhovaného vyhledávat úkryty a začala se zdržovat mimo úkryt i přes den. Toto chování je pro tento druh typické ve srovnání s převládající noční aktivitou raka říčního. Vzhledem k tomuto chování mohlo docházet k větší konkurenci při obstarávání potravy mezi oběma druhy.

Po 9 týdnech od vylíhnutí ráčat (8 týdnů odchovu) došlo k vyrovnání průměrné velikosti a hmotnosti obou druhů, u raka pruhovaného byl však zaznamenán velký rozdíl mezi jednotlivými jedinci, který se ještě prohloubil na konci experimentu. Dosažená velikost raka říčního byla srovnatelná s ráčaty tohoto druhu odchovávanými v kontrolovaných podmínkách prostředí (Ackefors *et al.*, 1995; Policar *et al.*, 2004). V našem experimentu jsme nezaznamenávali počet ani dobu svlékání ráčat. Jedna z mála informací týkající se růstu raka pruhovaného v prvním roce života pochází od Andrewse (1907). Ten zjistil na konci vegetační sezóny velké rozdíly ve velikosti juvenilů (23-63 mm), což odpovídá námi zjištěným výsledkům. Muck *et al.* (2002) zjistil, že 63% samců a 55% samic raka *Orconectes ozarkae* (Williams) je pohlavně dospělá již během prvního roku života.

Ackefors *et al.* (1995) nezjistili rozdíly v růstu mezi juvenilními samci a samicemi raka říčního, kteří byli odchovávaní individuálně. Gydemo a Westin (1989) uvádí tendenci rychlejšího růstu samců oproti samicím po 6 a 9 měsících odchovu. To může indikovat vyšší aktivitu a větší agresivitu samců raka říčního oproti samicím. Vzhledem k tomuto je zajímavé zjištění u raka pruhovaného, že v našem experimentu byli největší jedinci v akváriu vždy samice. Oproti tomu Muck *et al.* (2002) uvádí stejný růst samců a samic raka *O. ozarkae* v prvním roce života.

Velmi důležitým faktorem, určujícím vnitro- a mezidruhovou interakci u raků je velikost klepet. Druhy raků s většími klepety jsou většinou úspěšnější v konkurenci se srovnatelně velkými druhy s menšími klepety (Gherardi, 2002). Rutherford *et al.* (1995) uvádí délku klepete jako důležitý indikátor dominance u raků. Zjistil, že u samců raka *Orconectes rusticus* (Girard) byl dominantní vždy jedinec s delšími klepety. Větší hustota raků má vždy za následek větší ztráty klepet (Savolainen *et al.*, 2004). V našem experimentu byl rak pruhovaný s oběma klepety ve společné obsádce větší než raci bez klepet. Stejně tak Nyström (1994) a Savolainen *et al.* (2003) uvádějí, že jedinci, kteří ztratili klepeta dosáhli menší velikosti než juvenilové s oběma klepety. Uvádějí, že menší jedinci odchovávaní dohromady s většími měli více zranění, pravděpodobně způsobené agresivním chováním větších dominantních jedinců. Naproti tomu u menších jedinců odchovávaných samostatně byl zjištěn rychlejší růst, i když u nich bylo zjištěno větší procento ztrát klepet než u velkých jedinců (Ahvenharju *et al.*, 2005). Po ztrátě klepet musí raci využít energetické rezervy na jejich regeneraci, což se může odrazit v pomalejším růstu (Aiken a Wady 1992). Ztráta klepet a velikost raků má tedy velký vliv na chování a sociální postavení raků v populaci. Mason (1979) uvádí, že absence klepet u raka signálního zvýšila mortalitu raků v důsledku kanibalismu způsobeným jedinci s oběma klepety.

Copp (1986) uvádí, že dominantní hierarchie mezi raky se po vzájemném souboji rychle stabilizuje po tom co se jeden (největší) jedinec stane superdominantním. To může vysvětlovat relativně vysoké přežití v obou samostatných obsádkách v druhém období experimentu. Nízké přežití obou druhů ve společné obsádce může indikovat negativní mezidruhovou interakci obou druhů, která může ovlivnit i sociální chování jedinců uvnitř druhu.

ZÁVĚR

- Rak říční dosáhl vyššího přežití než rak pruhovaný v samostatné i společné obsádce. Na počátku odchovu se projevil vliv větší velikosti raka říčního na jeho vyšší přežití a také vyšší vnitrodruhový kanibalismus u raka pruhovaného.
- V druhé fázi odchovu bylo přežití obou druhů vyšší v samostatných obsádkách než ve společné obsádce.
- Rak pruhovaný roste v prvním roce života rychleji než rak říční. Ačkoli je po vylíhnutí mnohem menší, velikost obou druhů se vyrovnala 11 týdnů po vylíhnutí (8 týdnů odchovu).
- Na konci vegetační sezóny dosáhl rak pruhovaný (věk 19 týdnů) větší průměrné velikosti a hmotnosti (29,3±5,17 mm a 616,4±412,53 mg), ale zároveň s větší variabilitou než rak říční (21,2±1,82 mm a 229,9±59,45 mg).

SOUHRN

Byl proveden odchov rácat raka říčního a raka pruhovaného od 2.vývojového stádia resp.3. vývojového stádia (osamostatnění od samic) do konce vegetační sezóny (4 měsíce). Raci byli odchovávaní jednak každý druh samostatně a dále ve společné obsádce při poměru 1:1. Průměrná délka raka říčního při nasazení byla 11,1±0,60 mm (10-12 mm) a hmotnost 44,37±3,201 mg (37,1-51,5 mg) a průměrná délka raka pruhovaného byla 7,1±0,73 mm (7-8 mm) a hmotnost 8,83±1,816 mg (5,8-11,8 mg). Rozdíl ve velikosti raků při nasazení byl statisticky průkazný. V prvních fázích odchovu bylo zjištěno velmi nízké přežití raka pruhovaného oproti raku říčnímu a to jak při samostatném tak společném odchovu. Projevil se zde jednak statisticky významný vliv větší velikosti raků říčních oproti raku pruhovanému a dále také větší vnitrodruhový kanibalismus u raka pruhovaného. Na konci odchovu již nebyly v přežití staticky významné rozdíly. Rak pruhovaný však dosáhl na konci vegetační sezóny vyšší velikosti a hmotnosti (29,3±5,17 mm a 616,4±412,53 mg) než rak říční (21,2±1,82 mm a 229,9±59,45 mg). Maximální dosažená velikost a hmotnost u raka říčního byla dosažena 26 mm a 425 mg oproti 46 mm a 2578 mg dosaženým u raka pruhovaného.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla za podpory postdoktorského grantu GAČR 206/03/D064, grantu Ministerstva zemědělství QF 3028 a výzkumného záměru VÚRH JU MSM6007665809.

LITERATURA

- Ackefors, H. 1999. Observations on the yearly life cycle of *Astacus astacus* in a small lake in Sweden. Freshwater Crayfish 12: 413-429.
- Ackefors, H., Gydemo, R., Keyser, P. 1995. Growth and moulting in confined juvenile noble crayfish *Astacus astacus* (L.) (Decapoda, Astacidae). Freshwater Crayfish 10: 396-409.

- Ahvenharju, T., Savolainen, R., Tulonen J., Ruohonen, K. 2005. Effects of size grading on growth, survival and cheliped injuries of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana) summerlings (age 0+). *Aquaculture Research* 36: 857-867.
- Aiken, D. E., Waddy, S. L. 1992. The growth process in crayfish. *Reviews in Aquatic Sciences* 6: 335-381.
- Andrews, E. A. 1907. The young of the crayfishes *Astacus* and *Cambarus*. Smithsonian Contribution to Knowledge. Part of Volume XXXV, No. 1718. Smithsonian Institution. Washington. 79 pp.
- Brink, F. W. B., Velde, G., Geelen, J. F. M. 1988. Life history parameters and temperature-related activity of an American crayfish, *Orconectes limosus* (Rafineque, 1817) (Crustacea, Decapoda), in the area of the major rivers in The Netherlands. *Archiv fur Hydrobiologie* 114: 275-289.
- Butler, M. J., Stein, R. A. 1985. An analysis of mechanism governing species replacement in crayfish. *Oecologia* 66: 168-177.
- Copp, N. H. 1986. Dominance hierarchies in the crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) and the question of learned individual recognition (Decapoda, Astacidea). *Crustaceana* 51: 9-24.
- Gherardi, F. 2002. Behaviour. D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*, pp. 152-191, Blackwell Science Ltd., London.
- Gydemo, R., Westin, L. 1989. Growth and survival of juvenile *Astacus astacus* L. in optimized water temperature. In: *Aquaculture – a biotechnology in progress*. De Pauw, N., E. Jaspers, H. Ackefors & N. Wilkins (eds), pp. 383-391, European Aquaculture Society, Bredene, Belgium.
- Gydemo, R., Westin, L. 1993. Effects of starvation, constant light and partial dactylotomy on survival of noble crayfish, *Astacus astacus* (L.), under high density laboratory conditions. *Freshwater Crayfish* 9: 79-83.
- Hamr, P. 2002. *Orconectes*. In: D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*. pp. 585-608. Blackwell Science Ltd., London.
- Henttonen P., Huner J.V. 1999. The introduction of alien species of crayfish in Europe: A historical introduction. In: *Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation?* Gherardi F. & D. M. Holdich (Eds), 13-22. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Holdich, D. M., Lowery, R. S. 1988. *Freshwater Crayfish Biology, Management and Exploitation*. Chapman & Hall, London & Sydney, Timber Press, Portland, Oregon, 498 pp.
- Holdich, D. M. 2003. Crayfish in Europe – an overview of taxonomy, legislation, distribution, and crayfish plague outbreaks. In: *Management & Conservation of Crayfish, Proceedings of a conference held on 7th November 2002 at the Nottingham Forest Football Club, Nottingham, UK*. Holdich D. M. & P. J. Sibley (Eds), pp. 15-34. Environment Agency, Bristol, UK.
- Kossakowski, J. 1966. Raki. [Crayfish.] Panstwowe wydawnictwo rolnicze i lesne, Warszawa. (in Polish).
- Kozák, P., Policar, T. Annual course of gonad development in *Orconectes limosus*. *Freshwater Crayfish* 15. in press
- Kozák, P., Buřič, M., Policar, T. The fecundity and juveniles production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*). *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture*. in review
- Kozák, P., Policar, T., Ďuriš, Z. 2004. Migration ability of *Orconectes limosus* through a fishpass and notes on its occurrence in the Czech Republic. *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture*. 372-373: 367-373.
- Kozubíková, E., Petrusek, A., Ďuriš, Z., Kozák, P., Geiger, Sh., Hoffmann, R., Oidtmann, B. Detection of the crayfish plague fungus *Aphanomyces astaci* in the Czech Republic: a pilot study. *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture*. in review
- Mack, R. N., Simberloff, D., Lonsdale, W. M., Evans, H., Clout, M., Bazzaz, F. A. 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecologica Applications* 10: 689-710.
- Mason, J. C. 1979. Effects of temperature, photoperiod, substrate and shelter on survival, growth and biomass accumulation of juvenile *Pacifastacus leniusculus* culture. *Freshwater Crayfish* 4: 73-82.
- Mather, M. E., Stein, R. A. 1993. Using growth/mortality trade-offs to explore a crayfish species replacement in stream riffles and pools. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50: 88-96.
- Mazlum, Y., Eversole, A. G. 2005. Growth and survival of *Procambarus acutus acutus* (Girard, 1852) and *P. clarkii* (Girard, 1852) in competitive settings. *Aquaculture Research* 36: 537-545.
- Momot, W. T. 1984. Crayfish production: a reflection of community energetics. *Journal of Crustacean Biology* 4: 35-54.

- Muck, J. A., Rabeni, Ch. F., DiStefano, R. J. 2002. Life-history characteristics of the crayfish *Orconectes ozarkae* in a Missouri Ozark stream. *Freshwater Crayfish* 13: 359-370.
- Nyström, P. 1994. Survival of juvenile signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) in relation to light intensity and density. *Nordic Journal of Freshwater Research* 69: 162-166.
- Nyström, P., Brönmark, C., Granéli, W. 1996. Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish? *Freshwater Biology* 36: 631-646.
- [O]Petrusek, A., Filipová, L., Ďuriš, Z., Horká, I., Kozák, P., Policar, T., Štambergová, M. Distribution of the invasive spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) in the Czech Republic: history and present. *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture*. in review
- Policar, T., Simon, V., Kozák, P. 2004. Egg incubation in the noble crayfish (*Astacus astacus* L.): the effect of controlled laboratory and outdoor ambient condition on hatching success, growth and survival rate of juveniles. *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture*. 372-373: 411-423.
- Reynolds, J.D. 2002. Growth and reproduction. In: D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*, pp. 152-191, Blackwell Science Ltd., London.
- Rutherford P. L., Dunham, D. W., Allison, V. 1995. Winning agonistic encounters by male crayfish *Orconectes rusticus* (Girard) (*Decapoda, Cambaridae*): chela size matters but chela symmetry does not. *Crustaceana* 68: 526-529.
- Savolainen, R., Ruohonen, K., Tulonen, J. 2003. Effects of bottom substrate and presence of shelter in experimental tanks on growth and survival of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana) juveniles. *Aquaculture Research* 34: 289-297.
- Savolainen, R., Ruohonen, K., Railo, E. 2004. Effect of stocking density on growth, survival and cheliped injuries of stage 2 juvenile signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana. *Aquaculture* 231: 237-248.
- Söderback, B. 1991. Interspecific dominance relationship and aggressive interactions in the freshwater crayfishes *Astacus astacus* (L.) and *Pacifastacus leniusculus* (Dana). *Canadian Journal of Zoology* 69: 1321-1325.
- Stucki, T. 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater crayfish* 13: 463-476.

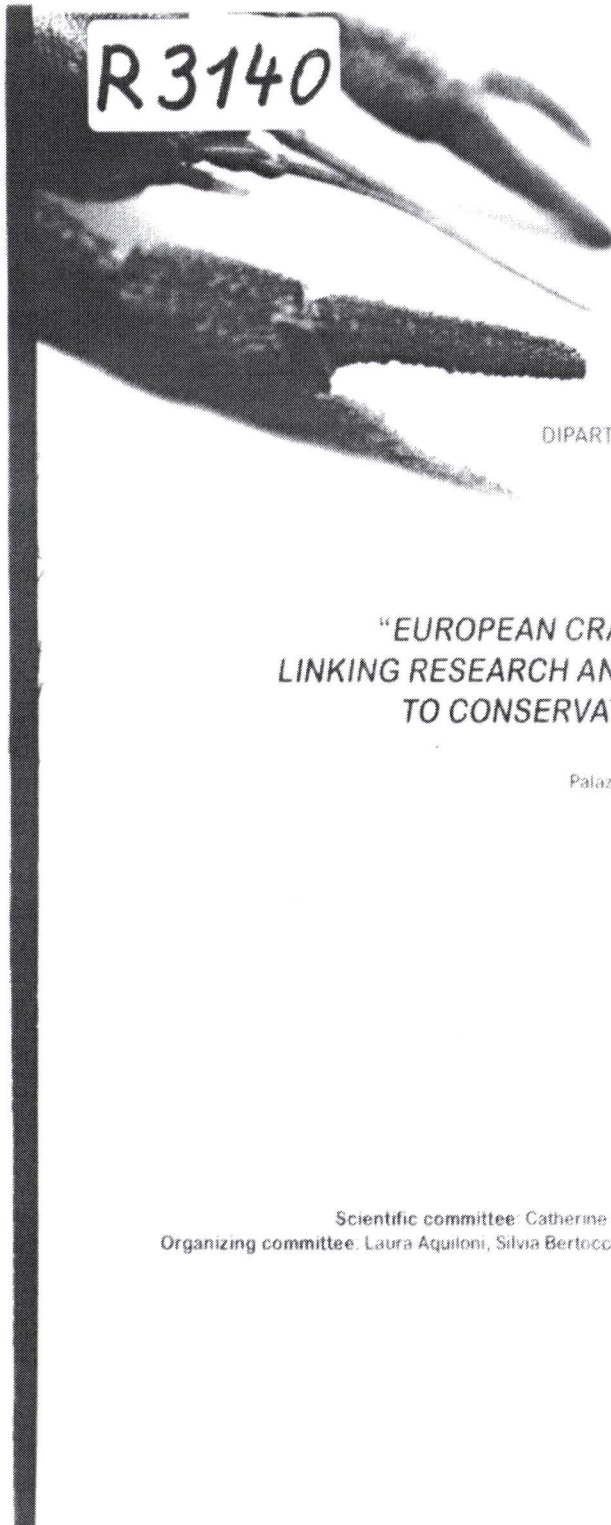
Kontaktní adresa:

Kozák Pavel, Policar Tomáš, Hamáčková Jitka, Lepičová Andrea, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický ve Vodňanech, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, e-mail: kozak@vurh.jcu.cz

Buřič Miloš, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Branišovská 13, České Budějovice

9.3. Abstrakty ve sbornících abstraktů ze zahraničních konferencí

Kozák, P., Buřič, M., Polícar T. The fecundity and juveniles production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*). In: „European crayfish as heritage species – linking research and management strategies to conservation and socio-economics.“ Craynet-Final Conference, Firenze, Italy, May 2-5, 2005. 27-28.



Abstract Volume

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA ANIMALE E GENETICA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

CRAYNET –Final Conference

**“EUROPEAN CRAYFISH AS HERITAGE SPECIES-
LINKING RESEARCH AND MANAGEMENT STRATEGIES
TO CONSERVATION AND SOCIO-ECONOMICS”**

Palazzo Guagni-Ammannati and Aula Magna dell'Università
May 2-5, 2005

**GUIDO CHELAZZI
IAN COWX
KEITH CRANDALL
BERNARDINO FANTINI
KENNETH SODERHALL**

Sponsored by the European Union
(Fifth European Framework)

Chair: Francesca Gherardi

Scientific committee: Catherine Souty-Grosset, David M. Holdich, and Julian Reynolds
Organizing committee: Laura Aquiloni, Silvia Bertocchi, Sara Brusconi, Barbara Renai, and Elena Tricarico
Secretariat: Claudia Angiolini
Photo by: Riccardo Innocenti



POSTER

The conservation plan of *Austropotamobius pallipes* in Catalonia

Gázquez Prát Núria & Olmo-Vidal Josep Maria

Direcció General del Medi Natural; Departament de Medi Ambient, angazpr@gencat.net; Generalitat de Catalunya. Dr. Roux, n.80. 08017 Barcelona, josep.olmo@gencat.net

The distribution of the white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*) in Catalonia has decreased dangerously in the last 20 years. Populations are confined to small and isolated parts of the territory. According to the sampling methods, in the period 2001-2005 a total of 37 populations of *A. pallipes* were found, only 16 of them had high densities (in contrast of 67 population found before 2001). The degeneration of the habitat as well as the colonisation of the invasive crayfish seems to be the main problems to face. To protect this species, the community of Catalonia has started a project to develop a conservation plan. In order to restore the future of *A. pallipes* in Catalonia, it includes some actions about legislation, samples around the region for all crayfish species, a continuous monitoring of these populations, captivity breeding for reintroduction, and special management to reduce the impact of invasive crayfish in Catalonia.

POSTER

Crayfish *Astacus leptodactylus* in Turkey: Past and Present Situation

Koksal Gülten, Yavuzcan Hijran & Zencir Özge

Ankara University, Agricultural Faculty, Dept.of Fisheries and Aquaculture, 06110 Ankara, Turkey

The only native crayfish species in Turkey is the narrow clawed crayfish, *Astacus leptodactylus*. Crayfish occur naturally in many natural lakes, dam lakes and ponds in different parts of Turkey. Turkey was one of the most important crayfish producer in the world before 1980s because of spread of crayfish plague in Europe. However, after 1980s crayfish production declined gradually in Turkey due to various factors such as over-fishing and disease. This paper reviews distribution areas of crayfish in past and present, annually production of crayfish from 1970 to 2003, export values of crayfish for Turkey and possible solutions to increase the crayfish population in Turkish water bodies.

POSTER

The fecundity and juvenile production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*)

Kozák P., Buřič M. & Polıcar T.

University of South Bohemia in České Budějovice, RIFH, Zátıši 728/II, Vodňany, CZ-389 25, Czech Republic
kozak@vurh.jcu.cz

Present study confirmed a linear relationship between female size and ovarian and pleopodal fecundity and production of juveniles at the 3rd stage in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) fecundity. The mean value of ovarian fecundity was found to be 130.8±107.63 (46-505) oocytes. The value of female and male gonadosomatic index was found at the level of 4.2±1.8% (0.8-7.7%) and 0.3±0.05% (0.2-0.4%), respectively. Pleopodal fecundity gained

217.8±94.93 (95-492) eggs of mean diameter 1.8±0.21 mm (1.45-2.15 mm). Statistically high difference was found between the egg numbers carried on individual pairs of pleopods. Mean time from laying to hatching of juveniles at the 1st stage was 46±3.8 days (37-56 days), i.e. 647±39.9 day-degrees (543-730 day-degrees). Mean production of juveniles at the 3rd stage was found to be 135.7±67.24 (15-243) juveniles.

POSTER

Detection of the crayfish plague fungus *Aphanomyces astaci* in the Czech Republic: a pilot study

Vozubíková E., Vetrusek A., ²Duriš Z., ³Kozák P., ⁴Geiger S., ⁴Hoffmann R. & ⁵Oidtmann B.

¹ Department of Ecology, Charles University, Viničná 7, Prague 2, CZ-12844, Czech Republic
evikkk@post.cz

² Department of Biology, University of Ostrava, Chittussiho 10, Ostrava, CZ-71000, Czech Republic

³ University of South Bohemia in České Budějovice, Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology at Vodňany, Zátíší 728/II, Vodňany, CZ-38925, Czech Republic

⁴ Institute for Zoology, Fish Biology & Fish Diseases, Ludwig-Maximilians-Universität, Kaulbachstr. 37, D-80539, Munich, Germany

⁵ CEFAS Weymouth Laboratory, Barrack Road, The Nothe, Weymouth, Dorset

DT4 SUB,

UK

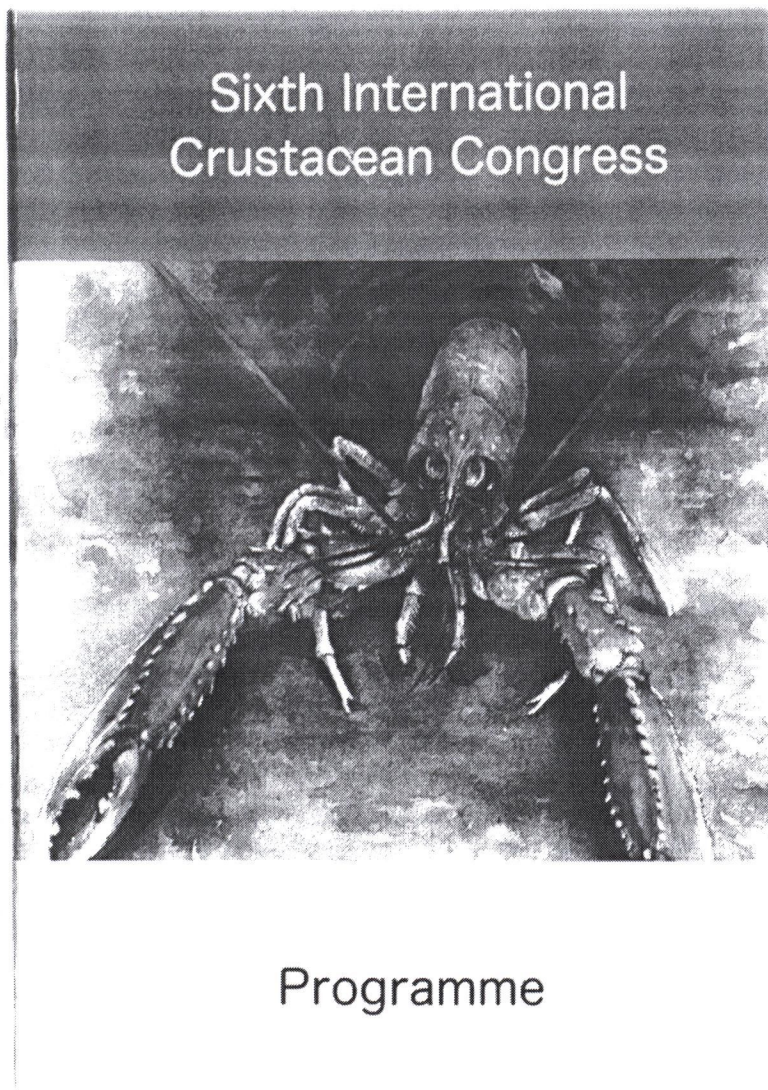
Crayfish plague, caused by the parasitic oomycete *Aphanomyces astaci*, had destroyed many populations of native European crayfish in 19th and 20th century; however, there are only few literature reports about the occurrence of this disease in the Czech Republic. In recent years, mass mortalities of *Astacus* spp. with symptoms of crayfish plague were noticed in three streams - two in Bohemia (1998-9) and one in Silesia (2004). Three dead individuals from the last outbreak were tested for the presence of *A. astaci* by a PCR-based diagnostic method, all with the positive result. Although causes of mass mortalities from other two localities lack such direct confirmation, the indirect evidence supports the same conclusion. Crayfish plague is usually transmitted by North American crayfish species resistant to the disease. The main potential vector of *Aphanomyces astaci* in the Czech Republic is *Orconectes limosus*, widespread in large rivers of the western part of the country and in various isolated standing waters. Using the same molecular method, we investigated the presence of *A. astaci* in living *O. limosus* individuals from five localities (three running and two standing waters). We detected the presence of the parasite in animals from four out of five investigated populations, in three of them over 50% of animals were tested positive. One of the infected *Orconectes* populations is present in the stream where *Astacus* had gone extinct in 1998-9. Our results document that *Aphanomyces astaci* is still present in the Czech Republic, and directly endangers populations of the native crayfish.

9.4. Postery

Kozák Pavel, Buřič Miloš, Polícar Tomáš, Hamáčková Jitka, Lepičová Andrea, Lepič Pavel.

The effect of inter- and intra-specific competition on survival and growth rate of native juvenile noble crayfish *Astacus astacus* and alien spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus*. Sixth International Crustacean Congress. Glasgow, Scotland, UK, 18-22 July 2005.

Kozák, P., Buřič, M., Polícar T. The fecundity and juveniles production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*). In: „European crayfish as heritage species – linking research and management strategies to conservation and socio-economics.“ Craynet-Final Conference, Firenze, Italy, May 2-5, 2005.



- Berezina, N.A. and Panov*, V.E. (Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia)** Pathways, consequences and risk assessment of amphipod invasions in European Russia [P142]
- Callaghan*, E.A. and Smith, L.D. (Smith College, MA, U.S.A.)** The allometry of invasive crab-native prey size interactions: a predictor of invasion success? [P143]
- Dvoretzky*, A.G. and S.A. Kuzmin, S.A. (Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Russia)** Commensals of the Red king crab *Paralithodes camtschaticus* with amphipods of genus *Ischyrocerus* [P144]
- Edgell*, T. and Rochette, R. (University of New Brunswick, Saint John, NB, Canada)** Integrating small and large scale spatio-temporal patterns to elucidate mechanisms underlying intraspecific variation of adaptive traits in a predatory crab and its prey [P145]
- Frau*, A., Barbaresi, S., Fratini, S., Badalamenti, F., Deudero, S. and Schubart, C.D. (Grup d'Oceanografia Interdisciplinària, Institut Mediterrani d'Estudis Avancats (CSIC-UIB), Spain)** A population genetic approach to reconstruct the biological invasion of the Mediterranean Sea by the crab *Percnon gibbesi* (Decapoda, Plagusidae) [P146]
- Froggia, C. (CNR - ISMAR Sezione Pesca Marittima, Italy)** The spreading of alien Decapod Crustaceans in marine and freshwater habitats in Italy [P147]
- González-Ortegón, E., Cuesta*, J.A. and Drake, P. (Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía, CSIC, Spain)** Invasion of the Atlantic waters by the oriental shrimp *Palaemon macrodactylus* Rathbun, 1902 (Decapoda, Caridea) [P148]
- Grabowski*, M., Jazdzewska, A., Konopacka, A. and Jazdzewski, K. (Department of Invertebrate Zoology & Hydrobiology, University of Lodz, Poland)** Invasion of *Dikerogammarus haemobaphes* in Central European waters - a molecular perspective [P149]
- Horká*, I. and Duriš, Z. (Department of Biology, University of Ostrava, Czech Republic)** A case of invasive zebra mussel mass colonisation of invasive crayfish [P150]
- Innocenti G., Galil B.S.* (Israel Oceanographic Limnological Research Institute, Israel)** Modus vivendi - Invasive host/parasite relations: the case of *Charybdis longicollis* Leene and *Heterosaccus dollfusi* Boschma [P151]
- Janas, U. (Institute of Oceanography, University of Gdańsk, Poland)** Why *Palaemon elegans* colonized the southern part of the Baltic Sea? [P152]
- Jazdzewski*, K., Konopacka, A. and Grabowski, M. (Department of Invertebrate Zoology & Hydrobiology, University of Lodz, Poland)** Recent range extensions of alien aquatic Malacostraca in Central Europe [P153]
- Kerekes*, N., Dirksen, H. and Mártensson, L. (Dep. of Zoophysiology, Goteborg University, Sweden)** Pigment-dispersing hormone-like peptide and crustacean cardioactive-like peptide in the nervous system of *Balanus improvisus* larvae [P154]
- Kozák*, P., Buřič, M., Polícar, T., Hamácková, J., Lepicová, A. and Lepíc, P. (University of South Bohemia in České Budějovice, Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology at Vodňany, Czech Republic)** Comparison of growth and survival of native juvenile noble crayfish *Astacus astacus* and alien spiny-cheek crayfish *Orconectes limosus* [P155]
- McDonald*, P.S., Holsman, K.K., Beauchamp, D.A. and Armstrong, D.A. (University of Washington, School of Aquatic and Fishery Sciences, WA, USA)** Development and application of a bioenergetics model for a cosmopolitan invader: the shore crab, *Carcinus maenas* [P156]
- Muško*, I.B., Balogh, C., Tóth, A.P., Varga, E. and Lakatos, G. (Balaton Limnol. Res. Inst. Hung. Acad. Sci., Hungary)** Seasonal changes of Malacostraca in the stony littoral zone of Lake Balaton (Hungary) in a drought and the next regeneration period [P157]

The fecundity and juveniles production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*).

Kozák Pavel, Buřič Miloš and Polícar Tomáš

University of South Bohemia in České Budějovice, RIFH, Zátuší 728/II, Vodňany, CZ - 389 25, Czech Republic, kozak@vurh.jcu.cz

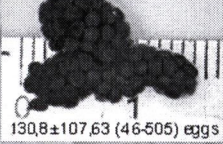
ABSTRACT: Present study confirmed a linear relationship between female size and ovarian and pleopodal fecundity and production of juveniles at the 3rd stage in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) fecundity. The mean value of ovarian fecundity was found to be 130.8 ± 107.63 (46-505) oocytes. The value of female and male gonadosomatic Index was found at the level of $4.2 \pm 1.8\%$ (0.8-7.7%) and $0.3 \pm 0.05\%$ (0.2-0.4%), respectively. Pleopodal fecundity gained 217.8 ± 94.93 (95-492) eggs of mean diameter 1.8 ± 0.21 mm (1.45-2.15 mm). Statistically high difference was found between the egg numbers carried on individual pairs of pleopods. Mean time from laying to hatching of juveniles at the 1st stage was 46 ± 3.8 days (37-56 days), i.e. 647 ± 39.9 day-degrees (543-730 day-degrees). Mean production of juveniles at the 3rd stage was found to be 135.7 ± 67.24 (15-243) juveniles.

Material and Methodology

Crayfish used in the experiment were caught on April 18 and April 26, 2004 in Kofensko dam (Vltava river). Females were kept in special apparatus in flow through system. Potential fertility was evaluated on April 18, just after catching. The number of eggs in ovaria was counted after preservation from 20 females. The laying of eggs took place at the end of the April and beginning of May. Pleopodal fecundity was evaluated 1 to 5 days after laying from 16 females. Eggs were count individually from each pleopod. Altogether, 14 females were kept individually in Rückel-Vacek hatching apparatus (originally used for hatching salmonids eggs) to observed number of juveniles in the 3rd stage. Gonadosomatic index was evaluated for 20 females and 11 males. Body length, carapace length and weight of all crayfish were measured. One-way statistical analysis (ANOVA, Statgrafics, Tukey test) was used for statistical analysis.

Fecundity

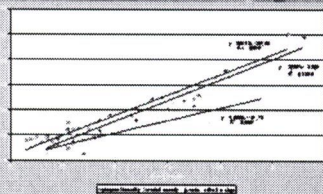
Potential fecundity



Pleopodal fecundity



Juveniles at 3rd stage



Results

Number of eggs on each pair of the pleopod

1st pair = $1 \pm 0,6^a$ (0-2)

2nd pair = $18 \pm 2,7^c$ (14-24)

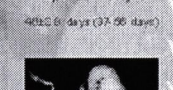
3rd pair = $25 \pm 1,8^{ab}$ (21-27)

4th pair = $27 \pm 2,4^a$ (23-32)

5th pair = $22 \pm 3,2^b$ (16-27)

Other = $7 \pm 2,7^d$ (1-11)

Lifecycle



Crustacean	Sexual maturity	Number of eggs	Survival rate (%)
O. limosus	100 (100%)	11 (100%)	100
O. limosus	100 (100%)	11 (100%)	100
A. astacus	100 (100%)	11 (100%)	100
A. astacus	100 (100%)	11 (100%)	100
A. astacus	100 (100%)	11 (100%)	100
A. astacus	100 (100%)	11 (100%)	100