

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Katedra: rybářství

Obor: rybářství

TÉMA DIPLOMOVÉ PRÁCE

**POROVNÁNÍ POSTEMBRYONÁLNÍHO VÝVOJE
PŮVODNÍCH A NEPŮVODNÍCH DRUHŮ RAKŮ**

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

Autor diplomové práce:
Jan Kanta

2007

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zemědělská fakulta
Katedra rybářství
Akademický rok: 2004/2005

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KANTA**
Studijní program: **M4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Rybářství**

Název tématu: **Porovnání postembryonálního vývoje
původních a nepůvodních druhů raků.**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

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.

Tato diplomová práce bude sledovat růstové ukazatele raka říčního a pruhovaného v laboratorních podmínkách. Cílem bude zachytit období jednotlivých svlékání, jejich frekvenci, přírůstek po jednotlivých svlékáních a přežití u juvenilních raků obou druhů. Zjištěná data budou porovnána s dostupnou literaturou. Práce bude probíhat v laboratořích a akvarijní místnosti v rybochovném objektu VÚRH JU. Práce bude podporována grantem GAČR č. 206/03/0532 "Populační ekologie terminálních a rezidentních subpopulací invazního druhu raka." a grantem GAČR č. 206/03/D064 " Studium biologie raka pruhovaného *Orconectes limosus* Raf. v laboratorních podmínkách."

Rozsah práce: 30 - 40 stran
Rozsah příloh: 10 grafů
Forma zpracování diplomové práce: tištná

Seznam odborné literatury:

- Kozák, P., Pokorný, J., Polícar, T., Kouřil, J.: Základní morfologické znaky k rozlišení raků v ČR, Vodňany, VÚRH JU, 1998, edice Metodík, č. 56, 20 s.
- Dubský, K., Kouřil, J., Šrámek, V., 2003: Obecné rybářství. Informatorium, Praha, 308 s.
- Bulleten VÚRH JU, Vodňany, 3, 2001.
- Bulleten VÚRH JU, Vodňany, 1-2, 2000.
- Bulleten 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, Štědranský: Základy našeho rybářství, Státní zemědělské nakladatelství Praha, str. 45 - 47, 225, 448, 477 - 482, 1956.
- Kostomarov B.: Rybářství, Učební texty vysokých škol, VS zemědělská v Brně, str. 227 - 247, 1951.
- Holdich, D. M., Lowery, R. S., 1988: Freshwater Crayfish Biology, Management and Exploitation. Chapman & Hall, London & Sydney, Timber Press, Portland, Oregon, 498 s.
- Holdich, D. M., 2002: Biology of Freshwater Crayfish. Blackwell Science Ltd., Oxford, London, 702 s.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Porovnání postembryonálního vývoje původních a nepůvodních druhů raků“ vypracoval samostatně a na základě vlastního sledování. Použitá literatura a ostatní materiály jsou uvedeny v příloženém seznamu.

Jan Kanta

V Českých Budějovicích dne:

Mé poděkování patří především panu Ing. Pavlu Kozákovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky při realizaci této diplomové práce. Dále bych chtěl touto cestou poděkovat svému spolužáku Antonínu Koubovi a zaměstnancům Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického JU ve Vodňanech za výpomoc při realizaci všech pokusů.

V neposlední řadě děkuji své přítelkyni Evě za porozumění a toleranci při psaní této diplomové práce .

OBSAH

1. Úvod	1
2. Literární přehled	3
2.1. Rozšíření raků ve světě.....	3
2.2. Astakofauna České republiky.....	3
2.3. Systematické zařazení raků.....	4
2.4. Stručná charakteristika druhů žijících na našem území.....	5
2.4.1. Rak říční (<i>A. astacus</i> (Linnaeus, 1758)).....	5
2.4.2. Rak kamenáč (<i>Austropotamobius torrentium</i> (Schrank, 1803)).....	6
2.4.3. Rak bahenní (<i>A. leptodactylus</i> (Eschholtz, 1823)).....	7
2.4.4. Rak signální (<i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852)).....	8
2.4.5. Rak pruhovaný (<i>Orconectes limosus</i> (Rafinesque, 1817)).....	10
2.5. Růst.....	11
2.5.1. Metody odhadu stáří a rychlosti růstu.....	12
2.5.1.1. Metody odhadu stáří.....	12
2.5.1.2. Metody hodnocení růstu.....	13
2.5.2. Enviromentální faktory ovlivňující růst.....	13
2.5.2.1. Faktory abiotické.....	13
2.5.2.2. Faktory biotické.....	17
2.6. Studie růstu.....	19
2.6.1. Rak říční.....	19
2.6.2. Rak signální.....	21
2.6.3. Rak pruhovaný.....	22
2.6.4. Rak bahenní.....	23
2.6.5. Rak kamenáč.....	24
2.7. Krunýř.....	24
2.7.1. Struktura krunýře.....	25
2.7.2. Proces výměny krunýře.....	26
2.7.2.1. Stádia svlékání.....	27
2.7.2.2. Systém řízení svlékání.....	31
2.7.2.3. Biochemické změny při procesu svlékání.....	31
2.8. Gastrolity.....	32

3. Materiál a metodika.....	33
4. Výsledky.....	38
4.1. Líhnutí a frekvence svlékání.....	38
4.2. Biometrická měření.....	42
4.2.1. Hmotnost.....	42
4.2.2. Délka.....	45
4.2.3. Hmotnostní a délkový přírůstek za svlékání.....	48
4.3. Měření doby trvání vývojových stádií.....	52
4.3.1. Délka trvání stádií.....	52
4.3.2. Doba do dosažení dalšího stádia.....	56
4.4. Souhrnné výsledky pro jednotlivé druhy raků.....	59
5. Diskuze.....	65
5.1. Období líhnutí ráčat.....	65
5.2. Růst.....	66
5.3. Frekvence svlékání a doba trvání stádia.....	70
6. Souhrn a závěr.....	73
7. Použitá literatura.....	79
8. Přílohy	

1. ÚVOD

Dnes už to vypadá takřka neuvěřitelně, ale pamětníci tvrdí, že u nás kdysi žili raci prakticky v každém potoce. Ještě ve filmu Starci na chmelu z 60. let je scéna nočního lovu na tyto korýše. Na konci 80. let však již bylo možno najít v potocích třeba i celého trabanta, raka však jen sotva.

Kde hledat příčiny tohoto neutěšeného stavu? První skutečná pohroma přišla přibližně před jedním stoletím, kdy na naše území vtrhla epidemie označována jako račí mor. Původcem onemocnění byla plíseň (*Aphanomyces astaci*), která způsobila silný pokles výskytu původních druhů raků, raka říčního (*Astacus astacus*) a raka kamenáče (*Austropotamobius torrentium*), u nás i v mnoha jiných evropských zemích. Patrně ani račí mor by nezaznamenal definitivní konec zdejších populací raků, kdyby (ostatně nejspíš nikoliv náhodou) nepřišel v době rychlé industrializace a počátku průmyslového znečištění krajiny. V tomto období se však také objevuje na našem území nový druh evropského raka. Jedná se o raka bahenního (*Astacus leptodactylus*) dovezeného k nám z oblasti Haliče. Ještě větší ranou však byla pozdější éra komunistického režimu spojená s chemizací v zemědělství a velkoplošnou meliorací krajiny. Přesto se socialistické hospodářství při dohánění kapitalismu nedokázalo odřící ani račí podpory. I když formálně tento korýš požíval jakési zákonné ochrany, byly zde kličky, které umožňovaly intenzivní valutový export. Například vyhláška č. 103 ministerstva zemědělství z roku 1963 s prováděcími předpisy k Zákonu o rybářství dovozovala denní úlovek 30 kusů raků.

Dnes je situace mnohem příznivější. Zlepšující se stav životního prostředí, snižování úrovně hnojení a chemické ochrany rostlin v zemědělství a zlepšující se kvalita vod za posledních několik let vedla k tomu, že raci říční se již znovu objevují ve svých původních říčkách a potocích. Možnosti přímého vyhynutí však stále čelí rak kamenáč, který je rozšířen pouze na několika lokalitách v ČR .

Aktuální ochrana raků u nás však stojí před dalším a velmi závažným problémem. Jedná se o invazní šíření dvou nepůvodních druhů raků na naše území. Jedná se o raka signálního (*Pacifastacus leniusculus*) a raka pruhovaného (*Orconectes limosus*), jejichž původní domovinou je Severoamerický kontinent. Jejich primární nebezpečí spočívá především v přenosu račího moru, vůči němuž jsou sami imunní. Tyto druhy jsou také silnější, agresivnější, a aktivně tak vytlačují původní druhy raků z lokalit, kde se společně vyskytují.

Akutní nebezpečí je natolik vážné, že je mu v posledních letech věnována v rámci Evropy mimořádná pozornost.

Tato diplomová práce bude sledovat růstové ukazatele jednotlivých stádií našich původních druhů raků (rak říční, bahenní, kamenáč) a na našem území nepůvodních druhů (rak pruhovaný, rak signální) v laboratorních podmínkách. Dílčím cílem bude zachytit období líhnutí těchto pěti druhů, období jednotlivých svlékání, jejich frekvenci a přírůstek po jednotlivých svlékáních v průběhu první vegetační sezóny při užití různých teplot odchovu.

Výstupy z této práce by měly přispět k lepšímu poznání konkrétních biologických aspektů našich druhů raků, co se týče jejich růstového potenciálu, počtu svlékání a doby líhnutí. Zjištěné údaje mohou v budoucnu sloužit například jako jakýsi vzor pro odhad stáří juvenilních raků odchycených ve volné přírodě. Na podkladě výsledků lze také usuzovat na úspěšnost jednotlivých druhů v ekosystémech či možnosti využití raků v akvakultuře.

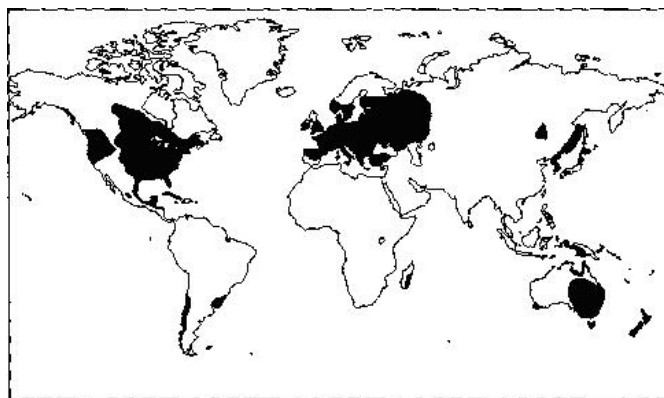


Ilustrační fotografie 5.vývojového stádia raka říčního.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Rozšíření raků ve světě

Sladkovodní raci se vyskytují přirozeně ve všech kontinentech světa kromě Antarktidy a kontinentální části Afriky (obr. 1) (Holdich *et al.*, 2006). Ve sladkých vodách naší planety je popsáno přes 467 druhů raků. Jejich rozšíření je však velmi nerovnoměrné. Nejvíce druhů obývá Severní (cca 333 druhů) a Jižní Ameriku (cca 100 druhů). V Austrálii, Novém Zélandě a na Nové Guinei žije cca 105 druhů. Ostatní části světa jako je Evropa s Malou Asií s 9 druhy, ostrov Madagaskar s 5 druhy a východní Asie se 4 druhy se řadí mezi oblasti astakologicky poněkud chudé (Ďuriš, 2000).



Obr.1: Rozšíření sladkovodních raků ve světě (Holdich *et al.*, 2006).

2.2. Astakofauna České republiky

V přírodě České republiky se můžeme setkat s pěti druhy raků, ovšem jen dva z těchto druhů jsou na území naší vlasti druhy původními – rak říční (*Astacus astacus* (L.)) a rak kamenáč (*Austropotamobius torrentium* (Schr.)) (Kozák *et al.*, 1998).

K těmto druhům koncem 19. a začátkem 20. století přibyl rak bahenní (*Astacus leptodactylus* (Esch.)). Tento druh byl dovezen jako náhrada za raka říčního, jehož populace byly zdecimovány račím morem (Kozák *et al.*, 1998). Dalšími dvěma druhy, které „obohatily“ naši astakofaunu, jsou rak signální (*Pacifastacus leniusculus* Dana) a rak pruhovaný (*Orconectes limosus* (Raf.)) (Polícar a Kozák, 2000). První z nich byl dovezen v roce 1980 ze Švédska za účelem akvakulturní produkce raků. Rak signální byl vysazen do několika lokalit, především na Moravě, a postupem času byl rozšířen i dále do ČR

(Holzer, 1989). Dalším nepůvodním druhem je rak pruhovaný, který se k nám dostal Labem z oblasti Pomořan, kam byl cíleně introdukován koncem 19. století (Petrušek *et al.*, 2006).

2.3. Systematické zařazení raků

Rozbor vývoje rozšíření raků poukazuje na to, že prapředkem všech raků je čeleď *Protostacidae*, která v období Jury obývala vody praoceánu Tethys mezi rozpadajícími se bloky pevniny Pangey – Laurasií a Gondvanou (Ďuriš, 2000). Postupným fylogenetickým vývojem se tato spíše „nadčeleď“ rozdělila na tři čeledi, a to na čeleď *Astacidae* a *Cambaridae*, obývající severní polokouli, a na čeleď *Parastacidae*, vyskytující se na jižní polokouli (Holdich *et al.*, 2006). Z výše uvedeného vyplývá, že pro území ČR resp. Evropy (obr. 2) jsou stěžejními čeledi *Astacidae* a *Cambaridae*.

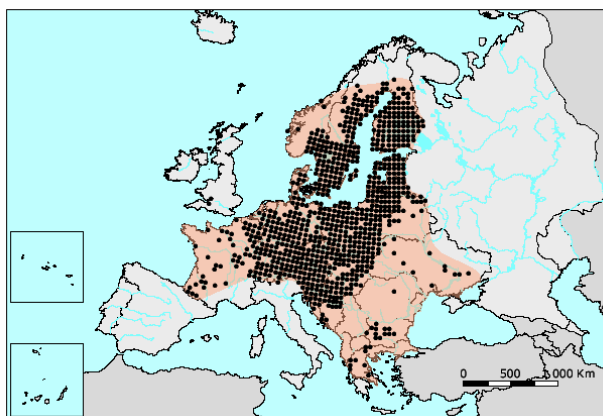
Obr. 2: Schéma systematické zařazení raků žijících v ČR (Kozák *et al.*, 1998).

<u>Kmen:</u>	<i>Arthropoda</i>	Členovci
<u>Podkmen:</u>	<i>Crustacea</i>	Korýši
<u>Třída:</u>	<i>Malacostraca</i>	Rakovci
<u>Řád:</u>	<i>Decapoda</i>	Desetinožci
<u>Čeleď:</u>	<i>Cambaridae</i>	
<u>Podčeleď:</u>	<u>Rod:</u>	<u>Druh:</u>
<i>Cambarinae</i>	<i>Orconectes</i>	<i>O. limosus</i> (Rafinesque, 1817) (rak pruhovaný)
<u>Čeleď:</u>	<i>Astacidae</i>	
<u>Podčeleď:</u>	<u>Rod:</u>	<u>Druh:</u>
<i>Pacifastacinae</i>	<i>Pacifastacus</i>	<i>P. leniusculus</i> (Dana, 1852) (rak signální)
<i>Astacinae</i>	<i>Astacus</i>	<i>A. astacus</i> (Linnaeus, 1758) (rak říční) <i>A. leptodactylus</i> (Eschholtz, 1823) (rak bahenní)
	<i>Austropotamobius</i>	<i>A. torrentium</i> (Schrank, 1803) (rak kamenáč)

2.4. Stručná charakteristika druhů žijících na našem území

2.4.1. Rak říční (*A. astacus* (Linnaeus, 1758))

Rak říční je původním druhem raka osidlující převážnou část evropských vod již od dob pleistocénu. Tento druh je nejrozšířenějším původním evropským druhem raků v západní a střední Evropě (obr. 3) (Holdich *et al.*, 2006). V současné době je znám jeho výskyt ve 39 zemích a v budoucnu se očekává potvrzení výskytu v Andoře, Kypru a Turecku. Nejhojnější populace můžeme najít ve Skandinávii a pobaltských státech (Holdich *et al.*, 2006).



Obr. 3: Výskyt raka říčního v Evropě (Holdich *et al.*, 2006).

Tělo raka říčního je mohutné, svalnaté, jen slabě trnité se středně až tmavohnědým zbarvením (Hager, 1996). Důležitým rozpoznávacím znakem, kterým je možno rozlišit jednotlivé druhy, je tvar hlavohruď (carapaxu) a počet postorbitálních lišt. Hlavohruď raka říčního se vyznačuje dlouhým, špičatým čelním trnem (rostrum) a dvěma postorbitálními lištami. Klepeta tohoto druhu jsou široká a velká, na povrchu drsná, a stejně zbarvená jako tělo. Spodní strana klepet je charakteristicky červená až červenooranžová, kloub klepeta je červený (Kozák *et al.*, 1998).

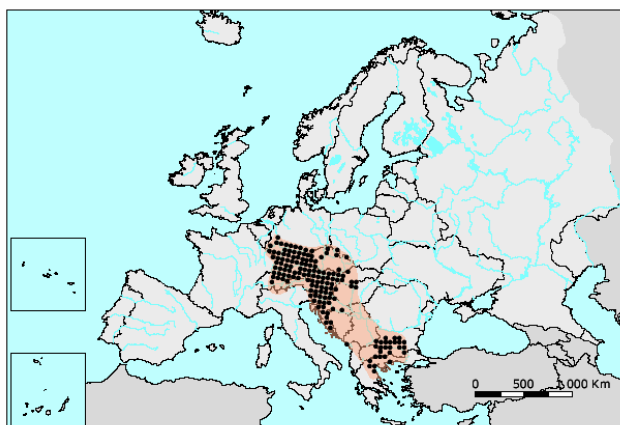
Jako ostatní původní evropské druhy vykazuje rak říční charakteristiky k-stratéga. Tento fakt představuje pozdější pohlavní dospělost (♂ ve 3 letech, ♀ ve 3 – 5 letech), pomalejší růst, malou úmrtnost, větší velikost těla a dlouhý životní cyklus (Lindquist & Huner, 1999). Rak říční se při hmotnosti těla maximálně 250 g a délce 15 cm může dožít až 20 let (Holdich *et al.*, 2006).

K páření dochází u raka říčního v klimatických podmínkách střední Evropy na konci září a v průběhu října, kdy se teplota vody pohybuje kolem 8 – 12°C (Taugbøl & Skurdal, 1995a). Plodnost samic raka říčního se pohybuje okolo 40 – 280 vajíček (Stucki, 2002).

Podle zákona č. 114/1992 Sb. a jeho prováděcí vyhlášky č. 395/1992 je rak říční zařazen v rámci České republiky mezi druhy kriticky ohrožené.

2.4.2. Rak kamenáč (*Austropotamobius torrentium* (Schränk, 1803))

Dalším původním evropským druhem raka je rak kamenáč. Tento druh patří mezi druhy s nejmenším areálem rozšíření. Jeho výskyt je omezen na oblast střední Evropy a jižní část Balkánského poloostrova (obr. 4). Literatura uvádí výskyt ve 20 evropských zemích (Holdich *et al.*, 2006).



Obr. 4: Výskyt raka kamenáče v Evropě (Holdich *et al.*, 2006).

Rak kamenáč dosahuje z našich raků nejmenších rozměrů. Jeho délka těla jen zřídka přesahuje 70 – 80 mm (max. 100 mm) a hmotnost 40 g. Délka života se u tohoto druhu pohybuje okolo 10 let (Holdich *et al.*, 2006).

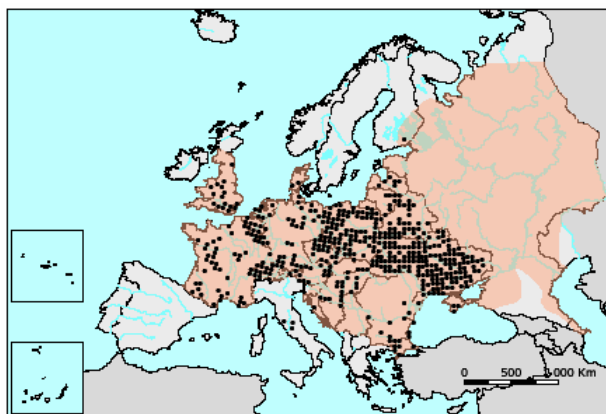
Na hřbetní straně těla je šedohnědě nebo zelenohnědě zbarvený. Na břišní straně těla má světle žlutý odstín, klepeta a nohy má špinavě bílé. Počátek hlavohruď tvoří krátké rostrum, jehož tvar představuje rovnostranný trojúhelník. Důležitým rozpoznávacím znakem je středně trnitá hlavohruď s jedním párem postorbitálních lišt. Klepeta jsou vzhledem k velikosti těla mohutně a široce vyvinutá, na povrchu drsná a zelenohnědá s bledě červeným kloubem. Spodní strana klepet je světle žlutě zbarvená (Kozák *et al.*, 1998).

Pohlavní dospělosti obvykle dosahuje ve třetím až pátém roce života, při velikosti těla 35 – 50 mm (Stucki, 2002). Páření probíhá v období mezi koncem října a začátkem listopadu. Pleopodální plodnost se u samice raka kamenáče pohybuje na úrovni 40 až 70 vajíček (max. 100), a to v závislosti na velikosti samice (Streissl & Hödl, 2002). Ráčata se líhnou v období od konce května do poloviny července v závislosti na teplotě vody v dané lokalitě (Holdich *et al.*, 2006).

Rak kamenáč je podle zákona č. 114/1992 Sb. a jeho prováděcí vyhlášky č. 395/1992 zařazen mezi druhy kriticky ohrožené.

2.4.3. Rak bahenní (*A. leptodactylus* (Escholtz, 1823))

Rak bahenní je autochtonním druhem v pontokaspické oblasti, odkud se přirozenou a umělou cestou dostal do vod většiny evropských zemí (obr. 5) (Holdich *et al.*, 2006). Nejnovější studie prokázaly jeho výskyt ve více než 30 evropských zemích (Pöckl *et al.*, 2006). Do Čech byl dovezen v roce 1892 z Haliče na lokality kolem Blatné a Mladé Boleslavi (Sládeček, 1988). Kozák *et al.* (1998) uvádějí, že rak bahenní se v současné době vyskytuje řídce roztroušen na lokalitách po celém území ČR.



Obr. 5: Výskyt raka bahenního v Evropě (Holdich *et al.*, 2006).

Rak bahenní má masivní, silně trnité tělo se žlutohnědým až mramorovaným zbarvením (Štěpán, 1933). Na rozdíl od raka kamenáče má dlouhé a úzké rostrum, za kterým se vyskytují dvě řady malých trnů (Kostomarov, 1958). Hlavohrud' raka bahenního je stejně jako u raka říčního a signálního vybavena dvěma páry postorbitálních lišt. Od ostatních druhů se rak bahenní odlišuje především silně trnitým povrchem těla, výskytem hrotů po stranách jednotlivých článků zadečku a dlouhými, úzkými klepety

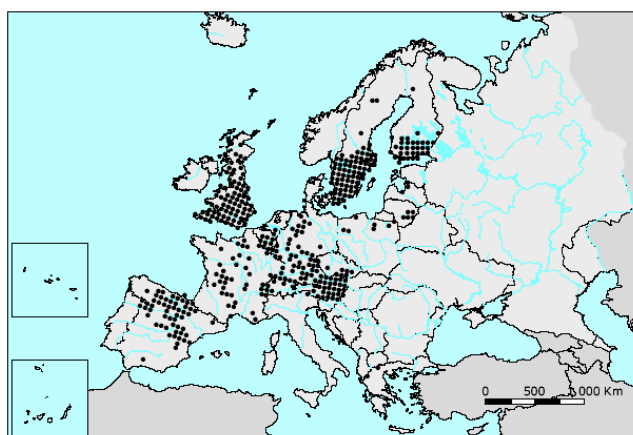
zelenohnědého zbarvení s bílým kloubem a se světle žlutě zbarvenou spodní stranou (Kozák *et al.*, 1998).

Rak bahenní je řazen mezi druhy dožívající se minimálně pěti let (Pöckl *et al.*, 2006). Pohlavní dospělosti dosahuje běžně v průběhu třetího roku života, ale v horších životních podmínkách až ve čtvrtém roce. Období páření závisí na geografických podmínkách, např. v oblasti Turecka je to období od října do listopadu, ve Švýcarsku v listopadu a prosinci (Holdich *et al.*, 2006). Stucki (2002) uvádí pleopodální plodnost u samice raka bahenního ve švýcarských jezerech na úrovni 29 – 408 vajíček. Proces líhnutí probíhá v rámci Evropy od konce května (oblast střední Evropy) až do začátku července (oblasti kolem Kaspického moře) (Holdich *et al.*, 2006).

Rak bahenní je řazen do kategorie druhů ohrožených a manipulaci s ním může povolit příslušný referát životního prostředí krajského úřadu.

2.4.4. Rak signální (*Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852))

Rak signální pochází ze severozápadní části USA (Wyoming, Washington, Kalifornie, Utah) a jihozápadní části Kanady (Holdich *et al.*, 2006), odkud byl v průběhu 20. století introdukován především do Evropy a Japonska. Hlavním cílem introdukce raka signálního na evropský kontinent bylo nahradit vymizelé populace raka říčního, zdecimované račím morem na konci 19. století. První uskutečněnou introdukcí byl dovoz 60 kusů z Kalifornie v roce 1959 do švédských jezer. Postupem času následovala další vlna dovozu do Švédska (1960) a Finska (1967 – 69) (Westman, 2000). Odtud se rak signální dále rozšířil do Polska (1971 – 1975) (Kossakowski a Kossakowski, 1979), Německa (1972), Řecka (1982) a dalších evropských zemí včetně České republiky (Holdich *et al.*, 2006). Na naše území se 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 i na další lokality ČR (Holzer, 1989). V současné době lze raka signálního v rámci ČR objevit na lokalitách v okolí Velkého Meziříčí, Kroměříže, Domažlic a v povodí řeky Blanice (Policar a Kozák, 2000; Policar a Kozák, 2005). V rámci Evropy je tento nepůvodní druh rozšířen především na Britských ostrovech, ve Švédsku, Finsku, Španělsku a ve střední Evropě (obr. 6) (Holdich *et al.*, 2006). Pöckl *et al.* (2006) udává jeho výskyt ve 24 zemích Evropy.



Obr. 6: Výskyt raka signálního v Evropě (Holdich *et al.*, 2006).

Rak signální se obvykle dožívá věku 4 až 8 let (Abrahamsson, 1971) a podle Flinta (1975) až 11 let. Moderními metodami, které využívají lipofuscin a nervové barvivo spojené s věkem, dokázali (Belchier *et al.*, 1998), že se rak signální může dožít i 16 let.

Tvarem těla, masivností klepet a mohutností tělesného rámce se podobá raku říčnímu. Základní barvou svrchní části těla je středně až tmavě hnědá, ve spodní části je tělo světle hnědě zbarvené. Rak signální má hladký povrch hlavohrudi s dvěma postorbitálními lištami. Rostrum u raka signálního je dlouhé a špičaté, na bázi zúžené bočními trny. Podobně jako rak říční má čtvercový tvar zadní části hlavohrudi (Kozák *et al.*, 1998).

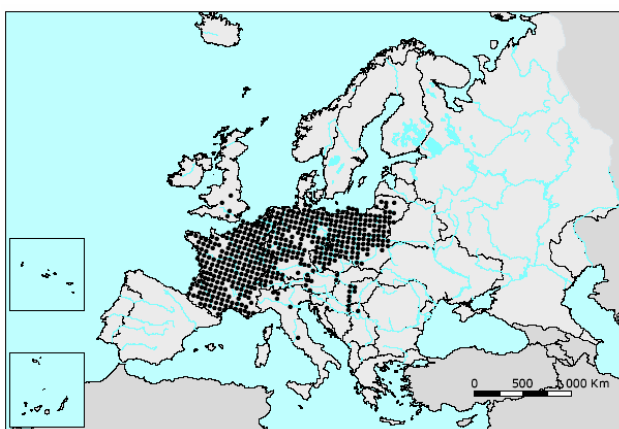
Klepeta jsou velká, široká, mohutná, na povrchu hladká s červenohnědým zbarvením. Nejnápadnějším znakem, který dal raku signálnímu jeho název, je bílý až bělomodrý kloub klepeta (Kozák *et al.*, 1998).

Rak signální dosahuje pohlavní dospělosti ve věku 2 – 3 let ve velikosti 6 až 9 cm (Abrahamsson, 1971; Flint, 1975; Holdich *et al.*, 2006). Maximální velikost, kterou literatura uvádí je u samců 17,1 cm a u samice 14,6 cm (Hogger, 1986).

K páření dochází v září a říjnu při poklesu teploty vody pod 12°C (Mason, 1977). Období líhnutí probíhá od března do poloviny července opět v závislosti na teplotě vody (Holdich *et al.*, 2006). V klimatických podmínkách střední Evropy dochází k líhnutí na konci dubna a začátkem června. Pleopodální plodnost u raka signálního byla pozorována v rozsahu 4 až 242 vajíček (Stucki, 2002).

2.4.5. Rak pruhovaný (*Orconectes limosus* (Rafinesque, 1817))

Tento, na našem území taktéž nepůvodní druh, pochází ze severovýchodní části USA a z oblasti jihovýchodní Kanady (Hamr, 2002). Na evropský kontinent se rak pruhovaný dostal zásluhou Maxe von dem Borneho v roce 1890, a to na území dnešního Polska (Kossakowski, 1966). V průběhu 20. století následovala celá řada dalších importů jako např. do Francie (1911 – 1913), Rakouska (1969), Švýcarska (1973), Maďarska (1959) (Holdich *et al.*, 2006). Odtud se rak pruhovaný dostal přirozenou migrací, či záměrným vysazením do dalších států Evropy včetně České republiky. První zmínku o výskytu raka pruhovaného na našem území uvádí Hajer (1989) v Labi u Ústí nad Labem v roce 1988. Avšak novější literatura uvádí velmi pravděpodobný výskyt raka v Labi ve Štětí již v 60. letech 20. století (Petrušek *et al.*, 2006). Podle Kozáka *et al.* (2004) je tento druh v současné době rozšířen převážně v Labi od Děčína až po Hradec Králové, dále pak ve Vltavě po České Budějovice, v Berounce u Plzně, a přítocích zmíněných řek. Do roku 2005 dokázal rak pruhovaný osídlit více než 20 evropských zemí (Pöckl *et al.*, 2006).



Obř. 7: Výskyt raka pruhovaného v Evropě (Holdich *et al.*, 2006).

Rak pruhovaný dosahuje oproti jiným druhům raků, vyskytujících se na našem území, menších rozměrů (Kozák *et al.*, 1998). Maximální délka těla je pro tento druh uváděna do 120 mm (Pöckl *et al.*, 2006).

Typické pro raka pruhovaného je jeho světle až středně hnědé zbarvení těla s charakteristickými tmavě hnědými pruhy na ocasních člancích (Hamr, 2002). Rak pruhovaný se odlišuje od ostatních raků především bočními trny na hlavohruďi před týlní rýhou a těsně za ní, jedním párem postorbitálních lišt a dlouhým, ostrým rostrem se dvěma

ostrými trny (Kozák *et al.*, 1998). Klepeta jsou malá, hladká, z části obrvená, s nevýrazným kloubem (Hamr, 2002).

Tento druh vykazuje, na rozdíl od našich původních druhů, charakteristiky r-stratégů. To se vyznačuje časnou pohlavní zralostí (ve dvou letech) (Lindquist & Huner., 1999), rychlým růstem (Westman *et al.*, 1995), velkým množstvím malých vajíček (až 400) (Stucki, 2002), malou velikostí těla a krátkým životním cyklem (4 roky) (Pöckl *et al.*, 2006).

Rak pruhovaný je v rámci evropských druhů specifický svou dobou páření, která probíhá na rozdíl od jiných druhů již od konce srpna až do začátku dubna (Stucki, 2002). Hamr (2002) uvádí, že ke kladení vajíček dochází u raka pruhovaného od března do května. Ve Švýcarsku se juvenilní raci líhnou na konci května a začátkem června (Stucki, 2002).

2.5. Růst

Životní cyklus raků je tvořen sériemi svlékání a obdobími mezi jednotlivými svlékáními. Růst je potom určen jako součin přírůstku délky za období mezi svlékáním a počtem svlékání za určité období (Skurdal & Taugbøl, 1994). Zatímco vnitřní fyziologický růst je nepřetržitý, rychlé zvýšení hmotnosti a délky těla nastane jen v období svlékání (Jussila & Evans, 1996). Přírůstek mezi jednotlivými svlékáními je proměnlivý a v kombinaci s počtem svlékání dělá analýzu růstu raka velmi komplikovanou (Skurdal & Taugbøl, 1994). Značné mezidruhové rozdíly jsou typické pro korýše jako takové, stejně jako odlišné tempo růstu jednotlivců uvnitř druhu. Počet svlékání a přírůstek po svlékání je ovlivněn celou řadou faktorů. Jedná se o faktory abiotické (teplota, fotoperioda, zeměpisná šířka, chemismus vody atd.) a biotické (hustota populace, potrava, substrát, predace) (Aiken & Waddy, 1992). Obecně lze říci, že tempo růstu se s postupujícím věkem snižuje, obdobně jako se snižuje frekvence svlékání a procentuální přírůstek (Abrahamsson, 1966; Holdich & Lowery, 1988; Aiken & Waddy, 1992).

Růst korýšů může být buď izometrický (typický pro juvenilní stádia), nebo alometrický, kde některá část těla roste rychleji. Izometrický růst lze popsat jako stav, kdy vzhledem k poměru celého těla rostou jednotlivé části stejně rychle na rozdíl od alometrického růstu, při kterém dochází v období dosažení pohlavní dospělosti u samců k rychlejšímu růstu klepet a u samic k zvýšení šíře zadečku (Reynolds, 2002). U raků je

alometrický růst zadečku u samic a klepet u samců jedním ze sekundárních znaků pohlavního dimorfismu (Rhodes & Holdich, 1979). Rozdílů v růstu sameců a samic se využívá pro komerční účely, kde se zohledňuje ten fakt, že samci mají oproti samicím více masa v klepetech, a naopak samice mají více masa v abdomenu než samci (Rhodes & Holdich, 1979).

U některých druhů z čeledi *Cambaridae* dochází při svlékání k cyklickým změnám formy růstu z alometrického na izometrický a naopak. Tato růstová strategie je popisována pro endemické mexické raky *Procambarus digueti* a *Procambarus bouvieri*, u kterých se izometrický růst vyskytuje v chladném období a alometrický růst v teplém období roku (Gutierrez – Yurrita & Latournerie – Cervera, 1999 In: Reynolds, 2002).

2.5.1. Metody odhadu stáří a rychlosti růstu

2.5.1.1. Metody odhadu stáří

Problém určení stáří u bezobratlých spočívá v chybějících tvrdých částech těla, pomocí nichž by se dalo jednoduše určit stáří nalezených jedinců. Vzhledem k problematickému určení stáří lze obtížně určit i přírůstky v jednotlivých stádiích růstu (Reynolds, 2002).

Literatura uvádí několik možných způsobů, jak určit stáří sledovaných jedinců. Např. u mořského korýše *Homarus gamarus* se věk odhadoval pomocí délky tykadel. Tento způsob se jeví jako málo důvěryhodný, jelikož délka tykadel se mění spíše s velikostí raka, než s věkem (Reynolds, 2002). Pro určení kratších časových úseků (období svlékání) lze využít měření rozkladu radioaktivních nuklidů (thorium 228 nebo rádium 228) nebo změny procentuálního obsahu RNA (Sheehy & Wickins, 1994). Další z moderních metod odhadu stáří je měření lipofuscinových zrníček v nervových tkáních. Metoda byla vyzkoušena pro různé druhy desetinožců včetně raků (Vila *et al.*, 2000). Lipofuscin je všudypřítomný pigment podílející se na stárnutí pokožky, který se hromadí v těle během průběhu celého života (Sheehy & Wickins, 1994).

2.5.1.2. Metody hodnocení růstu

Raci zvětšují svoji velikost hned po svlečení exoskeletu. Růst raků je obecně charakterizovaný pomocí rozměrů krunýře. Nejčastěji používanými parametry jsou délka těla (od špičky rostra po konec telsonu), délka hlavohruď (od špičky rostra po zadní okraj hlavohruď), postorbitální délka hlavohruď (od očního důlku po zadní okraj hlavohruď), a dále hmotnost raků (Reynolds, 2002).

K hodnocení růstu se využívají nejčastěji tyto ukazatele:

1) **Specifická rychlost růstu (SGR):** $SGR = (\ln(W_t) - \ln(W_i)) * 100/T$

kde W_t = okamžitá hmotnost (g), W_i = počáteční hmotnost (g), T = čas (dny) (Lowery, 1988).

2) **Přírůstek hmotnosti za svlékání (Wm):** $W_m = (W_a - W_b) * 100/W_b$

kde W_a = hmotnost před svlékáním (g), W_b = hmotnost po svlékání (g), W_m = (%) (Lowery, 1988).

3) **Roční přírůstek hmotnosti (g):** $g = \log_e W_t / W_o$

kde W_t = hmotnost na konci 12 měsíční periody (g), W_o = hmotnost na začátku roku (g) (Brewis & Bowler, 1982 In: Reynolds, 2002)

2.5.2. Environmentální faktory ovlivňující růst

Potrava, teplota a hustota populace jsou jedněmi z nejvýznamnějších environmentálních faktorů ovlivňujících celý životní cyklus korýšů, avšak jejich účinek na růst a svlékání není vždy stejný (Aiken & Waddy, 1992). Reynolds (2002) uvádí, že kromě již výše zmiňovaných faktorů působí na růst i celá řada jiných vlivů (pH, obsah rozpuštěných látek, výživný stav aj.). Autoři nejčastěji rozdělují environmentální faktory na dvě základní skupiny, a to na faktory abiotické a faktory biotické.

2.5.2.1. Faktory abiotické

Teplota a zeměpisná šířka

Vhodná teplota je základním předpokladem pro optimální růst všech organismů na Zemi. U raků hraje teplota významnou roli při příjmu potravy (Söderbäck *et al.*, 1987), přežití (Mason, 1978), reprodukci (Cukerzis *et al.*, 1978) a má vliv také na rychlost a počet svlékání (Jussila & Evans, 1996; Ackefors *et al.*, 1995). Rak je schopen přirůstat jen pokud teplota vody překročí spodní hranici potřebnou pro jeho růst. Hranice výše uvedené

teploty, stejně jako rozmezí optimálních teplot, je druhově specifická. Např. Ackefors *et al.* (1989) uvádí, že u raka říčního se růst a svlékání zastavuje na podzim při poklesu teplot pod 10°C. Za horní letální hranici teploty vody se považuje překročení 33°C. Spodní letální hranice je 0°C (Svobodová, 1987). Optimální hranice teplot pro raka říčního je 16 – 19°C (Svobodová, 1987). Holdich *et al.*, (2006) uvádí pro tento druh rozpětí 16 – 24°C. Pro raka kamenáče lze za optimální teplotu vody považovat 14 – 18°C, pro raka bahenního 23 – 26°C (Kozák *et al.*, 1998). Pro raka signálního literatura uvádí podobné teplotní nároky jako pro raka říčního (Firkins & Holdich, 1993). Rak pruhovaný má teplotní optimum na úrovni 20°C a více (Kozák *et al.*, 1998). Při nižších teplotách vody dochází ke zpomalení příjmu potravy a tím pádem i k nižším přírůstkům. Naopak pohybuje-li se teplota vody v rozmezí optimálních teplot, je vliv teploty oproti jiným faktorům nižší. Náhlé kolísání teplot během roku a hodnoty přesahující teplotní optimum mohou vést ke zpoždění svlékání a v krajním případě až ke smrti jedince (Jussila & Evans, 1996). Aiken & Waddy (1992) uvádějí, že raci při vyšších teplotách využívají úkryty a chladnější místa v nižších partiích nádrže. Vyšší teploty mají pozitivní vliv na častější svlékání během roku. Tato zdánlivá výhoda může být však získána na úkor nižšího přežití (Lowery, 1988). Tuto skutečnost potvrzuje i pokus provedený Masonem (1978), který zjistil při kultivaci raka signálního v teplotách 21°C, 18°C a 15°C, že největší počet svlékání (růst) byl získán při teplotě 21°C, ale přežití bylo daleko větší při teplotě 15°C. Autor dále uvádí vliv teploty na hustotu obsádky, kdy největší hustoty bylo dosaženo při teplotě vody 18°C. U raka říčního je maximální produkce biomasy dosahováno při teplotě 17 – 21°C (Jussila, 1997).

Teplota vody velmi významně ovlivňuje také reprodukční cyklus. Jedná se především o stimulaci dozrávání oocytů ve vaječnicích během období před pářením (Taugbøl *et al.*, 1987), kdy na některých lokalitách s nižší teplotou vody mohou *oocyty* dozrávat jen jednou za dva roky (Pursiainen *et al.*, 1987). Dále je to vliv na samotné páření, při kterém hraje teplota významnou roli. U raka bahenního probíhá páření např. ve Švýcarsku při teplotách 3,5 – 6°C (Stucki, 1999), oproti 7 – 8°C v Turecku (Köksal, 1988). Rak říční je schopen páření při teplotě vody nižší než 11°C (Westin & Gydemo, 1986). Z práce Hunera & Lindqvista (1986b) lze obecně usoudit, že u raků pářících se při nižších teplotách je období páření kratší a naopak.

Cukersiz *et al.* (1978), Celeda *et al.* (1988) popisují vliv teploty na délku inkubace vajíček raků. Při inkubaci vajíček období nízkých teplot negativně ovlivňuje vývoj embrya

a plodnost samic. Avšak Taugbøl & Skurdal (1995a) uvádějí, že období tzv. diapauzy, které nastává u raka říčního při teplotách vody 5 – 6°C, se zdá být důležité pro přežití vajíček a juvenilních jedinců, ale není nezbytné pro vývoj embrya. Období diapauzy slouží v přírodních podmínkách jako regulátor pro synchronizaci embryogeneze.

Zvyšující se nadmořská výška má negativní vliv na teplotu a tím pádem i na růst raků (Lowery, 1988). Obecně lze říci, že raci žijící v nižších nadmořských výškách, popř. jižních zeměpisných šířkách rychleji rostou a dosahují větších rozměrů a naopak. Vztahy mezi zeměpisnou šířkou, teplotou a růstem mohou být však daleko komplikovanější. V severních oblastech, kde teplota vody klesá k 0°C, raci pozastavují svůj růst, jako např. u druhu *Orconectes virilis* až po dobu několika měsíců. Je zajímavé, že v jižních oblastech se tento fenomén projevuje ve stejném efektu během letních tropických dnů, kdy příliš vysoká teplota vody nutí raky k zalézání do úkrytů, raci přestávají přijímat potravu a tím pádem omezují i svůj růst. Raci v Jižní Americe inklinují k růstu od podzimu do jara, v létě svůj růst omezují, kdežto ti v Severní Americe rostou od jara do podzimu, ale ne během chladné zimní periody (Aiken & Waddy, 1992).

Fotoperioda

Teplota vody má hlavní vliv převážně na metabolické procesy uvnitř těla raků, kdežto efekty světelného režimu jsou více specifické. Mohou mít na růst raků jak přímý, tak i nepřímý vliv. Fotoperioda přímo působí na nervovou soustavu a řídí cyklus svlékání. Světelná intenzita pak může ovlivňovat růst raků nepřímo, např. ovlivněním chování či potravní aktivity raků (Aiken & Waddy, 1992). Dlouhý světelný režim během dne působí pozitivně na počet svlékání, ale podmínky stálého světla, popřípadě tmy, mají spíše negativní charakter. Podmínky stálé tmy se zdají jako vhodné pro cyklus svlékání u juvenilních raků z rodu *Cambarus*, a naopak inhibují svlékání u rodu *Orconectes* (Stephens, 1952). Raci chovaní v příznivých teplotách a dlouhém světelném režimu vykazovali kontinuální cyklus svlékání dokonce i během období, při kterém normálně ke svlékání nedochází. U těch, kteří byli drženi v normálních podmínkách, se svlékání mimo sezonu nevyskytlo (Aiken, 1969). Tyto studie potvrzují vliv světelných podmínek na sezónní načasování svlékání (Aiken & Waddy, 1992).

Sezónnost

Svlékání u většiny druhů nastává nejčastěji v období optimálních teplot, nebo v rozmezí teplot tomuto období velmi blízkých. Toto období může být u některých druhů velmi krátké. Platí to především pro druhy obývající severní oblasti jako je *Orconectes virilis*. Druhy žijící v teplejších oblastech nejsou natolik ovlivněny extrémními vlivy teploty vody jako druhy severské a tropické, a proto jejich svlékání probíhá během větší části roku (Aiken & Waddy, 1992). Pravidelné střídání zimního a letního období pozitivně ovlivňuje mimo jiné i plodnost samic jednotlivých druhů raků (Taugbøl & Skurdal, 1995a). Základní snahou všech korýšů je načasovat období líhnutí, popřípadě svlékání, do co možná nejvhodnějších životních podmínek během roku a vyvarovat se tak zbytečným ztrátám na vajíčkách nebo juvenilních stádiích (Aiken & Waddy, 1992).

Chemické složení vody

Z hlediska chemismu vody raka nejvíce ovlivňuje obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě, pH, obsah organických a cizorodých látek. Nároky na kyslík se u raků mění s věkem, hmotností, aktivitou a pohlavím (Svobodová, 1987). Literatura uvádí jako optimální rozpětí obsahu kyslíku pro raka říčního od 5,4 do 9,1 mg.l⁻¹. Aiken & Waddy (1992) označují obsah kyslíku jako limitující faktor pro růst a přežití jednotlivých druhů raků. Obecně lze říci, že vyšší obsah kyslíku má vliv na vyšší potravní aktivitu a tedy i na růst. Naopak nízké hodnoty rozpuštěného kyslíku vedou ke snížení frekvence svlékání a nižším přírůstkům (Jussila & Evans, 1996).

Růst raka a jeho přežití je závislé na obsahu rozpuštěných iontů ve vodě (především Ca²⁺ a Mg²⁺). Měkká voda způsobuje u korýšů změknutí jednotlivých vrstev krunýře. Optimální množství vápenatých a hořečnatých iontů ve vodě je pro raka *Procambarus clarkii* 100 – 150 mg/l⁻¹. Huner *et al.* (1988) uvádí, že našel velkou populaci raků v rybníku s tvrdostí vody na úrovni 5 – 15 mg/l⁻¹. U raka říčního nebyl prokázán negativní vliv koncentrace vápníku na úrovni 12 mg/l⁻¹. U raka *Austropotamobius pallipes* se uvádí, že ke ztvrdnutí exoskeletu nemůže dojít ve vodách s obsahem vápníku pod 2,8 mg/l⁻¹ (Aiken & Waddy, 1992). Jako minimální hranice obsahu vápníku, kdy jsou schopni raci rodů *Orconectes* a *Astacus* ještě přirůstat lze považovat 2 mg/l⁻¹ (Jussila *et al.*, 1995).

Dalším faktorem, který ovlivňuje růst, svlékání (Aiken & Waddy, 1992), inkubaci vajíček a raný embryonální vývoj raků je pH (Appelberg, 1986). Pro druhy žijící na našem

území lze za optimální hranici pH považovat hodnoty pohybující se v rozmezí 7 – 8,7 (Svobodová, 1987). Nyström (2002) uvádí, že na většinu raků působí negativně pH pod 5,5. Dospělí raci jsou oproti juvenilním ráčatům v období mezi svlékáním odolnější vůči nižším hodnotám pH (Morgan & McMahon, 1982). Při nízkých hodnotách pH dochází u raků k redukci kalcifikace krunýře, k vyšší citlivosti vůči různým typům onemocnění a k vyššímu predačnímu tlaku z důvodu snadnější kořisti. (France, 1983). U většiny druhů ovlivňuje pH také příjem a absorpci vápníku (Ca^+) (Malley & Chang, 1985). Např. u druhu *Orconectes virilis* je příjem vápníku snížen po svlékání při $\text{pH} < 5,75$ a úplně zastaven při pH pod 4,0 (Morgan & McMahon, 1982).

Aiken & Waddy (1992) uvádí negativní vliv kontaminujících látek (fenolů, pesticidů, PCB, rtuti, kadmia, zinku a různých pesticidů) na snížení růstu a snížení frekvence svlékání, při vyšších koncentracích těchto cizorodých látek ve vodním prostředí často dochází až ke smrti jedince.

2.5.2.2. Faktory biotické

Hustota populace

Již bylo mnohokrát prokázáno, že hustota obsádky má vliv na růst a reprodukci u celé řady suchozemských i vodních živočichů. Hustota populace u raků ovlivňuje nejvíce aktivitu, růst, přežití a svlékání během roku (Lowery, 1988). Aiken & Waddy (1992) jsou toho názoru, že vlivem vysoké hustoty populace dochází např. k nedostatku úkrytů, vhodného substrátu, zdrojů potravy, a v některých případech může dojít i ke zhoršení některých parametrů kvality vody, jako je obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě. Vysoká hustota račí populace má za následek i nižší tempo růstu a nižší míru přežití, a to především u juvenilních stádií (Cukerzis *et al.*, 1977). V přírodních podmínkách bylo zjištěno, že přítomnost velkých sameců v populaci raka *Orconectes virilis* vedla ke zpomalení růstu samic a menších raků (Momot *et al.*, 1978).

Potrava

Raky lze obecně charakterizovat jako všežravce s vyšším procentuálním zastoupením rostlinné složky v jejich potravě (Krupauer, 1981). Cukerzis (1989) při analýzách obsahu žaludku dospělých raků říčních zjistil 84,8 % zastoupení rostlinné složky a 15,2 % zastoupení živočišné složky. Co se týče druhového zastoupení, tak

z rostlin je to převážně růžkatec, rdest, rákos, parožnatky, leknín a vláknité zelené řasy. Z živočichů byli nejvýznamnější měkkýši, ryby, červi, pakomáři a vývojová stádia hmyzu. Složení potravy se mění v průběhu života, kdy je závislé na svlékání a rozmnožování raků. V tomto období raci preferují potravu s vyšším podílem živočišné složky (až 50%) a v období před svlékáním se projevuje i určitá inklinace k rostlinám obsahujícím více vápníku (např. lístky a lodyhy parožnatky, růžkatce a vodního moru) (Cukerzis, 1989).

Potrava, jako zdroj energie, má vliv především na rychlost růstu, pohlavní zralost, svlékání a úspěšnou reprodukci (Abrahamsson, 1971). Množství přijaté potravy nejvíce ovlivňuje teplota vody a obsah rozpuštěného kyslíku (Söderbäck, 1987).

Příjem potravy u raků bezprostředně souvisí s jeho pohybovou aktivitou. U raka říčního bylo zjištěno, že přijímá potravu převážně v noci, a to v časovém úseku zpravidla mezi 23. až 3. hodinou. U raka bahenního byla zjištěna potravní aktivita nejen v noci mezi 22. až 5. hodinou, ale i ve dne mezi 10. a 11. hodinou (Krupauer, 1981). Lozan (2000) ve své srovnávací studii zjistil, že americké druhy jsou více aktivní ve dne než evropské. Denní aktivita *P. leniusculus* činila 33 % a *O. limosus* 22 % oproti aktivitě *A. astacus* 12 % a *A. leptodactylus* 16 % z celkové 24-hodinové aktivity.

Denní spotřeba potravy v přepočtu na hmotnost těla se pohybuje u pohlavně dospělých jedinců kolem 0,3 až 4 %, u juvenilních raků od 1 do 4 % (Cukerzis, 1989). Ackefors *et al.* (1992) provedli sérii pokusů s experimentální výživou raka říčního, při které zjistili, že raci vykazovali nejvyšší růst u krmiv s 40 % proteinů a nízkým obsahem tuku (5 %). U krmiv s 31 % proteinu, vysokým obsahem uhlohydrátů (16,6 %) a nízkým obsahem tuku (5 %) byl růst uspokojivý. Při zvýšení obsahu tuku na 10 % a snížení obsahu proteinu na 22 % bylo tempo růstu pomalé. Optimální poměr bílkovin a energie byl stanoven u juvenilních stádií raka říčního na 115 – 125 mg/kcal (Ackefors *et al.*, 1992).

Lokalita a substrát

Typ lokality a charakter substrátu můžeme zařadit mezi další významné biotické vlivy ovlivňující způsob života všech druhů živočichů. Pro růst a přežití juvenilních stádií je především nezbytný v přírodních habitatech velký počet úkrytů (kořeny stromů, kameny a vodní makrovegetace). Při úbytku výskytu vodních rostlin dochází ke snížení růstu raků a ke zvýšení agresivity a konkurence mezi raky (Aiken & Waddy, 1992).

2.6. Studie růstu

V současné literatuře je jen velmi málo zdrojů, které by se zabývaly problematikou svlékání a růstu raků v jednotlivých vývojových stádiích. Nejčastěji popisovaným druhem raka je rak říční a rak signální. Jen velmi malá pozornost je věnována popisu raka kamenáče, bahenního a pruhovaného, u nichž se literatura omezuje většinou na popsání růstu jen v období pohlavní dospělosti.

2.6.1. Rak říční

Studiemi rychlosti růstu u raka říčního se v minulosti zabývala celá řada autorů: Abrahamsson (1966, 1971, 1972), Cukerzis (1988), Appelberg (1986), Westman (1991), Westman (2000), Gydemo (1989), Taugbøl & Skurdal (1995b), Skurdal & Taugbol (2002), Policar *et al.* (2004), Kozák *et al.* (in press).

První vývojové stádium u raka říčního trvá nejčastěji 5 – 7 dní a vylíhlá ráčata jsou přichycena pomocí háčků na pleopodech samice (Skurdal & Taugbol, 2002). Vylíhlá ráčata měří 8,5 – 9 mm a váží 20 mg (Cukerzis, 1988). Ráčata ve druhém vývojovém stádiu přecházejí na exogenní výživu, opouštějí pleopody samice a začínají se již pohybovat v její těsné blízkosti. Mukhammar *et al.* (1989) uvádějí v tomto období významný vliv hormonů produkovaných samicí, díky nimž ráčata rozpoznají vlastní matku. Autoři ve svém pokusu dále zjistili, že se u samic, které během období líhnutí nenesly vlastní mláďata, projevuje kanibalistické chování daleko dříve než u samic s ráčaty.

Délka ráčat ve druhém vývojovém stádiu se pohybuje okolo 12 mm. Juvenilové v tomto stádiu váží okolo 40 mg (Gydemo, 1989). Druhé svlékání následuje po 13 až 21 dnech. Rak ve věku 3 týdnů se již plně podobá dospělci a žije samotářským způsobem života. Jeho délka těla nepřesahuje 15 mm a váha 50 mg. Ve čtvrtém stádiu měří 14 – 15 mm a váží v průměru 70 mg, v pátém 17 mm a 130 mg a v šestém měří 20 mm a váží až 180 mg (Cukerzis, 1988). Abrahamson (1966, 1971, 1972) uvádí, že růstový potenciál juvenilního raka říčního, určený frekvenční délkovou analýzou, se na konci prvního roku (0+) pohybuje okolo 12 – 23 mm, ve druhém roce (1+) 25 – 48 mm, ve třetím roce (2+) 50 – 70 mm, ve čtvrtém roce (3+) 60 – 80 mm. Nicméně Gydemo (1989) uvádí, že za příznivých životních podmínek není výjimkou výskyt raků říčních ve věku čtyř let (3+) větších než 95 mm. Westman *et al.* (1993a) ve své studii porovnával růst raka říčního

s rakem signálním v průběhu tří vegetačních sezón. Na konci první vegetační sezóny (0+) měřil rak říční v průměru 21 mm a rak signální 30 mm, ve druhém roce (1+) se rak říční pohyboval v rozmezí 36,6 mm až 48,0 mm a rak signální v rozmezí 61 mm až 62,2 mm, ve třetím roce (2+) dosáhla délka u raka říčního 63 mm oproti 93 mm u raka signálního. Z toho vyplývá, že rak signální, díky svému rychlejšímu růstu, je schopen dosáhnout délky 90 mm o celou jednu vegetační sezónu dříve než rak říční.

Za dobu první vegetační sezóny se rak říční (0+) může svléknout v závislosti na zeměpisné šířce celkem šestkrát (Ackefors *et al.*, 1995) či osmkrát (Skurdal & Taugbol, 1994). V dalších letech se frekvence svlékání snižuje, a to tak, že ve druhém roce se rak říční (1+) svléká maximálně čtyři až pětkrát, ve třetím roce (2+) dvakrát (Skurdal & Taugbol, 1994). V následujících letech dochází u samců ke dvěma svlékáním během roku, zatímco samice se svlékají jen jedenkrát do roka, a to v období po osamostatnění ráčat (Gydemo, 1989).

Přírůstek dospělých raků při svlékání je závislý na pohlaví. U samic raka říčního se přírůstek pohybuje okolo 2 – 8,6 mm po jednom svlékání, zatímco u samců je přírůstek po svlečení 5 – 10,3 mm (Skurdal & Taugbol, 2002).

Samci vlivem častějšího svlékání rostou rychleji než samice. Tento fakt potvrzuje např. Hentonen *et al.* (1993), v jejichž pokusech se délka samic pohybovala po 17 měsících odchovu mezi 17,9 až 25,6 mm. Odpovídající hodnoty pro samce byly na úrovni 19,7 až 29,1 mm. Ackefors *et al.* (1995) však nezjistili 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 až po 6 a 9 měsících odchovu.

Výsledky jednotlivých pokusů jsou jen velmi těžko srovnatelné, jelikož každý z autorů používal ve svém pokusu jiné metodiky. Při srovnávání tempa růstu je nutné brát v potaz tyto faktory: teplota, výživa, velikost odchovné nádrže, užívaná metoda (individuální nebo společný chov) a hustota obsádky. Např. Goyert & Avault (1978) prokázali, že tempo růstu bylo pomalejší v menších nádržích. Jako další příklad lze uvést vliv hustoty populace, který potvrdil Ackefors *et al.* (1989, 1994). Individuální způsob chovu představoval pro jedince stres, který zapříčinil pomalejší tempo růstu, zatímco společný chov byl pro chované jedince přijatelnější. Při hodnocení tempa růstu však také nelze opomenout genetický potenciál testovaných jedinců (Ackefors *et al.*, 1995).

2.6.2. Rak signální

Problematikou stanovení tempa růstu se u raka signálního doposud zabývali především: Abrahamsson (1971), Kossakowski & Kossakowski (1979), Cukerzis *et al.* (1978), Westman *et al.* (1993a).

Flint (1975) uvádí, že rak signální se dožívá ve vhodných lokalitách věku 11 let. Nicméně podle nových metod určujících stáří raků (metoda lipofuscinových zrníček) je schopen se dožít věku až 16 let (Belchier *et al.*, 1998).

Lowery (1988) uvádí, že rak signální je nejrychleji rostoucím druhem sladkovodního raka v podmínkách severního mírného pásu. Tento druh je podle údajů z Britských ostrovů a ze Švédska schopen během tří let dosáhnout délky 10 cm. Některé ze samic raka signálního již na konci druhé vegetační sezóny (1+) měřily více než 70 mm. Samci ve stejném období mohou dosahovat délky více než 80 mm. Pro zajímavost lze uvést, že u raka říčního dosažení stejné délky trvá dvakrát déle (Westman *et al.*, 1993).

Velikost při pohlavním dospívání je různá mezi populacemi. Nejmenší velikost při pohlavním dospívání v různých populacích byla zjištěna 25 – 36 mm délky hlavohrudi (Abrahamsson a Goldman, 1970; Westman a Savolainen, 1995) a největší 33 – 47 mm délky hlavohrudi (Abrahamsson a Goldman, 1970).

Během prvního roku života se rak signální (0+) svleče podle Cukerzise *et al.* (1978) osm až devětkrát. Mason (1963) je toho názoru, že v příznivých životních podmínkách to může být i jedenáctkrát ročně. Ve druhém roce (1+) počet svlékání poklesne a ve věku 3 let (2+) se raci svlékají obvykle dvakrát. Od čtvrtého roku se raci omezí pouze na jedno svlečení ročně (Shimizu & Goldman, 1983).

Z výše uvedeného vyplývá, že rak signální během prvního roku života projde průměrně 10 vývojovými stádii.

Na konci první vegetační sezóny (0+) měří rak signální v průměru 30 mm, ve druhém roce (1+) dosahuje délky 61 mm, a ve třetím roce (2+) 93 mm (Westman *et al.*, 1993a).

Přírůstek dospělých raků při svlékání se pohybuje průměrně okolo 10,8 mm pro samce po jednom svlečení, zatímco u samic je přírůstek po svlečení nižší, v průměru 9,8 mm (Westman *et al.*, 1993a).

2.6.3. Rak pruhovaný

Jedna z mála informací týkající se růstu raka pruhovaného v prvním roce života pochází od Andrewse (1907). Tento autor zjistil, že na konci první vegetační sezóny jsou u juvenilů raka pruhovaného velké velikostní rozdíly. Velikostní rozpětí se pohybovalo od 23 do 63 mm. Talbot (1985) uvádí, že juvenilní raci pruhovaní po osamostatnění od samice (ve třetím vývojovém stádiu) mají délku hlavohrudi 4 mm, a před koncem první vegetační sezóny (listopad) jejich délka hlavohrudi (carapaxu) přesahuje i hranici 27 mm. Hlavohrud' jednoročního raka pruhovaného (0+) dosahuje v průměru délky kolem 35 mm, zatímco dvouletí raci měří kolem 50 mm (Talbot, 1985). Nejrozsáhlejší studii růstu raka pruhovaného provedl Pieplow (1938), který uvádí rychlost růstu v těchto růstových relacích: po prvním roce života (0+) 40 – 65 mm,
po druhém roce života (1+) 65 – 80 mm,
po třetím roce života (2+) 80 – 95 mm,
po čtvrtém roce života (3+) 95 – 110 mm,
po pátém roce života (4+) nad 110 mm.

Porovnáním rychlosti růstu raka pruhovaného a raka říčního se zabývali např. Kozák *et al.* (in press). Jejich pokus byl založen na odchovu ráčat raka říčního a raka pruhovaného od 2. vývojového stádia resp. 3. vývojového stádia (osamostatnění od samic) do konce vegetační sezóny (4 měsíce). Raci byli odchováni jednak každý druh samostatně a dále ve společné obsádce při poměru 1:1. Z výsledků jejich pokusů vyplývá, že 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 přežití a také vyšší vnitrodruhový kanibalismus raka pruhovaného. Dále bylo zjištěno, že rak pruhovaný roste v prvním roce života rychleji než rak říční. Ačkoliv je po vylíhnutí mnohem menší, velikost obou druhů se vyrovnala 11 týdnů po vylíhnutí (8 týdnů odchovu). V tomto pokusu dosáhl rak pruhovaný na konci vegetační sezóny (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).

Rak pruhovaný je druhem krátkověkým, dožívá se maximálně 4 let (Momot, 1988). Největší exempláře tohoto druhu dosahují délky těla bez klepet cca 100 mm (Kozák *et al.*, 1998), ale podařilo se odlovit i samici raka pruhovaného o velikosti 117 mm a hmotnosti 50 g (Kozák, ústní sdělení).

Pohlavní dospělosti dosahuje rak pruhovaný v porovnání s ostatními evropskými druhy mnohem rychleji a to již ve druhém roce života (1+) (Stucki, 2002). Pro zajímavost lze uvést, že u blízkého příbuzného *Orconectes ozarkae* bylo zjištěno, že 63% samců a 55% samic je pohlavně dospělých již během prvního roku života (Muck *et al.*, 2002). Westman *et al.* (1995) uvádí, že rak pruhovaný dosahuje dospělosti v druhém roce při délce hlavohrudi 25-35 mm (stáří 1+) a průměrná délka života je dva roky.

2.6.4. Rak bahenní

Studiem rychlosti růstu raka bahenního se převážně zabývali autoři, v jejichž zemi je rak bahenní původním druhem (Rusko, Bělorusko, Ukrajina, Turecko). Růst raka bahenního v prvním roce života je popisován několika autory: Cherkasina (1977), Vigneux (1978), Alekhovich *et al.* (1999). Podle těchto studií, které probíhaly převážně v nádržích rybničního typu, lze vyjádřit rychlost růstu juvenilních raků bahenních po jednom roce života v rozsahu od 47 do 72 mm. Stucki (1999) však ve dvou jezerech ve Švýcarsku pozoroval populaci raka bahenního ve stáří jednoho roku (0+) měřící v průměru jen 19,5 mm (délka hlavohrudi) resp. 40 mm (celková délka těla). Alekhovich (1999) zaznamenal ve svém pokusu v Bělorusku raky ještě menších rozměrů. Průměrná délka sledovaných jedinců činila $31 \pm 3,0$ mm a hmotnost $856,1 \pm 253,2$ mg. Tento údaj potvrzuje, že rychlost růstu je ovlivněna nejen během prvního roku života, ale i v dalších letech mnoha faktory, jako například teplotou a kvalitou vody, potravní nabídkou a hustotou obsádky (Westman *et al.*, 1995).

Obecně lze říci, že rak bahenní je rychle rostoucím druhem raka, který je schopen dosáhnout během prvního roku života (0+) délky 38 – 45 mm v Polsku, 35 – 55 mm ve Francii, 67 – 73 mm v Bělorusku a 75 mm v jižním Rusku. Ve třetím roce života (2+) dosahuje v průměru 85 – 98 mm v Polsku, 96 – 112 mm ve Francii, 105 mm v Bělorusku a 113 mm v řece Volze v Rusku. V pátém roce (4+) se délka raků bahenních pohybovala v řece Volze na úrovni 155 mm (Holdich *et al.*, 2006).

Rak bahenní pohlavně dospívá ve třetím roce (2+) resp. ve čtvrtém roce (3+) života (Holdich *et al.*, 2006). Samice raka bahenního dosahují pohlavní dospělosti v podobné velikosti jako samice raka říčního (Stucki, 2002). V Turecku samice pohlavně dospívají od 80 mm celkové délky těla (Balik *et al.*, 2005). Nejmenší samice, které byly schopny nosit vajíčka, byly pozorovány v Polsku ve velikosti 66 mm (Kossakowski, 1966).

2.6.5. Rak kamenáč

Údajů o růstových schopnostech raka kamenáče je v literatuře velice poskromnu. Tento fakt lze přisuzovat nižšímu hospodářskému významu a omezenému rozšíření, které tento druh řadí z hlediska vědeckých výzkumů k méně zajímavým. Nicméně některé základní údaje týkající se růstu raka kamenáče lze z literatury vyčíst.

Obecně lze říci, že růstové vlastnosti raka kamenáče se v prvním roce života nejvíce podobají růstovému modelu raka říčního (Holdich *et al.*, 2006).

Rak kamenáč se ve vhodných lokalitách dožívá 10 let. Při této délce života dorůstají samci maximálně 98 mm a váží v průměru 51 g, zatímco samice dosahují maximálně 85 mm při hmotnosti okolo 30 g (Streissl & Hödl, 2002). Z výše uvedeného vyplývá, že samci raka kamenáče oproti samicím stejného druhu vykazují v průběhu života daleko vyšší růstový potenciál. Podobné vztahy byly prokázány i u raka signálního (Mason, 1978).

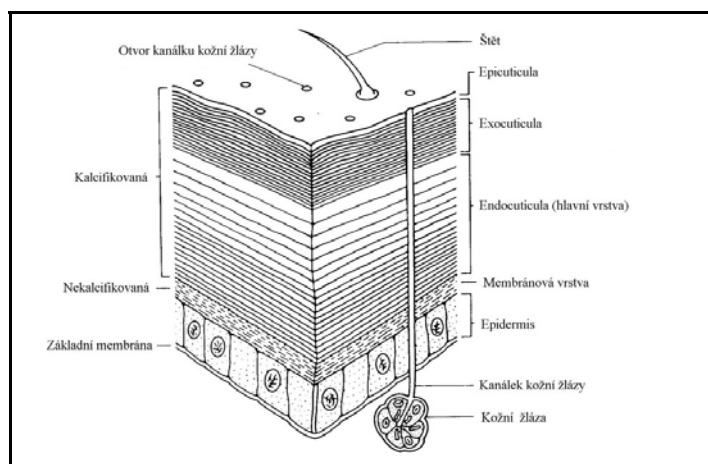
Ve vhodných podmínkách (optimální teplota vody, potrava, hustota atd.) rak kamenáč pohlavně dospívá obvykle po dosažení třetího roku života (Streissl & Hödl, 2002). Za zhoršených životních podmínek se toto období přesouvá mnohdy až na pátý rok života (Holdich *et al.*, 2006). Samice raka kamenáče dosahují pohlavní zralosti ve velikosti mezi 23 – 26 mm délky hlavohrudi (Stucki, 2002), resp. 59 – 65 mm celkové délky těla (Streissl & Hödl, 2002). Oproti tomu samci tohoto druhu jsou pohlavně zralí již ve velikosti 50 mm (Streissl & Hödl, 2002).

2.7. Krunýř

Jedním z klíčových rysů členovců, který jim umožnil ovládnout téměř všechny habitaty světa, je jejich tvrdý, chitinem zpevněný krunýř. Nicméně tato výhoda přináší pro skupinu zvířat vybavených krunýřem i druhou stránku věci, to jest omezení růstu. V okamžiku, kdy je velikost krunýře již nedostačující, nastává jedinečný proces svlékání. Jedná se o unikátní proces, při kterém jsou raci schopni resorbovat minerály z krunýře do útrobních orgánů, a po svlečení je následně vydat pro opětovné zpevnění jejich exoskeletu (Reynolds, 2002).

Krunýř raka je v porovnání s garnátem o stejné velikosti mnohem robustnější a pevnější. Skládá se z tuhé kutikuly a podkožní buněčné vrstvy epidermis (Reynolds, 2002). Lowery (1988) označuje tyto dvě základní části vrstvy jako integument. Integument

(obr. 8) je tvořen pěti rozdílnými vrstvami, které jsou často označovány jako neživá schránka chránící životně důležité orgány (Aiken & Waddy, 1992).



Obr. 8: Příčný řez integumentem raka (převzato Lowery, 1988).

Z hlediska chemického složení obsahuje krunýř 7% fosforečnanu vápenatého, 46,7% chitinu a 46,3% uhličitanu vápenatého (Smolian, 1925). Exoskelet korýšů obsahuje v porovnávání s hmyzem relativně málo lipidů. Obsah chitinu a síla krunýře poskytuje korýšům vysoký stupeň voděodolnosti (Aiken & Waddy, 1992).

2.7.1. Struktura krunýře

Nejsvrchnější kalcifikovanou pokožkovou vrstvou o tloušťce kolem 7 μm , nacházející se na povrchu exokutikuly, je epikutikula (Aiken & Waddy, 1992). U druhu *Orconectes virilis* postrádá epikutikula chitin a vápník, krunýř tohoto raka je tvořen jinými organickými sloučeninami (Travis, 1960). Račí epikutikula obsahuje vnitřní, relativně silnou proteinovou vrstvu, která postupně přechází v tenkou vrstvu lipidů (Van Herp & Bellon – Hubert, 1978). Dřívější literatura uvádí, že povrch epikutikuly nemá charakter destiček, avšak novější studie odhalily destičkovitou strukturu (Aiken & Waddy, 1992). Obdobně jako u ostatních vrstev prochází epikutikulou vertikálně kanálek kožní žlázy o průměru 20 – 25 nm, pomocí něhož dochází k vyživování kožních útvarů na povrchu krunýře (Lowery, 1988).

Druhá, silnější kalcifikovaná vrstva, ležící nad endokutikulou, se nazývá exokutikula. Skládá se z 12 lamel o průměru 3 – 8 μm s celkovou šířkou max. 60 μm . Kostru tvoří šroubovitě uspořádané chitinové mikrofibrily vložené do bílkovinné matice

(Aiken & Waddy, 1992). Koncentrace proteinů je zde dvakrát větší než v ostatních vrstvách. V této vrstvě je také uložena největší část pigmentových buněk (Reynolds, 2002). Kanálek kožní žlázy, obsahující na rozdíl od epikutikuly cytoplazmatické rozšíření, rozvádí vápník a jiné minerály do epi- nebo endokutikuly (Lowery, 1988).

Poslední kalcifikovanou vrstvou, tvořenou vnitřními tenkými plátky a vnějšími tlustými plátky o celkové šířce 160 μm , je endokutikula (Aiken & Waddy, 1992). Jedná se o vrstvu s největším obsahem vápníku. Endokutikula se skládá z horizontálně uspořádaných lupínků chitinoproteinových vláken (Van Herp & Bellon – Hubert, 1978). Asi 87% z organických komponentů představuje chitin, kterého je zde téměř dvakrát více než v předchozí vrstvě (Lowery, 1988).

První, nekalcifikovaná, 10 μm silná vnitřní vrstva, která je v přímém kontaktu s pokožkou, se nazývá membránová vrstva. Celá tato vrstva zaujímá jen asi 6,4% z hmotnosti celého krunýře (Aiken & Waddy, 1992). Membránová vrstva se tvoří jako poslední ve stádiu C4, a naopak u ní dochází jako u první k narušení již ve stádiu D0. Skládá se z 16 nekalcifikovaných lupínků o průměru 0,5 – 0,7 μm , kterými napříč prochází kanálek kožní žlázy (Lowery, 1988).

Poslední vrstvou integumentu je kubický epitel, často nazývaný epidermis. Pod epidermis se ještě nachází vícebuněčné kožní žlázy s kanálky, které vedou až na samý povrch těla (Reynolds, 2002). Dále jsou zde uloženy lipoproteinové buňky, barviva a buňky pojivové tkáně (Van Herp & Bellon – Hubert, 1978). Epidermis je odpovědná za trávení starého, a syntézu, sekreci a mineralizaci nového exoskeletu (Aiken & Waddy, 1992).

2.7.2. Proces výměny krunýře

Rak, jako většina koryšů, tráví velkou část svého života přípravou nebo naopak zotavováním se z procesu svlékání. Svlékání je událost, při které dochází k celé řadě fyziologických, biochemických a v neposlední řadě i anatomických změn (Aiken & Waddy, 1992). Jedná se taktéž o období se specifickým způsobem chování a omezeným způsobem příjmu potravy (Lowery, 1988). Po celou dobu procesu výměny krunýře je hlavním řídicím systémem endokrinní soustava. Činnost endokrinního systému ovlivňují jednak vnitřní faktory (výživný a zdravotní stav), tak i vnější faktory (teplota, fotoperioda, chemické složení vody atd.) (Aiken & Waddy, 1992).

2.7.2.1. Stádia svlékání

Terminologie v oblasti svlékání prošla v průběhu let celou řadou změn. Jeden z prvních, kdo rozpoznal a z části popsal systém svlékání, byl francouzský oceánograf Drach (In: Aiken & Waddy, 1992). Ten na základě změn v obalových vrstvách krunýře rozdělil cyklus svlékání do čtyř základních období s mnoha pododděleními. V průběhu let došlo k celé řadě úprav, které Drachův systém více či méně pozměnily a aplikovaly i na jiné korýše (Aiken & Waddy, 1992). Poslední větší změnou v terminologii bylo přidání stupně E (Knowles & Carlisse, 1956). Jednotlivá stádia svlékání byla popsána u raka bahenního (Van Harp & Bellon – Hubert, 1978). Pro čeledi *Astacidae* a *Cambaridae* byl vytvořen souhrnný rozpoznávací model (Stevenson, 1985). Studie, zabývající se procesem svlékání, vycházejí zpravidla ze dvou základních typů určovacích klíčů. První model rozpoznává jednotlivá stádia svlékání dle barvy a tvrdosti skořápky. Druhým způsobem, který se zdá být i přesnějším, je využití rozvíjejících se štětin na telsonu (Aiken & Waddy, 1992).

Stádium A

Stádium zahrnuje jen 2% z celého cyklu svlékání, a začíná, jakmile se rak zbaví starého krunýře (Aiken & Waddy, 1992). Protože je tělo raka vlivem přijetí většího množství vody měkké a zranitelné, zalézají raci v tomto stádiu do úkrytů a vyhýbají se vzájemnému kontaktu (Reynolds, 2002). Již Drach rozdělil stádium A na dvě podstádia (A1, A2) dle stupně kalcifikace a přítomnosti žluté barvy. Někteří autoři vyloučili stupeň A2 a přenesli jeho kritéria do stupně B (Stevenson, 1968). Van Harp & Bellon – Hubert (1978) popisují u raka bahenního stádium A1 jako fázi měkkých kráčivých končetin a stádium A2 jako fázi tuhých kráčivých končetin.

Stádium B

Stádium zahrnuje jen 8% z celého cyklu svlékání. Zvětšení a chemické procesy v endokutikule a exokutikule jsou charakteristickými rysy tohoto stádia (Aiken & Waddy, 1992). V hepatopankreatu a gastrolitech dochází k uvolnění zásob sloužících pro rekalifikaci strategických částí těla jako jsou klepeta, maxily, maxilipedy a přední část střeva. Po tomto kroku začíná rak opět přijímat potravu (Chaisemartin, 1967 In: Reynolds, 2002). Rekalifikace těla raků je kompletní během 2 – 4 dnů, nicméně je možné,

že probíhá i v průběhu stádia C4 (Taugbol *et al.*, 1997 In: Reynolds, 2002). Van Harp & Bellon – Hubert (1978) rozdělují stádium B u raka bahenního na B1 – pružný druhý (propodus) a čtvrtý (merus) článek končetin, a B2 – křehký druhý a čtvrtý článek končetin.

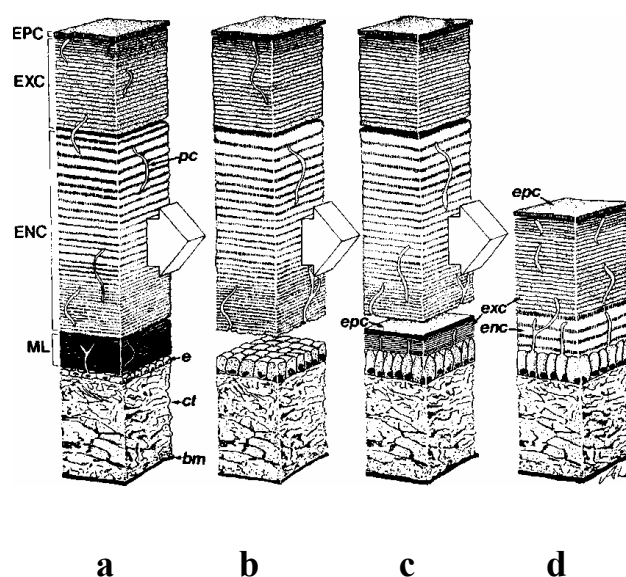
Stádium C

Stádium zahrnuje 65% z celého cyklu svlékání. Lze ho popsat jako stav, při kterém dochází ke změnám pevnosti krunýře (Aiken & Waddy, 1992). Van Harp & Bellon – Hubert (1978) zmiňují stádium C1 jako pružný krunýř. U *Orconectes sanborni* během 1 – 3 dnů po skončení stádia B dochází k tuhnutí postorbitální lišty – podstupeň C1 (Stevenson, 1968). Podstupeň C2 je typický zvýšením pevnosti exoskeletu (Aiken & Waddy, 1992). *O. sanborni* vstoupí do stádia C2 cca 1,5 až 2 dny po nástupu stupně C. Žaberní a žaludeční oblast jsou jediné pružné oblasti na těle raka (Stevenson, 1968). Van Harp & Bellon – Hubert (1978) definují C2 u raka bahenního jako pevný krunýř, a C3 jako vytvrzený, kalcifikovaný krunýř. U *O. sanborni* začíná C3 cca. 2 dny po C2. Obalové vrstvy dosahují, kromě žaberní krajiny, maximální tuhost (Stevenson, 1968). Ve stádiu C 4 (období mezi svlékáním) má rak plně vyvinutý a kalcifikovaný integument (obr. 9a). V období mezi jednotlivými svlékáními raci normálně přijímají potravu a vytvářejí si zásobní látky pro další cyklus. V ostatních obdobích svlékání není integument plně vyvinut (kalcifikován), a proto jsou raci náchylnější ke změnám životních podmínek a více ohroženy predátory (Reynolds, 2002).

Stádium D

Stádium zahrnuje 24% z celého cyklu svlékání (Aiken & Waddy, 1992). Raci omezují přísun potravy, jsou méně pohybliví a často bývají ukryti (Reynolds, 2002). Jedná se o fyziologicky významné období, během kterého se rak připravuje na další svlékání. V tomto období stoupá spotřeba kyslíku a do tkání se dostává větší množství vody. Samotný princip celého stádia D spočívá v postupném vylučování minerálních látek z obalových vrstev krunýře. V prvé řadě dochází k rozpuštění minerálních látek z nižších vrstev kutikuly, což má za následek samotné ztenčení a změknutí kutikuly (obr. 9b) (Aiken & Waddy, 1992). Jen asi okolo 10% kutikulárních minerálů, sloužících jako zásoba pro následnou rekalcifikaci, je uloženo v gastrolitech, což jsou párové útvary uložené mezi epidermis a stěnou předního střeva (Greenaway, 1985). Více o problematice gastrolitů

bude pojednáno v kapitole 2.8. Stádium D se opět rozděluje dle Van Harpa & Bellon – Huberta (1978) do několika podstádií. Podstádium D0 je popisováno jako oddělení staré endokutikuly a formování epikutikuly. D1 jako dokončení formování epikutikuly, D2 je vytvoření pružného okraje branchiostegitu a sekrece exokutikuly. V D3 dochází již ke změknutí okraje branchiostegitu. Poslední fází je D4, která odpovídá prasknutí krunýře mezi cephalothoraxem a abdomenem. V poslední fázi, těsně před prasknutím, se endokutikula oddělí od epidermis, ze které posléze začne vyrůstat nová epikutikula a exokutikula (obr. 9c) (Aiken & Waddy, 1992).



Obr. 9: Model struktury integumentu během jednoho cyklu svlékání (převzato Aiken & Waddy, 1992).

a – kompletně kalcifikovaný integument, **b** – rozpuštění minerálů integumentu, **c** – tvorba nové kutikuly, **d** – kalcifikace nové kutikuly a formování integumentu.

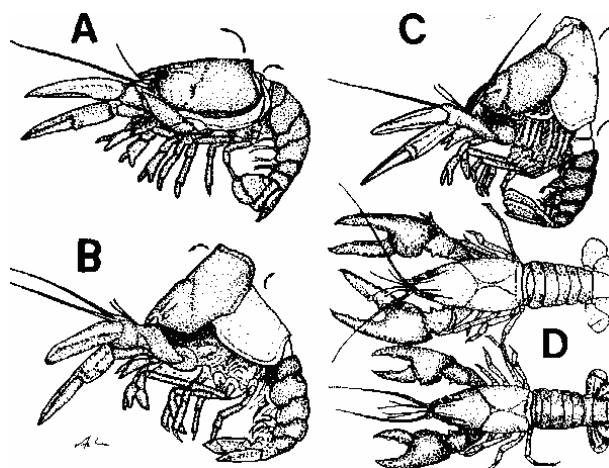
EPC – epikutikula, **EXC** – exokutikula, **ENC** – endokutikula, **ML** – membránová vrstva, **e** – epidermis, **ct** – pojivová tkáň, **pc** – pórovitý kanál, **bm** – základní membrána

Stádium E

Jedná se o nejkratší a nejnáročnější období v celém cyklu svlékání. Samotná doba svlékání netrvá déle než několik minut, výjimečně hodin. Svlékání lze rozdělit na pasivní a aktivní fázi. Během pasivní fáze dochází k odvápnění švů, při kterém ovšem zůstává rak stále mobilní. Dochází k pohlcení většího množství vody, která má za následek nárůst hydrostatického tlaku a vydutí abdominální blány. Pokud dojde k vyrušení raka během

pasivní fáze, je schopen tuto fázi prodloužit. Jakmile je tlak dostatečný k tomu, aby došlo k protržení hřbetní blány, nastává fáze aktivní (Aiken & Waddy, 1992). Následuje vlastní svlékání (obr. 10). Kompletní výměna krunýře zahrnuje odloupení kutikuly ze všech partií těla (i z povrchu očí a z ektodermálního povlaku vnitřních orgánů) (Reynolds, 2002). Travis (1960) uvádí, že rak je schopen zkonzumovat poslední zbytky kutikuly z očí a ostatních smyslových orgánů. Pod svléknutou starou kutikulou se již nachází nové vrstvy kutikuly (obr. 9d) (Aiken & Waddy, 1992). Během svlékání dochází k uvolňování gastrolitů, které se postupně dostanou až mezi stěny žaludku. Zde se z gastrolitů uvolňují minerální látky, které se posléze ukládají v epitelech tkání a hepatopankreatu (Travis, 1960).

Při procesu svlékání nezřídka dochází ke ztrátě některé z končetin. Špatný zdravotní stav, případně nevhodné podmínky vnějšího prostředí mohou vést ke komplikacím při výměně krunýře až do té míry, že dojde k úmrtí jedince (Krupauer, 1981). Období po svlékání je pro raka velice náročné na potřebu minerálních látek, a to především vápníku. Tato potřeba pravděpodobně přispívá k požívání starého exoskeletu (Wheatley & Ayers, 1995).



Obr. 10: *Proces svlékání (převzato Aiken & Waddy, 1992).*

Ve stádiu **A** dochází k protržení vrchního krunýře. Rak při svlékání leží na jedné straně krunýře, pravděpodobně z důvodu jednoduššího svlékání. Stádium **B** je charakterizováno stahováním starého krunýře. Ve stádiu **C** se rak snaží prudkými pohyby vyprostit abdomen, následně pak klepeta a cephalothorax. Ve stádiu **D** je možno vidět ve spodní části odložený exoskelet, a v horní části raka po svlečení.

2.7.2.2. Systém řízení svlékání

Samotný proces svlékání se skládá z několika částí vyvolaných fyziologickými změnami. Tyto změny jsou podmíněny hormony neuroendokrinního X-orgánu a epiteliálního Y-orgánu. X-orgán řídí proces svlékání uvolňováním MIH, který inhibuje vylučování hormonu „ekdysonu“, což je naopak hormon podporující svlékání (Reynolds, 2002). Y-orgán je uložen v epidermis a prodělává cyklické změny, které jsou výraznější v období svlékání (Chang & O'Connor, 1983). X-orgán je umístěn v očních stopkách raků a jeho případné odstranění by vedlo ke změně frekvence v procesu svlékání (Reynolds, 2002).

2.7.2.3. Biochemické změny při procesu svlékání

Základním biochemickým procesem u raků je příprava na další proces svlékání tím, že v hepatopankreatu a gastrolitech dochází k ukládání zásobních organických látek jako jsou fosforečnany, glykogen, lipidy a proteiny (Chang & O'Connor, 1983). Dalším nezbytným komponentem, uskladněným v hepatopankreatu, jsou fosforylované sacharidy, sloužící jako zdroj energie pro následné biochemické syntézy proteinů a lipidů (Aiken & Waddy, 1992).

Během období mezi svlékáními dochází k rozkladu lipidů na vyšší mastné kyseliny a glycerol. Především mastné kyseliny jsou postupně přeměněny na glukózu, která následně vstupuje jako zdroj energie do procesu syntézy chitinu probíhajícího během období před svlékáním. Syntéza chitinu, kromě jiného, přispívá k významnému zvýšení obsahu glukózy během období před svlékáním, a naopak vede ke snížení v období po svlékání (Durliat & Vranckx, 1982 In: Aiken & Waddy, 1992).

Vlastní aktivita hepatopankreatu nejvíce kolísá v období reprodukce a svlékání, kdy nejvyšších hodnot dosahuje před a po svlékání. Při procesu látkové výměny, ve fázi před svlékáním, dochází k velkému zvýšení spotřeby kyslíku až na hranici převyšující 1900% (Aiken & Waddy, 1992).

Množství bílkovin uložených v hepatopankreatu dosáhne nejvyšší úrovně během stupně C4, D2 a D3 (Durliat & Vranckx, 1982 In: Aiken & Waddy, 1992). Ve fázi před svlékáním obsahuje hemolymfa, kromě již zmiňované glukózy, také větší množství lipidů, proteinů, vápníku a ostatních minerálních látek. Během raného svlékání dochází

k degradaci krunýře, při které hemolymfa díky většímu množství aminokyselin a barviva astaxanthinu získává charakteristické růžové zbarvení (Aiken & Waddy, 1992).

2.8. Gastrolity

Rakůvky (odborně gastrolity, lidově račí oči) (Krupauer, 1968) jsou párové diskovité útvary, uložené mezi kutikulou a epidermis stěny žaludku (Lowery, 1988). Jejich hlavní funkce spočívá převážně v odčerpávání vápenatých sloučenin z hemolymfy a ukládání těchto sloučenin v podobě uhličitanu vápenatého. Chemickou analýzou, kterou provedl Smolian (1925), bylo zjištěno, že hlavní součástí jsou uhličitan a fosforečnan vápenatý v množství až 87%. V období při svlékání gastrolity sestupují mezi stěny žaludku, kde dochází k postupnému uvolňování vápenatých iontů, důležitých při mineralizaci exoskeletu v období po svlečení. Nicméně množství vápníku uložené v gastrolitech tvoří pouhých 10% z celkové potřeby raků. Převážná část uvolněného vápníku z gastrolitů slouží k co možná nejrychlejší rekalifikaci klepet, ústního ústrojí a přední části střeva (Chaisemartin, 1967 In: Reynolds, 2002). Gastrolity u raků jsou tvořeny vnitřním epitelem, epidermis a bazální membránou. Narozdíl od klasické stěny žaludku, která se skládá z více kubických a cylindrických buněk, stěnu gastrolitů tvoří jen jediná vrstva malých cylindrických buněk. Další rozdíl mezi stěnou žaludku a gastrolitem představuje chybějící blánovitá vrstva. Ve fázi před svlékáním dochází k velkému nárůstu gastrolitů (Greenaway, 1985). U raka *Orconectes virilis* tato změna představuje nárůst velikosti z počátečních 300 μm ve fázi D0 až na konečných 3 – 4 mm ve fázi D4 (Travis, 1960). Lahti (1988) ve své studii uvádí, že rak říční vážící 32 g měl ve svém těle gastrolit o hmotnosti 200 mg, z něhož 70 mg tvořil vápník, avšak celková potřeba vápníku pro mineralizaci nového krunýře činí 4 až 5 g.

3. MATERIÁL A METODIKA

Prvotním záměrem této diplomové práce bylo sledovat a následně porovnat růstové ukazatele raka říčního a raka pruhovaného v průběhu první vegetační sezóny v laboratorních podmínkách. Dílčím cílem bylo zachytit období jednotlivých svlékání, jejich frekvenci a přírůstek po jednotlivých svlékáních u obou druhů. Před zahájením samotného experimentu se podařilo k těmto druhům navíc získat i další 3 druhy raků (raka signálního, bahenního a kamenáče). Tak se celý experiment mohl rozšířit na komplexní stanovení růstových charakteristik u všech druhů raků vyskytujících se na území ČR

Pokus probíhal v kontrolovaných podmínkách experimentálního rybochovného objektu a laboratořích Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického JU ve Vodňanech v období od 23. května (počátek líhnutí raka signálního) do 15. září 2005 (ukončení odchovu u všech sledovaných druhů). U raka pruhovaného byl pokus opakován i v roce 2006 a to v období od 17. 6. do 1. 8.

Rak signální, použitý v experimentu, byl odloven 6. dubna 2005 v rybnících nedaleko Velkého Meziříčí. Samice raka bahenního byly získány 19. dubna 2005 z lomu Mačkov u Blatné. Rak říční byl odloven 23. dubna 2005 na nádrži Kramata u Vimperka. Rak pruhovaný, použitý pro experiment v roce 2005, pocházel z odlovů probíhajících v měsíci březnu na Vltavské kaskádě (vodní nádrž Kořensko). Pro opakování pokusu v roce 2006 se podařilo získat samice raka pruhovaného odlovené 31. března z vodní nádrže u obce Mrákov na Domažlicku. Rak kamenáč byl odloven 5. června v potoce Zubřina.

Obr. 11: *Uzavřené klíčky pro individuální odchov samic.*



Odlovené samice byly před zahájením experimentu umístěny individuálně v uzavřených klíčkách (obr. 11) ve speciálních aparátech firmy Bednář (obr. 12 a 13) s průtokem vody $3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Jednotlivé aparáty byly umístěny kaskádovitě nad sebou. V průběhu přechovávání samic na aparátech byly samice jedenkrát týdně krmeny růžkatcem, mraženým zooplanktonem a nitěnkami.

Obr. 12 a 13: Speciální aparát pro odchov samic firmy Bednář.



Před zahájením samotného pokusu byly samice s vajíčky přemístěny do dvou odchovných žlabů (4 x 0,4 x 0,4 m – 1.6 m²) s teplotou vody 15°C a 21°C. V každém žlabu bylo 5 kusů od každého druhu. Jednotlivé samice zde byly opět drženy individuálně v uzavřených klíčkách až do doby, než došlo k samotnému líhnutí ráčat. Líhnutí ráčat proběhlo u raka signálního v období od 23. 5. do 27. 5. 2005, u raka kamenáče od 5. 6. do 8. 6. 2005, u raka bahenního od 8. 6. do 9. 6. 2005, u raka pruhovaného od 4. 6. do 10. 6. v roce 2005, resp. od 17. 6. do 21. 6. 2006.

Po vylíhnutí byli juvenilové v 1. vývojovém stádiu šetrně odseparováni pomocí citlivé entomologické pinzety z pleopodů samice. Odebraní jedinci v 1. vývojovém stádiu byli posléze umístěni do speciálně upravených perforovaných plastových krabiček (boxů) vyrobených z průhledného plastu (obr. 14)

Obr. 14: Plastová krabička pro individuální odchov ráčat.



Jednotlivé plastové krabičky se skládaly z 18 oddělených komůrek o rozměrech 45 x 30 x 40 mm. Do stejných žlabů, ve kterých předtím probíhal odchov samic, bylo nasazeno 10 krabiček (15°C) a 10 krabiček (21°C). To znamená, že pro každý druh byly k dispozici dvě krabičky po 18 kusech ráčat, a to jak na teplé, tak i na studené

vodě. V roce 2006 byl pokus opakován u raka pruhovaného za stejných podmínek, ale ve větším počtu odchovných krabiček (4 krabičky na každém žlabu). Vhodnou perforací dna a víka odchovných krabiček byla zajištěna dobrá výměna vody uvnitř každé z komůrek. Odchovný systém byl koncipován jako recirkulační (obr. 15). Byl tvořen retenčními nádržemi s biologickými filtry a odchovnými žlaby. Stálý průtok vody byl zabezpečen pomocí čerpadel. Dvakrát týdně byla obměňována 1/3 vody. K celkové výměně vody v odchovném žlabu došlo jednou za cca 30 minut. Systém kontrolovaných řízených podmínek byl založen na principu ochlazování a ohřevu vody pomocí termostatu. Tímto způsobem byla zajištěna požadovaná teplota vody v nádržích po celou dobu experimentu (15°C, resp. 21°C).

Obr. 15: Odchovný recirkulační systém.



Pro odkrm raných stádií byla použita vylíhlá nauplia žábřonožky solné (*Artemia salina*) a mražený, velikostně tříděný zooplankton. Od 3. vývojového stádia byly zkrmovány larvy pakomárů (*Chironomus plumosus* L.) a přídavek vláknitých řas (*Cladophora* sp.) s růžkatcem (*Ceratophyllum submersum* L.). Juvenilové byli krmeni po celou dobu odchovu denně. Krmná dávka byla předkládána *ad libitum*. Nespotřebované krmivo z předchozího dne bylo před kmením vždy řádně odstraněno.

Odchov ráčat probíhal při řízeném světelném režimu na úrovni 12 hodin světlo a 12 hodin tma. Během experimentu byla za pomoci registračních teploměrů (teplotních čidel) každou hodinu zaznamenávána teplota vody. Juvenilové byli odchováni, obdobně jako samice, ve dvou různých teplotách, tj. 15°C (chlad) a 21°C (teplo). Průměrná teplota ve žlabech byla 14,3±0,6°C resp. 20,5±0,7°C. Dále probíhalo dvakrát denně měření rozpuštěného kyslíku ve vodě a pH, pomocí digitálních měřicích přístrojů (oxymetr a pH-metr). Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě (O₂) po celé období odchovu neklesl pod 7,5 mg.l⁻¹, v průměru se pohyboval na hodnotě 9,5 mg.l⁻¹. Průměrná hodnota pH činila 7,4 (v rozmezí 7,1 – 7,6). Jedenkrát měsíčně byl monitorován obsah různých forem dusíku (NH₃, NO₂⁻, NO₃⁻). Hodnoty vody ve všech odebraných vzorcích odpovídaly požadavkům všech druhů raků a v obou žlabech byly shodné.

Denně byla prováděna vizuálně kontrola zdravotního stavu a přítomnost svleček. Případná exuviace byla zaznamenávána do připravených tiskopisů (příloha č. 9) Biometrické měření (hmotnost a délka) svléklých jedinců bylo realizováno vždy s odstupem 1 dne po každém svlékání, aby byla zajištěna dostatečná kalcifikace krunýře a dosažení konečné hmotnosti. Každý jedinec byl před vážením za pomoci entomologické pinzety odebrán z odchovné komůrky a přemístěn na suchý filtrační papír, kde byl zbaven přebytečné vody.

Hmotnost byla zjišťována na analytických vahách s přesností na 0,0001 g. Celková délka těla sledovaných jedinců byla měřena pevným měřítkem od vrcholku rostra po konec telsonu s přesností na 0,5 mm (obr. 16).

Obr. 16: Způsob zjišťování celkové délky těla.



V průběhu experimentu byla kromě biometrických ukazatelů sledována také doba svlékání, délka trvání jednotlivých stádií ve dnech, resp. v [d°], doba do dosažení následujícího vývojového stádia ve dnech, resp. v [d°], celkový počet svlékání během celého pokusu a přežití ráčat. Data získaná z jednotlivých měření byla použita pro sestavení souhrnných grafů a tabulek.

Po skončení experimentu byly veškeré zjištěné údaje otestovány patřičnými statistickými metodami na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Při vyhodnocení více nezávislých vzorků bylo použito Levenova testu na zjištění shody rozptylů. Při zjištění heteroskedasticity byl použit Kruskal – Wallisův test a test vícenásobného porovnávání. Pro porovnání hmotnosti a délky jednotlivých stádií, kdy byla ráčata přibližně stejně stará, bylo použito Levenova testu na zjištění shody rozptylů a posléze byla využita jednofaktorová ANOVA a následně Tukeyeho HSD test. Pro statistické vyhodnocení výsledků byl použit program Statistika 6.0 (StatSoft, Inc.).

4. VÝSLEDKY

4.1. Líhnutí a frekvence svlékání

Chladná voda (15°C)

Prvním druhem, u kterého došlo k líhnutí ráčat na studené vodě, byl rak signální. Líhnutí probíhalo od 23. do 27. května. Tento druh byl následován rakem kamenáčem, u něhož se objevila první ráčata v období 5. až 8. června. Od 8. do 9. června probíhalo líhnutí ráčat u raka bahenního. Po raku bahenním následoval rak pruhovaný v období od 20. do 21. června a rak říční od 23. do 24. června.

Juvenilové raka signálního prodělali první proces svlékání mezi 3. až 8. červnem, u raka kamenáče mezi 12. až 14. červnem, u raka bahenního mezi 16. až 19. červnem, u raka pruhovaného mezi 23. až 25. červnem a u raka říčního to bylo období mezi 1. až 8. červencem. Další období svlékání popisuje tab.1.

Na studené vodě dosáhl rak říční a rak bahenní 4. vývojového stádia. Tyto dva druhy se svlékly v průběhu experimentu jen třikrát. Páté vývojové stádium bylo zaznamenáno u raka kamenáče a raka pruhovaného (experiment ukončen 1.8.), přičemž raku pruhovanému k dosažení 5. vývojového stádia stačilo v průměru pouze 34,2 dnů oproti raku kamenáči, který potřeboval pro dosažení stejného stádia v průměru 51,5 dnů. Do 6. vývojového stádia došel rak signální. Průběh svlékání je graficky znázorněn na obr. 17.

Teplá voda (21°C)

Líhnutí ráčat na teplé vodě probíhalo v obdobném trendu jako na studené vodě. Prvním druhem, u kterého se objevilo líhnutí ráčat, byl opět rak signální v období 23. až 24. května. V první polovině června se k raku signálnímu postupně přidali rak kamenáč, líhnoucí se od 5.–7. června, a rak bahenní, který se líhnul ve dnech 8. až 9. června. O osm dní později se začal líhnout i rak pruhovaný, u něhož líhnutí proběhlo od 16. do 18. června. Ve dnech 23. a 24. června se vylíhl jako poslední rak říční.

U raka signálního se všichni juvenilové poprvé svlékali 30. května. U raka kamenáče to bylo v rozmezí mezi 12.–13. červnem, u raka bahenního mezi 13.–16. červnem, u raka pruhovaného mezi 20.–21. červnem a u raka říčního od 27. do 28. června. Další období svlékání popisuje tab. 1.

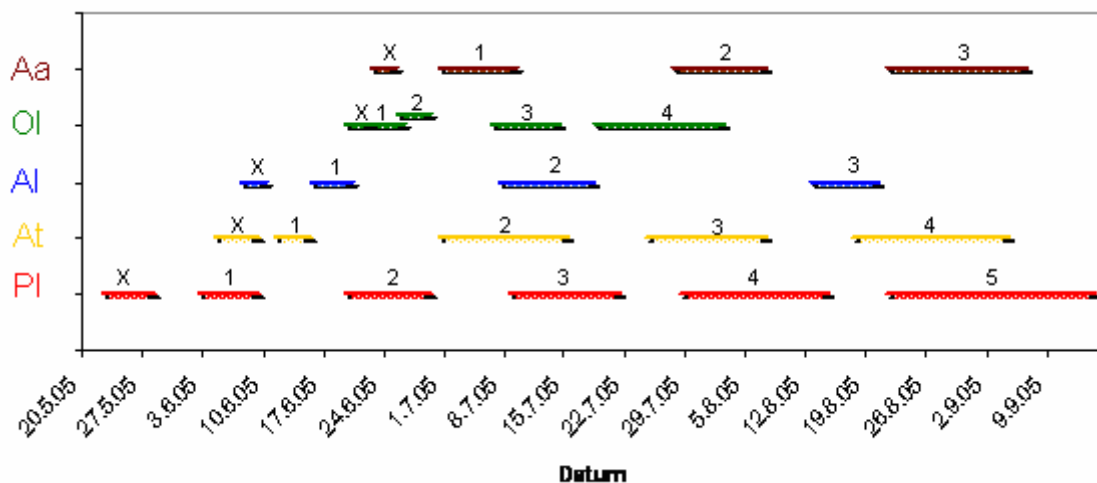
Na konci experimentu (15.9.) všechna ráčata raka signálního v teplé vodě dosáhla 8. vývojového stádia, u raka kamenáče, raka bahenního 7. vývojového stádia, a u raka říčního 6. vývojového stádia. Pokus u raka pruhovaného byl ukončen 1. 8. v 7. vývojovém stádiu. Ve frekvenci svlékání byl obdobně jako na studené vodě nejrychlejší rak pruhovaný, kterému na pět svlékání stačila doba v průměru 24,3 dní, v porovnání např. s rakem bahenním, který stejného počtu svlékání dosáhl v průměru za 61,9 dní. Průběh svlékání je graficky znázorněn na obr. 18.

Teplota vody ovlivňovala frekvenci svlékání. Proces svlékání byl u všech raků rychlejší v teplé vodě. Pro příklad lze uvést raka signálního, u kterého v době, kdy všichni juvenilové v teplé vodě již dosáhli 8. vývojového stádia, nedosáhli ještě všichni juvenilové v chladné vodě 6. stádia. Raci odchovávaní na teplé vodě byli na konci experimentu o 2 (3 – rak bahenní) vývojová stádia před raky na studené vodě. V porovnání průběhu svlékání a doby líhnutí mezi jednotlivými druhy na obou teplotách lze říci, že nejdříve líhnoucím druhem s největším počtem svlékání byl rak signální. Naopak rak říční byl druhem s nejpozdějším líhnutím ráčat a nejmenším počtem svlékání. Juvenilové raka kamenáče a raka bahenního se na obou teplotách líhli téměř ve stejném období. Na teplé vodě prodělaly tyto dva druhy identický počet svlékání s podobným vývojovým trendem. Na studené vodě se vývoj raka bahenního oproti raku kamenáči zpomalil o jeden vývojový stupeň. Specifický a zcela odlišný průběh svlékání oproti ostatním sledovaným druhům byl pozorován u raka pruhovaného, u kterého došlo v průběhu vývoje k překrývání jednotlivých období svlékání a k vysoké frekvenci svlékání.

Tab.1: *Období líhnutí a svlékání.*

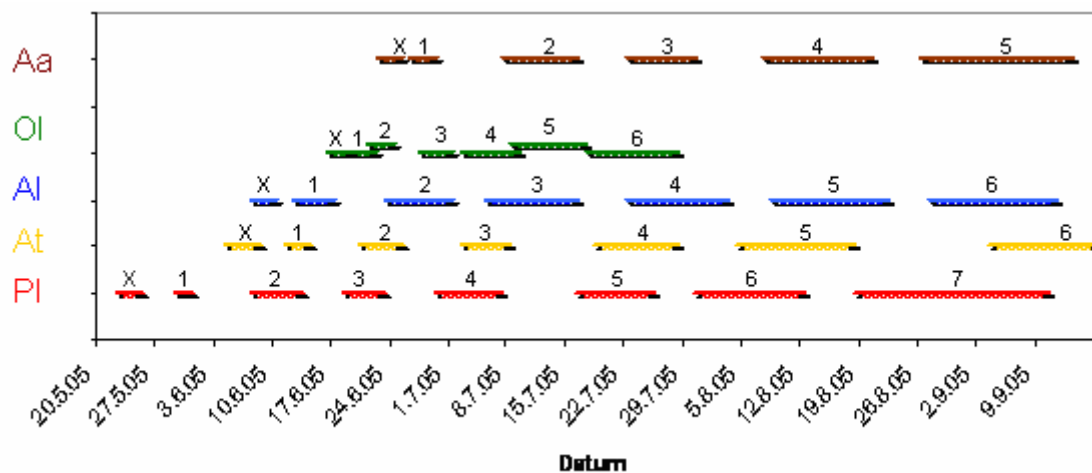
Druh	Teplota	Líhnutí	1. svlékání	2. svlékání	3. svlékání	4. svlékání	5. svlékání	6. svlékání	7. svlékání	celkem
Rak signální	21°C	23.5. - 24.5.	30.5.	8.6. - 12.6.	19.6. - 21.6.	30.6. - 6.7.	17.7. - 14.7.	31.7. - 11.8.	20.8. - 8.9.	7X
	15°C	23.5. - 27.5.	3.6. - 8.6.	21.6. - 26.6.	9.6. - 20.6.	29.7. - 13.8.	22.8. - 13.9.			5X
Rak kamenáč	21°C	5.6. - 7.6.	12.6. - 13.6.	21.6. - 24.6.	3.7. - 7.7.	19.7. - 27.7.	5.8. - 17.8.	4.9. - 15.9.		6X
	15°C	5.6. - 8.6.	12.6. - 14.6.	1.7. - 7.7.	25.7. - 6.8.	18.8. - 3.9.				4X
Rak bahenní	21°C	8.6. - 9.6.	13.6. - 16.6.	24.6. - 30.6.	6.7. - 15.7.	23.7. - 2.8.	9.8. - 21.8.	28.8. - 10.9.		6X
	15°C	8.6. - 9.6.	16.6. - 19.6.	8.7. - 17.7.	13.8. - 19.8.					3X
Rak pruhovaný	21°C	16.6. - 18.6.	20.6. - 21.6.	22.6. - 23.6.	28.6. - 30.6.	3.7. - 8.7.	9.7. - 16.7.	18.7. - 27.7.		6X
	15°C	20.6. - 21.6.	23.6. - 25.6.	26.6. - 28.6.	7.7. - 13.7.	19.7. - 1.8.				4X
Rak říční	21°C	23.6. - 24.6.	23.6. - 28.6.	8.7. - 15.7.	23.7. - 29.7.	8.8. - 18.8.	27.8. - 12.9.			5X
	15°C	23.6. - 24.6.	1.7. - 7.7.	28.7. - 6.8.	22.8. - 5.9.					3X

Obr. 17: Období svlékání jednotlivých vývojových stádií v průběhu první vegetační sezóny u raků odchovávaných při teplotě vody 15°C.



X - Líhnutí 1 – I. svlékání 2 – II. svlékání 3 – III. svlékání 4 – IV. svlékání 5 – V. svlékání
 Pl - rak signální, At – rak kamenáč, Al – rak bahenní, Ol – rak pruhovaný, Aa – rak řiční

Obr. 18: Období svlékání jednotlivých vývojových stádií v průběhu první vegetační sezóny u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C.



X - Líhnutí 1 – I. svlékání 2 – II. svlékání 3 – III. svlékání 4 – IV. svlékání 5 - V. svlékání 6 – VI. svlékání, 7 – VII. svlékání.
 Pl - rak signální, At – rak kamenáč, Al – rak bahenní, Ol – rak pruhovaný, Aa – rak řiční

4.2. Biometrická měření

4.2.1. Hmotnost

Teplá voda (21°C) – Z hlediska hmotnosti těla dosahoval nejnižších hodnot vždy rak pruhovaný, oproti nejvyšším hodnotám zjištěným u raka bahenního. Raku bahennímu se hmotnostně nejvíce podobal rak říční. Průměrná hmotnost raků v prvním vývojovém stádiu byla u raka pruhovaného 6,4 mg, u raka signálního 15,8 mg, u raka kamenáče 20 mg, u raka bahenního 20,5 mg a u raka říčního 21,3 mg (souhrnné hmotnosti jednotlivých vývojových stádií uvádí tab. 2). Do 4. vývojového stádia byl srovnatelný nárůst hmotnosti u raka signálního a raka kamenáče, přičemž rak kamenáč se v 5. a 6. stádiu postupně vyrovnával raku říčnímu (Kruskal – Wallisův a Levenův test, $p < 0,05$). Po celou dobu odchovu odpovídaly hmotnosti vývojových stádií jednotlivých druhů zpravidla následujícímu pořadí: rak pruhovaný (nejnižší hmotnost), rak signální, rak kamenáč, rak říční a rak bahenní (obr. 19). Na konci experimentu vážil nejméně rak pruhovaný s 73,1 mg a naopak nejvíce rak bahenní s 269,5 mg. V porovnání s rakem signálním, který dosáhl hmotnosti 258,5 mg za 8 vývojových stádií, stačilo raku bahennímu 7 vývojových stádií na hmotnost 269,5 mg.

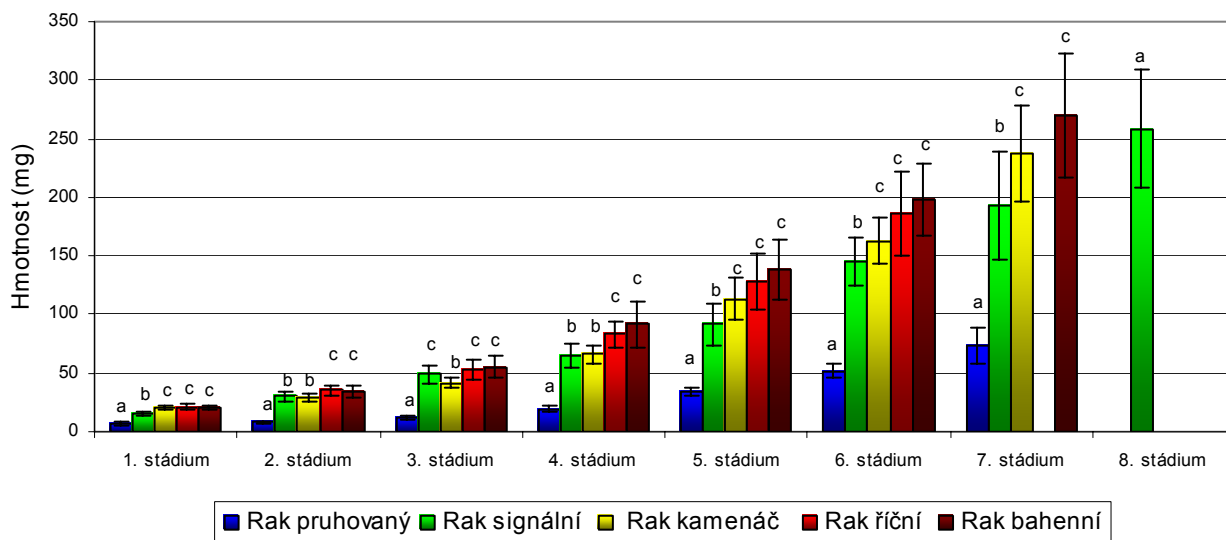
Chladná voda (15°C) – Podobný trend nárůstu hmotnosti jako v odchovu na teplé vodě se udržel i u raků na studené vodě (obr. 20). Nejmenších hmotností opět dosahoval rak pruhovaný. Rak kamenáč a rak signální se hmotnostně vyvíjeli v podobných hodnotách. Na rozdíl od teplé vody nebyl rakem s nejvyššími dosahujícími hmotnostmi rak bahenní. Nejvyšších hodnot zde dosahoval rak říční, který se v 1. a 2. vývoj. stádiu hmotnostně rovnal raku bahennímu, ale od 3. vývoj. stádia dosahoval tento druh vyšších hmotností.

V rámci druhu nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v hmotnosti jedinců odchovávaných na různých teplotách (t-test nezávislých vzorků, $\alpha = 0,05$). Výjimku tvořil rak bahenní, u kterého se vyskytl v rámci teplot rozdíl v hmotnosti ve 4. vývojovém stádiu. Vzniklou odchylku u raka bahenního lze vysvětlit nereprezentativním statistickým vzorkem sledovaných jedinců (2 kusy). Rozptyly hodnot v jednotlivých stádiích postupně rostly.

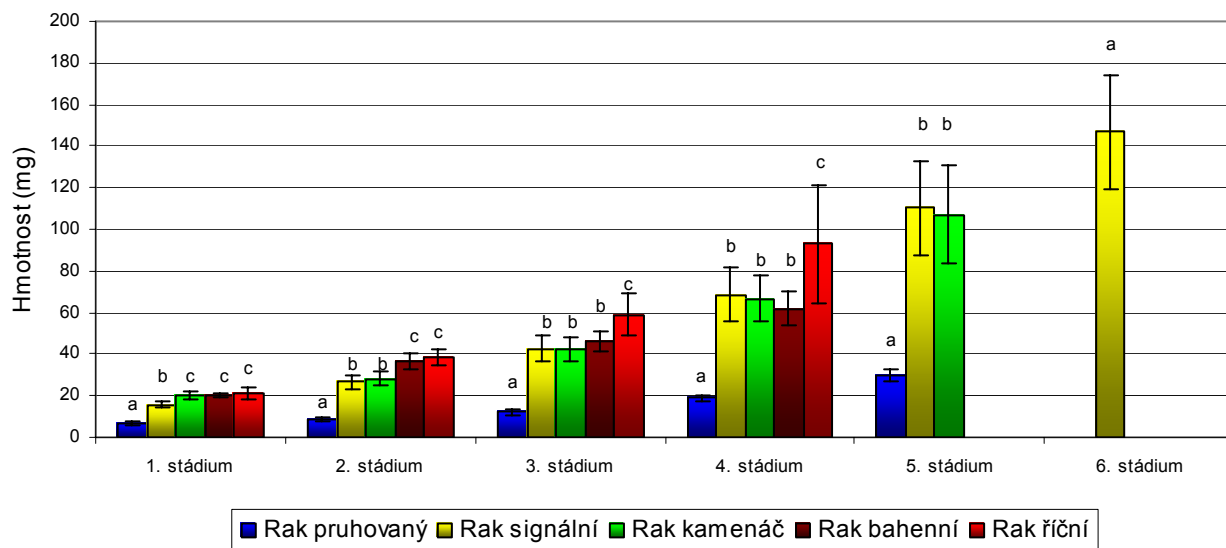
Tab. 2 : Průměrná hmotnost těla jednotlivých vývojových stádií.

Druh	Teplota	1. stádium (mg)	2. stádium (mg)	3. stádium (mg)	4. stádium (mg)	5. stádium (mg)	6. stádium (mg)	7. stádium (mg)	8. stádium (mg)
Rak pruhovaný	21°C	6,4±1,4	8,2±0,8	11,8±1,3	19,4±2,4	34,0±3,8	51,9±5,8	73,2±15,1	
	15°C	6,7±1,1	8,6±1,0	12,3±1,3	18,8±1,6	29,7±2,9			
Rak signální	21°C	15,8±1,5	29,9±4,5	48,9±7,3	65,4±10,0	91,5±17,9	144,7±30,6	193,3±45,6	258,6±49,9
	15°C	15,8±1,5	26,5±3,1	42,8±6,6	68,7±12,9	110,4±22,6	147,0±27,4		
Rak kamenáč	21°C	20,0±2,1	28,5±3,5	41,4±4,2	65,8±7,8	113,4±18,5	162,7±20,1	237,0±41,1	
	15°C	20,0±2,1	28,2±3,2	42,4±5,6	66,7±11,3	107,1±23,2			
Rak bahenni	21°C	20,5±0,9	34,5±4,7	55,4±8,6	91,4±19,2	138,9±25,5	197,9±30,9	269,5±53,2	
	15°C	20,5±0,9	36,7±4,0	45,7±4,8	61,9±8,0				
Rak říční	21°C	21,3±2,8	35,5±4,4	53,1±9,1	83,0±11,4	128,6±23,4	186,2±35,3		
	15°C	21,3±2,8	38,2±3,8	59±10,4	92,8±28,4				

Obr. 19: Průměrná hmotnost těla jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C.



Obr. 20: Průměrná hmotnost těla jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 15°C.



Rozdílná písmena nad sloupci v rámci stádií označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy, zjištěné Kruskal – Vallisovým testem na hladině významnosti ($p < 0,05$).

4.2.2. Délka

Individuální délka těla jedinců byla zjišťována vždy až od druhého vývojového stádia, neboť vzhledem k tvaru těla 1. stádia nelze přesně určit délku sledovaných jedinců.

Teplá voda (21°C) – Ve 2. vývojovém stádiu na teplé vodě byly z hlediska délky těla největšími druhy shodně rak bahenní a rak říční, jejichž průměrná délka těla se pohybovala okolo 11,2 mm, resp. 11,1 mm. U raka signálního byla zjištěna hodnota 10,3 mm. Tento údaj se statisticky nelišil od raka kamenáče, u kterého bylo naměřeno v průměru 9,7 mm. Délkově nejmenší byl rak pruhovaný s průměrnou délkou 6,8 mm. Další průběh vývoje délky v jednotlivých stádiích popisuje tab. 3.

Trend nastavený ve 2. vývojovém stádiu se udržel po celou dobu odchovu (obr. 21). Z čehož vyplývá, že nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly co se týče délky těla mezi rakem říčním a rakem bahenním. Taktéž nebyl prokázán rozdíl v průměrné délce jedinců mezi rakem signálním a rakem kamenáčem. Rak pruhovaný zůstal po celou dobu nejmenší (Kruskal-Wallisův a Levenův test, $p < 0,05$).

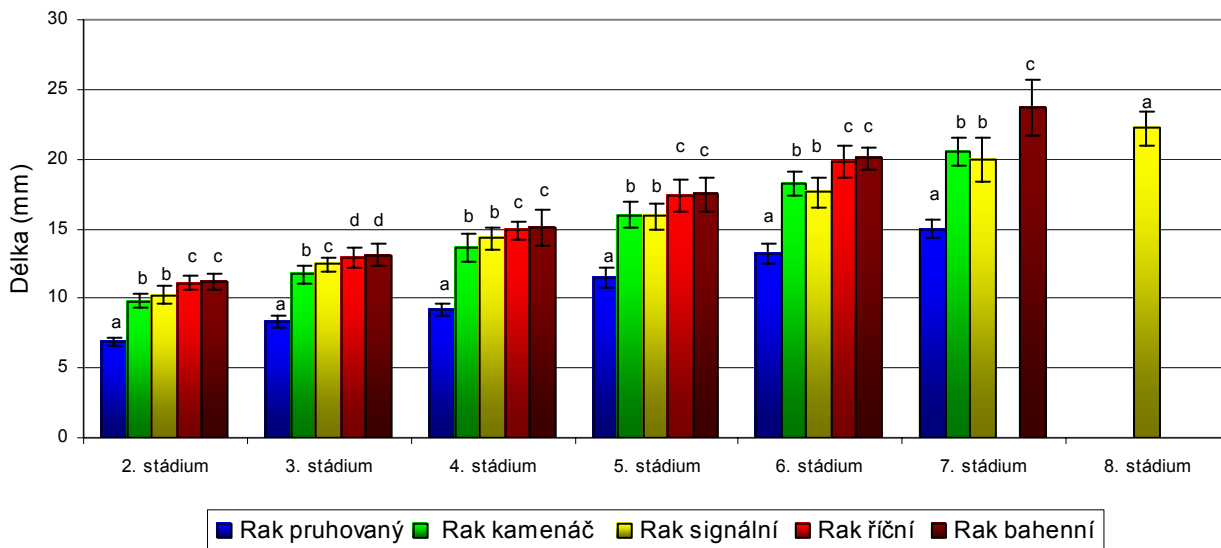
Chladná voda (15°C) – Na chladné vodě byl opětovně zaznamenán obdobný trend v nárůstu délky těla jako u juvenilů odchovávaných na teplé vodě (obr. 22). Znovu zde byly největšími druhy rak bahenní společně s rakem říčním, které následovali rak signální a rak kamenáč. Nejmenších rozměrů dosáhl rak pruhovaný, který na konci experimentu 1. 8. dorostl v průměru 10,7 mm, oproti raku bahennímu, jehož délka těla činila ke stejnému datu v průměru 13,5 mm. Podrobné údaje k jednotlivým druhům uvádí tab. 3. V rámci jednotlivých druhů nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v délce jedinců odchovávaných na různých teplotách (t-test nezávislých vzorků, $\alpha = 0,05$).

Závěrem lze říci, že průměrné hmotnosti a délky těla jednotlivých vývojových stádií na obou teplotách byly zpravidla velmi podobné a statisticky se nelišily (t-test nezávislých vzorků, $\alpha = 0,05$). Juvenilové odchovávané na teplé vodě se oproti rakům na studené vodě častěji svlékali a tím pádem dosáhli za stejné období i vyšší hmotnosti a délky. Významně rychlejší růst vykazovala tedy ráčata raků odchovávaná na teplé vodě.

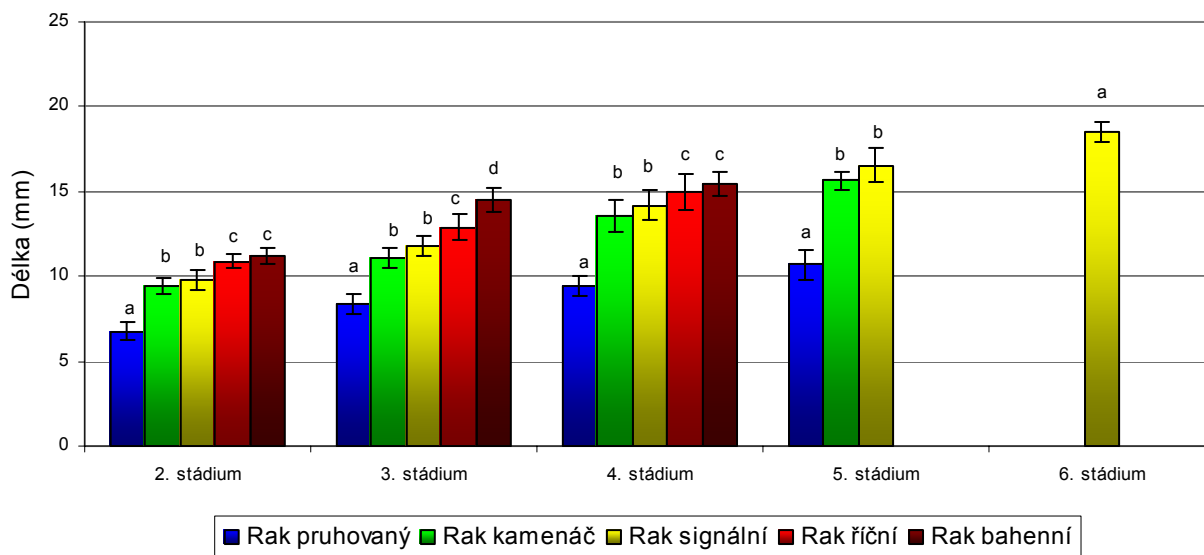
Tab. 3: Průměrná délka těla jednotlivých vývojových stádií.

Druh	Teplota	2. stádium (mm)	3. stádium (mm)	4. stádium (mm)	5. stádium (mm)	6. stádium (mm)	7. stádium (mm)	8. stádium (mm)
Rak pruhovaný	21°C	6,8±0,3	8,3±0,4	9,1±0,5	11,5±0,8	13,2±0,7	15±0,7	
	15°C	6,7±0,5	8,4±0,6	9,4±0,5	10,7±0,9			
Rak kamenáč	21°C	9,7±0,5	11,8±0,6	13,7±1	16,0±0,9	18,2±0,9	20,5±1	
	15°C	9,4±0,5	11,1±0,6	13,5±0,9	15,7±0,5			
Rak signální	21°C	10,3±0,6	12,4±0,5	14,3±0,8	15,9±0,9	17,6±1,1	20,0±1,6	22±1,2
	15°C	9,8±0,6	11,8±0,6	14,2±0,8	16,7±1	18,5±0,6		
Rak říční	21°C	11,1±0,5	12,9±0,7	14,8±0,6	17,3±1,2	19,8±1,1		
	15°C	10,8±0,4	12,8±0,8	15,0±1				
Rak bahenní	21°C	11,2±0,6	13,1±0,8	15,1±1,3	17,5±1,2	20±0,8	23,6±2	
	15°C	11,2±0,5	13,5±0,7	15,5±0,7				

Obr. 21: Průměrná délka těla jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C.



Obr. 22: Průměrná délka těla jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 15°C.



Rozdílná písmena nad sloupci v rámci stádií označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy, zjištěné Kruskal – Vallisovým testem na hladině významnosti ($p < 0,05$).

4.2.3. Hmotnostní a délkový přírůstek za svlékání

Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti a délky těla za svlékání byl zjišťován u jednotlivých druhů raků na obou teplotách poprvé mezi 1.–2. vývojovým stádiem u hmotnosti, resp. mezi 2.–3. vývojovým stádiem u délky.

Teplá voda (21°C) - Rak pruhovaný se výrazně hmotnostně lišil od ostatních druhů, na rozdíl od raků říčního a bahenního, u kterých byl průměrný přírůstek shodný. Podobných hodnot dosahoval i rak signální, s výjimkou 3. a 4. svlékání, ve kterých byl jeho přírůstek oproti raku říčnímu a bahennímu nižší. V 1. a 2. svlékání dosahoval po raku pruhovaném nejnižších přírůstků rak kamenáč. Od 3. svlékání u něj ovšem můžeme pozorovat výraznější zvýšení přírůstku, díky němuž se začal vyrovnávat raku říčnímu a raku bahennímu (Kruskal-Wallisův a Levenův test, $p < 0,05$). Statisticky významné rozdíly mezi druhy po jednotlivých svlékáních jsou znázorněny na obr. 23. Údaje ze 6. svlékání mají nedostatečnou vypovídací hodnotu vzhledem k nízkému počtu sledovaných jedinců. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti postupně narůstal u všech druhů raků. Například u raka pruhovaného z 2,3 mg (po prvním svlékání), přes 7,4 mg (čtvrté svlékání) až do 24,7 mg (šesté svlékání). Údaje o průměrných přírůstcích udává tab. 4.

Co se týče průměrného absolutního přírůstku délky těla sledovaných jedinců, tak nejnižších přírůstků dosahoval zpravidla rak pruhovaný, jehož průměrný přírůstek se pohyboval v rozmezí 1,1–1,8 mm (pro druhé, třetí, páté a šesté svlékání) a 2,1 mm (pro svlékání druhé). U ostatních druhů byl průměrný přírůstek v rozmezí od 1,6 do 3 mm. Nejvyššího průměrného přírůstku 3 mm dosáhl po šestém svlékání rak bahenní (tab. 4).

Chladná voda (15°C) – Nejnižší průměrný absolutní přírůstek za svlékání byl zjištěn opět u raka pruhovaného 2,18 mg (po prvním svlékání) a postupně narůstal až na 10,1 mg (po čtvrtém svlékání). Statisticky rozdílné přírůstky nebyly zjištěny mezi raki kamenáčem a raki signálním (Kruskal – Wallisův a Levenův test, $p < 0,05$). Z obr. 24. je patrné, že největších přírůstků na studené vodě dosahoval rak říční, který po 3. svlékání přirostl v průměru 32,5 mg, oproti např. raku kamenáči, který přirostl po stejném svlékání jen 21,4 mg.

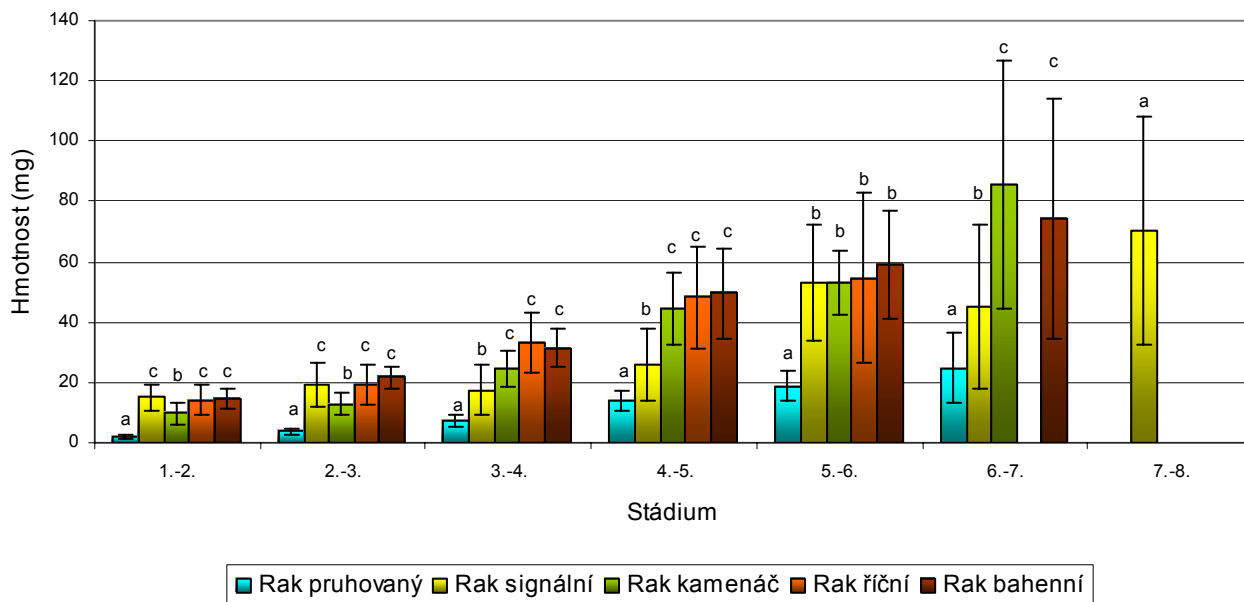
Hodnoty absolutních délkových přírůstků na studené vodě zpravidla odpovídaly údajům zjištěných u raků odchovávaných na teplé vodě. Například u raka kamenáče přírůstek po 2. svlékání na studené vodě činil 1,7 mm, oproti 1,9 mm, jež tento druh dosáhl na teplé vodě. Přehledné znázornění vývoje absolutních přírůstků hmotnosti a délky uvádí tab. 4.

Absolutní přírůstky hmotnosti i délky těla raků a jejich rozptyl postupně narůstaly se zvyšujícím se počtem prodělaných svlékání, větší délkou, hmotností a věkem. Průměrné absolutní přírůstky hmotnosti a délky pro obě teploty byly velmi podobné a rozdíly mezi nimi nebyly statisticky významné (t-test nezávislých vzorků, $\alpha = 0,05$).

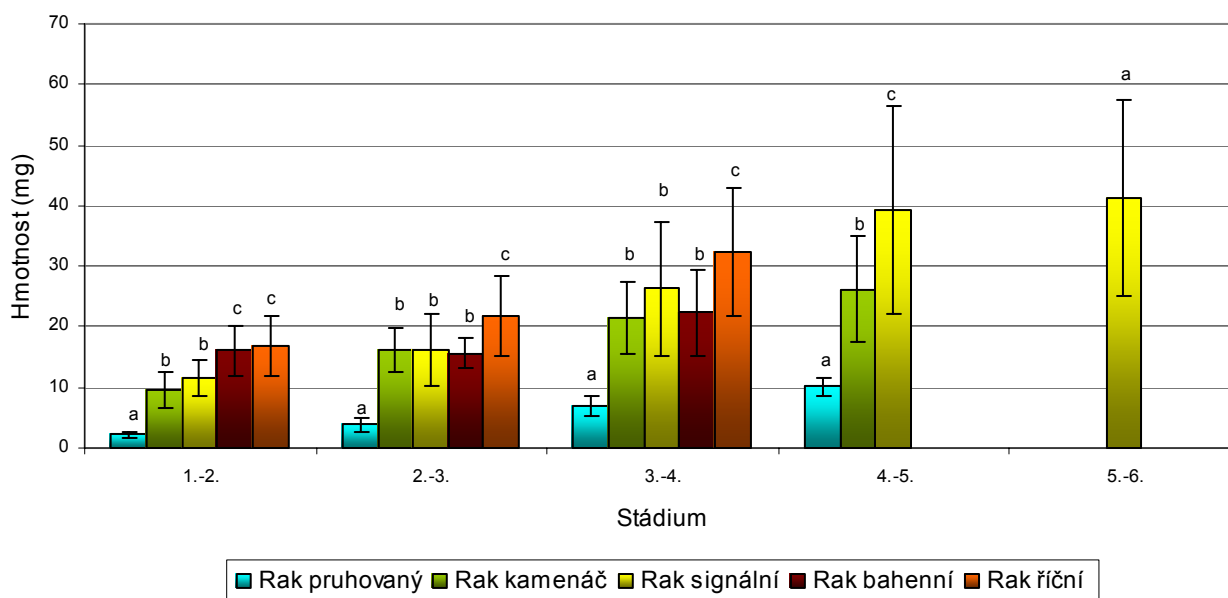
Tab. 4: Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti a délky těla jednotlivých vývojových stádií.

Druh	Teplota	Jednotky	2. stádium	3. stádium	4. stádium	5. stádium	6. stádium	7. stádium	8. stádium
Rak pruhovaný	21°C	(mg)	2,3±0,7	3,8±1,2	7,4±1,9	14,0±3,5	18,6±5,0	24,7±11,6	
		(mm)		1,4±0,4	1,1±0,4	2,1±0,6	1,8±0,5	1,8±0,5	
	15°C	(mg)	2,2±0,6	3,9±1,2	6,8±1,7	10,1±1,4			
		(mm)		1,2±0,4	1,5±0,6	1,3±0,6			
Rak kamenáč	21°C	(mg)	9,8±3,6	12,8±3,5	24,5±6	44,3±12	53,0±10,6	85,6±40,8	
		(mm)		1,9±0,6	2,0±0,6	2,2±0,7	2,1±0,8	2,3±0,6	
	15°C	(mg)	9,5±3,0	16,2±3,8	21,4±6,0	26,2±8,7			
		(mm)		1,7±0,4	2,4±0,9	1,8±1,0			
Rak signální	21°C	(mg)	15,0±5,1	19,0 ±7,3	17,5±8,5	26,6±11,9	53,2±19,4	45,4±27,2	70,0±37,8
		(mm)		2,2±0,7	1,8±0,7	1,6±0,6	1,7±0,9	2,3±1,4	2,2±1,0
	15°C	(mg)	11,5±3,7	16,2±6,0	26,3±11,3	39,3±23,5	37,6±16,2		
		(mm)		2,0±0,6	2,3±0,9	2,2±1,2	1,9±0,8		
Rak říční	21°C	(mg)	14,2±4,7	19,2±7,7	33,0±13,0	48,1±16,7	54,6±36,6		
		(mm)		1,8±0,7	1,9±0,9	2,7±1,2	2,4±1,3		
	15°C	(mg)	16,8±4,9	21,7±10,4	32,5±21,8				
		(mm)		2,1±0,8	2,0±1,2				
Rak bahenní	21°C	(mg)	14,8±4,8	21,6±6,8	31,5±17,8	49,4±17,1	58,8±58,6	74,3±40,0	
		(mm)		1,9±0,6	1,7±1,3	2,7±1,4	2,8±1,4	3,0±1,1	
	15°C	(mg)	16,1±4,1	15,6±9,6	22,3±14,1				
		(mm)		2,3±1,1	2,0±0				

Obr. 23: Průměrný absolutní hmotnostní přírůstek těla jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C.



Obr. 24: Průměrný absolutní hmotnostní přírůstek těla jednotlivých vývojových stádií raků odchovávaných při teplotě vody 15°C.



Rozdílná písmena nad sloupci v rámci stádií označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy, zjištěné Kruskal – Vallisovým testem na hladině významnosti ($p < 0,05$).

4.3. Měření doby trvání vývojových stádií

V rámci této kapitoly byly zjišťovány dva ukazatele: délka trvání jednotlivých vývojových stádií a doba do dosažení dalšího vývojového stádia.

Délka trvání stádia – je období od vylíhnutí do prvního svlékání a následně doby mezi jednotlivými svlékáními.

Doba do dosažení dalšího stádia – je načítání doby trvání jednotlivých stádií.

4.3.1. Délka trvání stádií

Průměrná délka trvání jednotlivých vývojových stádií byla vyhodnocena ve dnech a denních stupních (d°). Vyjádření doby trvání ve dnech je méně přesné, neboť nejsou porovnávány totožné dny z hlediska podmínek prostředí (především teploty vody). Přesnějším hodnocením jsou denní stupně. Dny se uvádějí spíše jako doplňkový údaj a jejich vyhodnocení je uvedeno v přílohách č. 4 - 7.

Teplá voda (21°C) – Nejkratší délky trvání v jednotlivých stádiích byly zaznamenány u raka pruhovaného. Tento druh se v délce trvání stádia výrazně odlišoval od ostatních druhů. Po raku pruhovaném dosahoval, s výjimkou 1. stádia, nejkratších období mezi stádií vždy rak signální. Délky trvání jednotlivých stádií byly s výjimkou 5. stádia totožné po celou dobu odchovu u raka říčního a raka bahenního, kdy např. délka trvání 3. stádia u raka bahenního činila 303,7 d° a u raka říčního 308 d°. Z obr. 25. je patrné, že u raka kamenáče se postupně prodlužovala délka stádia více než u ostatních druhů. Délky jednotlivých vývojových stádií a dobu ve dnech nutnou k jejich dosažení uvádí tab. 5.

Chladná voda (15°C) - Na studeném odchovu byla nejdelší doba trvání stádia v 1. a 2. stádiu u raka říčního, a ve 3. stádiu u raka bahenního. Podmínky studené vody nejvíce vyhovovaly v 1. stádiu raku kamenáči a raku pruhovanému. Rak pruhovaný si na rozdíl od raka kamenáče tento trend udržel až do konce odchovu, což je možno vidět na obr. 26. Rak kamenáč se ve 2. stádiu vyrovnal raku signálnímu, ve 3. a 4. stádiu vykazoval delší dobu trvání stádií než rak signální. Obdobně jako na teplém odchovu se u raka signálního s výjimkou 1. stádia opět projevila rychlejší schopnost svlékání. Délky jednotlivých vývojových stádií a dobu ve dnech nutnou k jejich dosažení uvádí tab. 5.

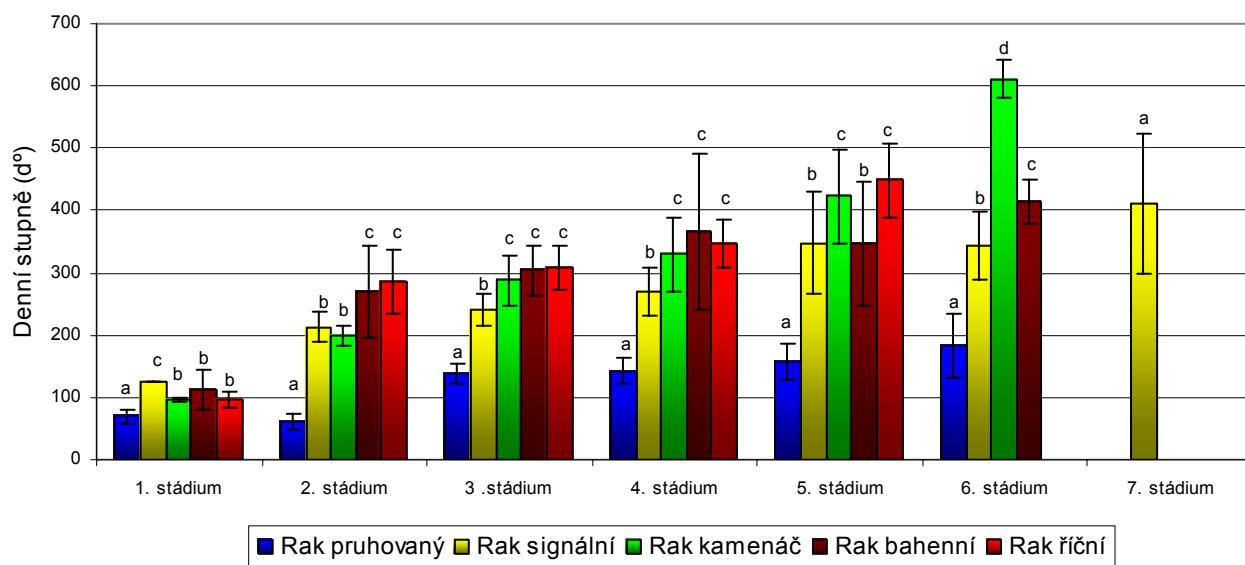
Na obou teplotách se doba trvání stádií postupně prodlužovala. Dále byly zjištěny výrazně kratší intervaly mezi jednotlivými svlékáními (délky trvání stádií) u juvenilů odchovávaných na teplé vodě. Délka všech stádií na chladné vodě byla statisticky významně delší (t-test nezávislých vzorků, $\alpha = 0,05$). Pro příklad lze uvést průměrnou délku trvání 4. stádia u raka kamenáče, která na chladné vodě dosahovala 27,3 dnů resp. 391,9 d° oproti 16 dnům resp. 329 d° na teplé vodě. Rozptyly hodnot u jednotlivých stádií rostly s každým dalším vývojovým stádiem. Na studené vodě byl rozptyl hodnot vyšší než na teplé (Levenův test $p < 0,05$). Z toho vyplývá, že teplá voda vývoj jednotlivých stádií uspíší a lépe synchronizuje vývoj v rámci populace.

Ze zjištěných výsledků lze konstatovat, že teplota vody má taktéž významný vliv na trvání intervalů mezi svlékáními.

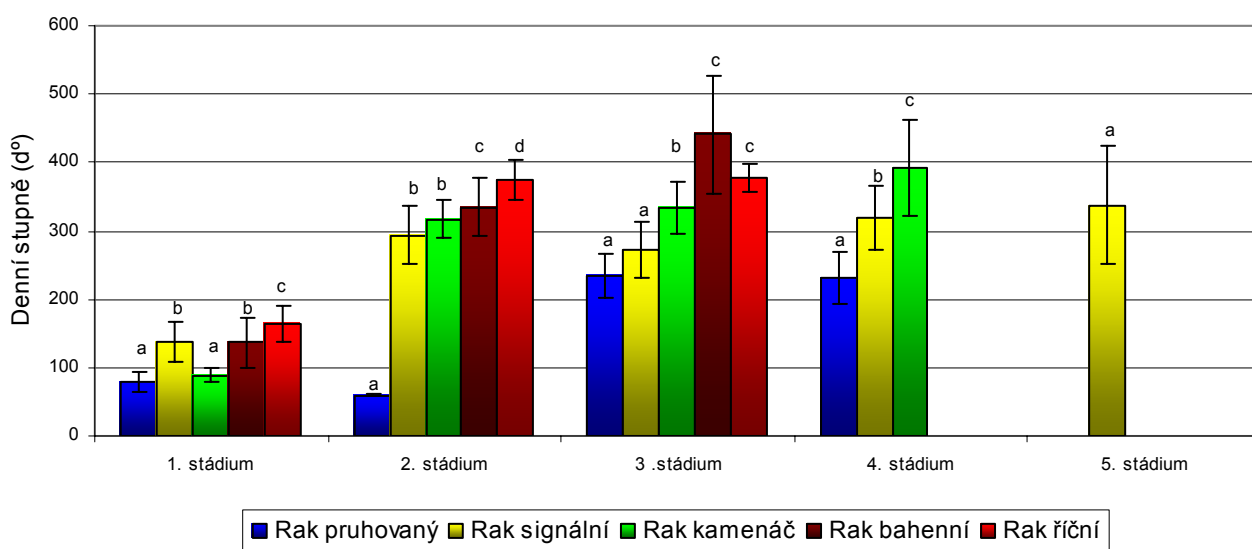
Tab. 5 : Průměrná délka trvání jednotlivých vývojových stádií.

Druh	Teplota	Jednotky	1. stádium	2. stádium	3. stádium	4. stádium	5. stádium	6. stádium	7. stádium
Rak pruhovaný	21°C	dny	2,8±0,4	2,4±0,5	5,8±0,7	6,5±1	6,9±1,2	8,5±1,6	
		(d°)	69,7±10,6	60,6±12,4	137,4±16,1	141,5±20,9	158,8±28,3	183,6±51,1	
15°C	dny	3,9±0,7	3,0±0	13,9±2	13,3±2,2				
	(d°)	79,4±14,7	59,6±1,1	234,6±32	231,5±37,1				
Rak signální	21°C	dny	6,0±0	10,6±1,2	11,6±1,3	12,9±1,9	16,4±2,8	16,6±2,6	19,6±5,5
		(d°)	125,7±6,6	212,6±24,6	239,7±25,7	269,9±39,3	347,5±82,1	344,6±54,6	410,2±112,8
15°C	dny	9,6±1,9	20,2±2,9	19,2±2,8	21,8±3,2	24,1±7,9			
	(d°)	137,4±28,7	293,4±42,6	271,7±40,3	318,6±46	337,3±86,7			
Rak kamenáč	21°C	dny	6,0±0,2	9,5±0,7	14,1±2	16,0±2,7	20,8±4	30,0±1,7	
		(d°)	95,6±3,4	199,2±14,5	287,7±39,2	329,9±59,2	422,3±74,3	610,5±30,8	
15°C	dny	6,4±0,7	21,8±2,1	23,4±2,5	27,3±4,9				
	(d°)	89,1±10,2	316,8±27,9	334,0±37,6	391,9±70,4				
Rak bahenní	21°C	dny	4,9±1	9,8±0,8	14,5±1,8	17,0±6,4	16,8±4,9	20,1±1,9	
		(d°)	112,4±33,1	269,9±73,6	303,7±41,1	364,8±125,5	347,2±99,9	414,5±36,5	
15°C	dny	9,2±2,4	20,4±3,8	31,5±4					
	(d°)	136,5±35,8	334,6±43,3	441,3±86,4					
Rak říční	21°C	dny	4,0±0,9	13,6±2,5	15,0±1,7	16,7±1,8	21,9±2,9		
		(d°)	96,3±11,4	284,4±51,4	308,9±34,9	345,7±38,1	448,6±59		
15°C	dny	11,5±2	26,3±1,8	26,4±1,46					
	(d°)	163,8±27	374,3±28,5	378,1±21					

Obr. 25: Průměrná délka trvání jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C.



Obr. 26: Průměrná délka trvání jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 15°C.



Rozdílná písmena nad sloupci v rámci stádií označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy, zjištěné Kruskal – Vallisovým testem na hladině významnosti ($p < 0,05$).

4.3.2. Doba do dosažení dalšího stádia

Teplá voda (21°C) – V době do dosažení 2. vývojového stádia na teplé vodě byl rak říční totožný s rakem bahenním a rakem kamenáčem. Nejdelší doba byla zaznamenána u raka signálního a naopak nejkratší dobu do dosažení 2. stádia měl rak pruhovaný. V dalších stádiích dochází k opačnému trendu vývoje doby do dosažení jednotlivých stádií u raka signálního a raka kamenáče. Zatímco rak signální se od 4. stádia postupně dostává na druhé místo za raka pruhovaného, který byl po celou dobu odchovu druhem s nejkratší dobou do dosažení jednotlivých stádií, u raka kamenáče nastává opačný vývoj, který je možno vidět na obr. 27. Tento druh byl po raku pruhovaném druhem s nejkratší dobou do dosažení 3. stádia. Ve 4. a 5. stádiu se ovšem vyrovnává raku signálnímu, v 6. stádiu i raku bahennímu a říčnímu a na konci odchovu byl druhem s nejdelší dobou do dosažení 7. vývojového stádia. Průměrná doba do dosažení 7. vývojového stádia činila u raka pruhovaného 704,5 d°, u raka bahenního 1818,2 d°, u raka kamenáče 1947,1 d°. Rak signální dosáhl na teplé vodě 8. vývoj. stádia za 1973,9 d°. U raka říčního bylo zaznamenáno pouze 6 vývojových stádií při sumě 1449,4 d°. Doby do dosažení jednotlivých vývojových stádií a dobu ve dnech, nutnou k jejich dosažení, uvádí tab. 6.

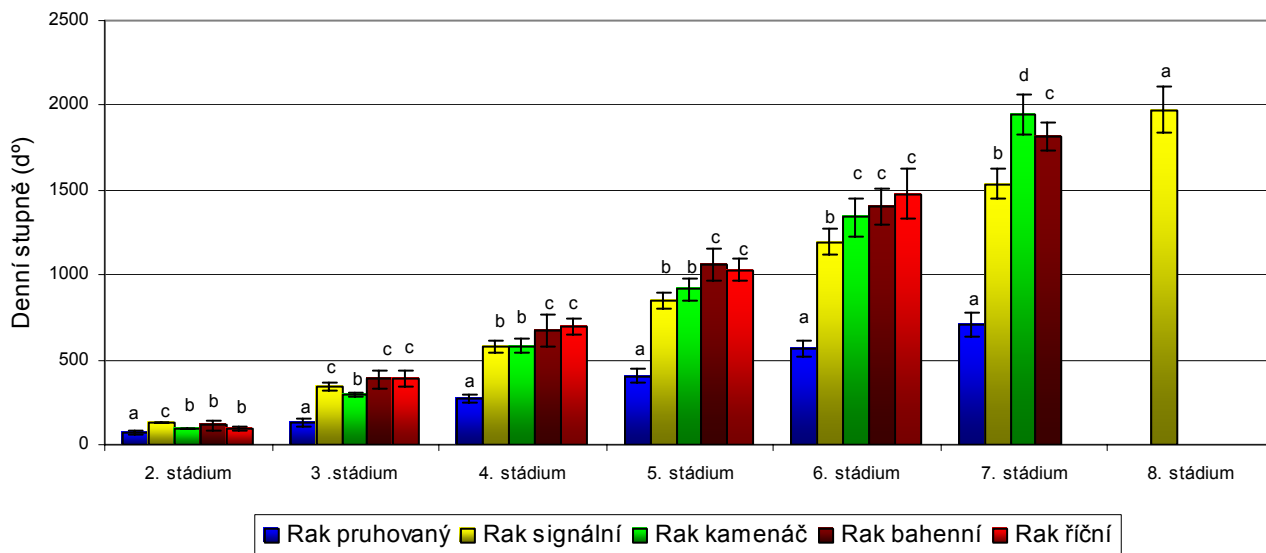
Chladná voda (15°C) - Tyto podmínky nejvíce vyhovovaly v době do dosažení 2. vývoj. stádia raku pruhovanému a raku kamenáči. U raka signálního, bahenního a říčního nebyly v tomto stádiu zjištěny statisticky významné rozdíly. Ve 3. stádiu se neprojevují mezidruhové rozdíly mezi rakem signálním, kamenáčem a rakem bahenním, odlišně se jeví rak říční a rak pruhovaný. Další průběh do dosažení stádia udává obr. 28 a tab. 6.

V době do dosažení jednotlivých stádií byly, obdobně jako v délce trvání stádií, zjištěny statisticky významné rozdíly mezi teplotami. Raci odchovávaní v teplé vodě dosáhli jednotlivých vývojových stádií dříve než raci na studené vodě. Pro příklad lze uvést ráčata raka signálního, která šestého vývojového stádia dosáhla na teplé vodě v průměru ve stáří 57,3 dní (v rozmezí 48–62 dní), v chladné vodě tomu tak bylo ve stáří průměrně 94,4 dní (v rozmezí 81–110). Rozptyly hodnot u jednotlivých stádií rostly s každým dalším vývojovým stádiem. Na studené vodě byl rozptyl hodnot vyšší než na teplé (Levenův test $p < 0,05$). Dále můžeme říci, že raci odchovávaní na teplé vodě byli na konci experimentu o 2–3 vývojová stádia před raky na studené vodě.

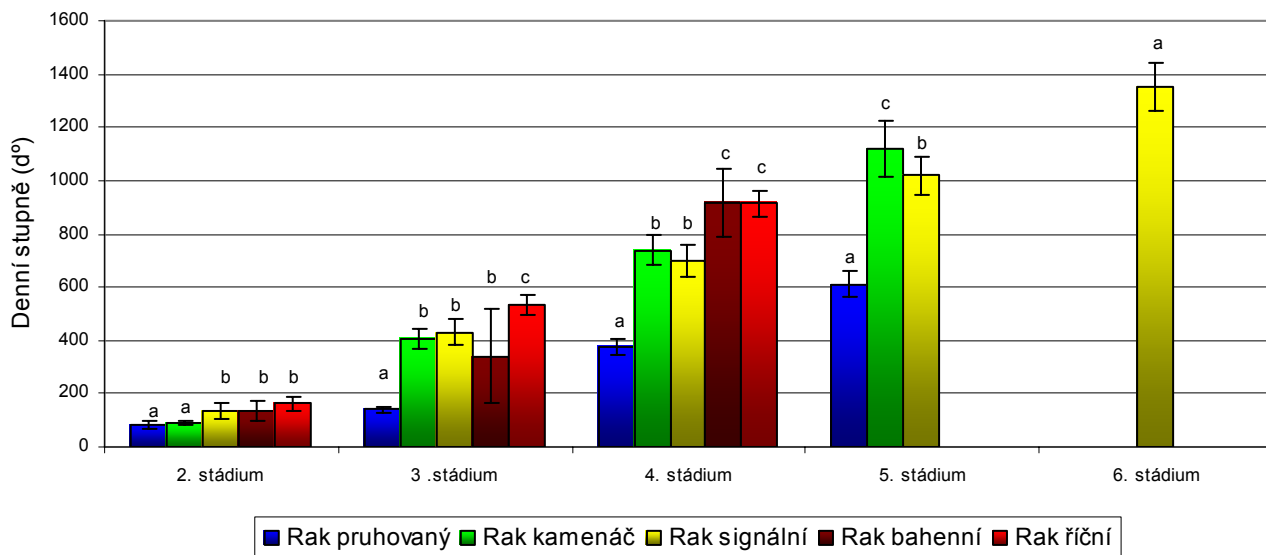
Tab. 6: Průměrná doba do dosažení jednotlivých vývojových stádií.

Druh	Teplota	Jednotky	2. stádium	3. stádium	4. stádium	5. stádium	6. stádium	7. stádium	8. stádium
Rak pruhovaný	21°C	dny	2,8±0,4	5,2±0,8	11,1±1	17,7±1,5	24,3±2	34,7±1,8	
		(d°)	69,7±10,6	130,3±19,2	268,2±24,8	406,5±40,5	563,6±45,8	704,5±72,7	
	15°C	dny	3,9±0,7	6,9±0,7	20,8±2,2	34,2±3,3			
		(d°)	79,9±14,7	139,0±13,7	376,9±30,9	609,6±47,9			
Rak signální	21°C	dny	6,0±0	16,6±1,2	28,1±1,6	41,0±2	57,3±3	73,9±4,2	93,7±4,9
		(d°)	125,7±6,6	338,3±24,6	578,0±33,4	848,6±42,4	1194,9±75	1533,8±88,5	1973,9±136
	15°C	dny	9,6±1,9	29,8±3,5	48,7±4,1	70,7±5,3	94,4±7,8		
		(d°)	137,4±28,7	430,8±49,4	697,9±57,2	1020,0±72,9	1352,8±91,5		
Rak kamenáč	21°C	dny	6,0±0,2	15,5±0,8	29,6±2,1	45,7±2,6	66,6±5,1	97,3±4,9	
		(d°)	95,6±3,4	294,9±14,5	582,7±41	916,5±64,3	1339,9±110,1	1947,1±113,4	
	15°C	dny	6,4±0,7	28,2±2,6	51,5±3,8	78±7,2			
		(d°)	89,1±10,2	404,7±35,3	738,6±56	1119,7±104,5			
Rak bahenní	21°C	dny	4,9±1	14,7±1,2	28,9±2	45,4±7	61,9±6,8	81,6±6,5	
		(d°)	112,4±33,1	384,0±55,1	670,8±91,5	1061,6±94,3	1405,8±107,7	1818,2±82,4	
	15°C	dny	9,2±2,4	30,0±4,3	59,0±4				
		(d°)	136,5±35,8	384,4±161,7	915,5±125,6				
Rak říční	21°C	dny	4,0±0,9	18,1±2,9	32,5±2,1	49,4±3,1	71,0±4,5		
		(d°)	96,3±11,4	380,2±45,9	683,9±48,2	1036,7±67,8	1449,7±149,2		
	15°C	dny	11,5±2	36,6±5,6	62,8±6				
		(d°)	163,8±27	535,2±36,4	914,7±47,6				

Obr. 27: Průměrná doba do dosažení dalšího vývojového stádia u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C.



Obr. 28: Průměrná doba do dosažení dalšího vývojového stádia u raků odchovávaných při teplotě vody 15°C.



Rozdílná písmena nad sloupci v rámci stádií označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy, zjištěné Kruskal – Vallisovým testem na hladině významnosti ($p < 0,05$).

4.4. Souhrnné výsledky pro jednotlivé druhy raků

Podrobné zpracování studie růstu (průměrná hmotnost, délka, přírůstek), frekvence svlékání, období líhnutí, délky trvání stádií, doby do dosažení dalších stádií a období trvání jednotlivých stádií včetně minimálních a maximálních hodnot v provedeném experimentu uvádí tab. 7-16.

Tab. 7: Souhrnná tabulka pro raka signálního odchovaného v teplé vodě.

Rak kamenáč										
Líhnutí	23.5. - 24.5. 2005		Biometrika		Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°
I.	36	24.5. - 29.5.	15,8 (13,4-19,7)				6,0 (6-6)	125,7 (125,7-125,7)		
II.	36	30.5. - 12.6.	29,9 (21,5-40,1)	10,3 (9-11)	15,0 (5,7-25,9)		10,6 (9-13)	212,6 (181,1-265,6)	6,0 (6-6)	125,7 (125,7-125,7)
III.	36	8.6. - 21.6.	48,9 (37,8-78,0)	12,4 (11-13)	19,0 (8,8-48,1)	2,2 (1-3,5)	11,6 (9-14)	239,7 (167-292,7)	16,6 (15-19)	338,3 (306,9-388,4)
IV.	35	19.6. - 5.7.	65,4 (43,0-84,0)	14,3 (12,5-16)	17,5 (7,5-37,4)	1,8 (0,5-4)	12,9 (10-19)	269,9 (171,9-335,1)	28,1 (26-33)	578,0 (534-681,1)
V.	32	30.6. - 23. 7.	91,5 (61,8-131,0)	15,9 (14-18)	26,2 (10,3-55,1)	1,6 (1-2,5)	16,4 (10-20)	347,5 (145,3-592,9)	41,0 (37-43)	848,6 (769,3-890,4)
VI.	32	17.7. - 10.8.	144,7 (90,0-233,2)	17,6 (14,5-21)	53,2 (18,-114,1)	1,7 (0,5-3,5)	16,6 (10-23)	344,6 (209-473,6)	57,3 (48-62)	1194,9 (993,8-1383,9)
VII.	31	31.7. - 8.9.	193,3 (119,8-395,2)	20,0 (17-22)	45,4 (18,9-162)	2,3 (0,5-5,5)	19,6 (13-36)	410,2 (266,1-742,2)	73,9 (64-83)	1533,7 (1340,9-1715)
VIII.	15	20.8. - ???	258,6 (149,0-346,7)	22,2 (19-23)	70,0 (15,2-144,3)	2,2 (0,5-4)			93,7 (87-103)	1973,9 (1177,2-2396,1)
Počet svlékání		7 X								

Tab. 8: Souhrnná tabulka pro raka signálního odchovaného v chladné vodě.

Rak signální (15°C)										
Líhnutí	23. - 27. 5. 2005		Biometrika		Přirůstek		Délka trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°
I.	38	24.5. - 7.6.	15,8 (13,4-19,7)				9,6 (6-13)	137,4 (83,5-180)		
II.	36	3.6. - 26.6.	26,5 (20,5-32,5)	9,8 (9-11)	11,6 (6-17)		20,2 (15-23)	293,4 (218,1-390,5)	9,6 (6-13)	137,4 (83,5-180)
III.	34	21.6. - 19. 7.	42,8 (30-59,6)	11,8 (10,5-13)	16,2 (5,3-32)	2,0 (0,5-3,5)	19,2 (13-24)	271,7 (181,6-354,8)	29,8 (24-37)	430,7 (341,6-529,2)
IV.	33	10.7. - 12.8.	68,7 (43,5-95,4)	14,2 (12-16)	26,3 (9,3-50,6)	2,3 (1-4,5)	21,8 (15-28)	318,6 (217,7-405,3)	48,7 (42-56)	697,9 (596,7-811,8)
V.	23	29.7. - 13.9.	110,4 (73,8-156,2)	16,7 (15-18)	39,7 (18,7-78,8)	2,2 (1-6)	24,1 (13-47)	337,3 (183,6-563,5)	70,7 (62-81)	1020,0 (883,3-1156,3)
VI.	12	22.8. - ???	147,0 (116,8-201,4)	18,5 (17-19)	41,3 (16,8-67,1)	1,9 (1-3)			94,4 (81-110)	1352,8 (1156,9-1502,7)
Počet svlékání		5 X								

Tab. 9.: Souhrnná tabulka pro raka bahenního odchovaného v teplé vodě.

Rak bahenní										
Líhnutí	8. - 9. 6. 2005		Biometrika		Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°
Stádium I.	36	9.6. - 15.6.	20,5 (19,3-22,2)				4,9 (3-7)	112,4 (82 - 186,1)		
II.	36	13.6. - 29. 6.	34,5 (23,8-45,7)	11,2 (10-12,5)	14,8 (7,9-26)		9,8 (8-11)	269,9 (168-360,4)	4,9 (3-7)	112,4 (82-186,1)
III.	29	24.6. - 14. 7.	55,4 (31,5-70,6)	13,1 (11-14)	21,6 (11,9-31,7)	1,9 (1-3)	14,5 (12-18)	303,7 (245,6-368,9)	14,7 (13-18)	383,9 (291,2-442,4)
IV.	20	6.7. - 1.8.	91,4 (62-140,7)	15,1 (13-18)	31,5 (10-64,8)	1,7 (1-5,5)	17,0 (11-30)	364,8 (226,1-618,9)	28,9 (25-32)	670,8 (442,4-790,2)
V.	13	23.7. - 20.8.	138,9 (98,9-182,3)	17,5 (15-20)	49,4 (19,7-70,4)	2,7 (1-5)	16,8 (9-24)	347,2 (184,5-497,2)	45,4 (37-60)	1061,6 (913,7-1245,3)
VI.	10	9.8. - 9.9.	197,9 (142,9-236,8)	20,0 (19-21)	58,8 (37,1-91,7)	2,8 (1-6)	20,1 (18-23)	414,5 (369,6-466,2)	61,9 (53-73)	1405,8 (1245,3-1578,7)
VII.	7	28.8. - ???	269,5 (180-351,7)	23,6 (21,5-27)	74,3 (37,1-91,7)	3,0 (1,5-4)			81,6 (72-92)	1818,2 (1675,1-1915,8)
Počet svlékání	6 X									

Tab. 10.: Souhrnná tabulka pro raka bahenního odchovaného v chladné vodě.

Rak bahenní										
Líhnutí	8.6. - 9. 6. 2005		Biometrika		Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°
Stádium I.	18	9.6. - 18.6.	20,5 (19,3-22,2)				9,2 (7-15)	136,5 (103,3-221,9)		
II.	18	16.6. - 16.7.	36,7 (31,2-43,7)	11,2 (10,5-12)	16,1 (9,8-23,9)		20,4 (14-25)	334,6 (269,9-412,5)	9,2 (7-15)	136,5 (103,3-221,9)
III.	11	8.7. - 18.8.	45,7 (40,2-48,9)	13,5 (13-14)	15,6 (13,8-17,4)	2,3 (1,5-3)	31,5 (28-35)	441,3 (380,1-502,3)	30,0 (21-37)	384,4 (103,3-545,8)
IV.	2	13.8. - ???	61,9 (56,2-67,5)	15,5 (15-16)	22,3 (17,3-27,3)	2,0 (2-2)			59,0 (53-65)	915,5 (826,8-1004,3)
Počet svlékání	3 X									

Tab. 11 : Souhrnná tabulka pro raka kamenáče odchovávaného v teplé vodě.

Rak kamenáče											
Líhnutí	5.6. - 7.6. 2005		Biometrika			Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°	
I.	36	5.6. - 11.6.	20,0 (16,4-23,1)				6,0 (6-7)	95,6 (95-115,5)			
II.	36	12.6. - 23. 6.	28,5 (21,4-35,6)	9,7 (9-10,5)	9,8 (4,1-16,8)		9,5 (8-12)	199,2 (187,9-250,8)	6,0 (6-7)	95,6 (95-115,5)	
III.	28	21.6. - 6.7.	41,4 (33,9-50,9)	11,8 (10,5-13)	12,8 (7,4-19,4)	1,9 (1-3)	14,1 (12 - 21)	287,7 (234,3-437,2)	15,5 (14-18)	294,9 (282,9-345,8)	
IV.	24	3.7. - 26.7.	65,8 (49,6-79,4)	13,7 (11-15)	24,5 (14,8-35,4)	2,0 (0,5-3)	16,0 (9-20)	329,9 (185,1-431,6)	29,6 (27-37)	582,7 (517,2-741,3)	
V.	21	19.7. - 25.8.	112,6 (79,1-157,8)	16,0 (14,5-17,5)	44,3 (25,8-73,5)	2,2 (1-3)	20,8 (16-30)	422,3 (332,7-620,3)	45,7 (39-50)	916,5 (782,1-1028,6)	
VI.	19	6.8. -13.9.	162,7 (130-208,7)	18,2 (16-19,5)	53,0 (40,4-76,5)	2,1 (0,5-3)	30,0 (27-32)	610,5 (552,1-642,9)	66,6 (60-80)	1339,9 (1153,9-1626,7)	
VII.	6	5.9. - ???	237,0 (198,1-283)	20,5 (19-22)	85,6 (33,7-127,5)	2,3 (1,5-3)			97,3 (90-103)	1947,1 (1811,9 - 2126,9)	
Počet svlékání	6 X										

Tab. 12 : Souhrnná tabulka pro raka kamenáče odchovávaného v chladné vodě.

Rak kamenáče											
Líhnutí	5.6. - 8.6.2005		Biometrika			Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°	
I.	18	5.6. - 12.6.	20,0 (16,4-23,1)				6,4 (6-8)	89,1 (83,5-112,7)			
II.	18	12.6. - 13.7.	28,2 (23,6-35,2)	9,4 (9-10,5)	9,5 (5,6-16,7)		21,5 (19-28)	316,8 (279,4-398,1)	6,4 (6-8)	89,1 (83,5-112,7)	
III.	10	1.7. - 5.8.	42,4 (33,5-55,3)	11,1 (10,5-13)	16,2 (11,6-23,5)	1,7 (1-2,5)	23,4 (18-27)	334,0 (257,5-386,1)	28,2 (25-36)	404,7 (362,9-511,4)	
IV.	8	25.7. - 2.9.	66,7 (52,4-96)	13,5 (12-15)	21,4 (11,8-32,9)	2,4 (1-4)	27,3 (19-33)	391,9 (274,9-475,8)	51,5 (45-59)	738,6 (640,7-848,6)	
V.	7	18.8. - ???	107,1 (87,5-152)	15,7 (15-16)	26,2 (12,9-35,2)	1,8 (1-3)			78,0 (68-88)	1119,7 (975,6-1264,1)	
Počet svlékání	4 X										

Tab. 13: Souhrnná tabulka pro raka pruhovaného odchovávaného v teplé vodě.

Rak pruhovaný											
Líhnutí	17.6. - 18.6.2006		Biometrika			Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Dny	d°	Dny	d°
I.	20	17.6. - 20. 6	6,4 (3,2-8,9)					2,8 (2-3)	69,7 (50,1-75,6)		
II.	20	19.6. - 22.6.	8,2 (7,1-9,8)	6,8 (5-7)	2,3 (1,4-3,9)			2,4 (2-3)	60,7 (48,8-74,3)	2,8 (2-3)	69,7 (50,1-75,6)
III.	72	22.6. - 30.6.	11,9 (10-14,2)	8,3 (8-9,5)	3,8 (2,5-6,2)	1,4 (0,7-2)		5,8 (5-7)	137,4 (115,4-163,3)	5,2 (4-6)	130,3 (101,1-149,4)
IV.	72	28.6. - 8.7.	19,4 (15,1-27)	9,1 (8-10)	7,4 (3,4-13)	1,1 (0,5-2)		6,5 (5-9)	141,5 (109,1-177,8)	11,1 (9-13)	268,2 (217,5-312,7)
V.	42	3.7. - 16.7.	34,0 (29-40,1)	11,5 (10-13)	14,0 (7,5-23)	2,1 (1-3)		6,9 (5-9)	158,8 (112,5-208,6)	17,7 (15-20)	406,5 (264,6-466,8)
VI.	30	9.7. - 23.7.	51,9 (43,4-59,5)	13,2 (12-14)	18,6 (11,2-27,3)	1,8 (1-3)		8,5 (7-11)	183,6 (115,3-255,4)	24,3 (21-29)	563,7 (487,2-674,7)
VII.	8	18.7. - ???	73,2 (62,1-98,2)	15,0 (14-16)	24,7 (17,7-45,3)	1,8 (1-2)				34,7 (30-35)	704,5 (580,8-812,4)
Počet svlékání	6 X										

Tab. 14: Souhrnná tabulka pro raka pruhovaného odchovávaného v chladné vodě.

Rak pruhovaný											
Líhnutí	20.6. - 21. 6.2006		Biometrika			Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Dny	d°	Dny	d°
I.	20	20.6. - 24.6.	6,7 (3,5-8,1)					3,9 (3-5)	79,4 (62,7-103,1)		
II.	20	23.6. - 27.6.	8,6 (6,3-9,9)	6,7 (6-7,5)	2,2 (1,2-4)			3,0 (3-3)	59,6 (57,3-60,5)	3,9 (3-5)	79,9 (62,7-103,1)
III.	72	26.6. - 13. 7.	12,1 (9,9-14,5)	8,4 (7-9)	3,9 (2,1-6,7)	1,2 (0,5-1,5)		13,9 (10-16)	234,6 (167,5-271,5)	6,9 (6-8)	139,0 (122,7-160,4)
IV.	23	7.7. - 1.8.	18,8 (16,4-23,5)	9,4 (9-11)	6,8 (3,3-11,2)	1,5 (0,5-2,5)		13,3 (11-18)	231,5 (191,9-313,1)	20,8 (16-24)	376,9 (315,2-415,5)
V.	14	19.7. - ???	29,7 (25,6-34,5)	10,7 (9,5-12,5)	10,1 (7,5-12,9)	1,3 (0,5-2,5)				34,2 (27-41)	609,6 (523,6-707,7)
Počet svlékání	3 X										

Tab. 15: Souhrnná tabulka pro raka říčního odchovávaného v teplé vodě.

Rak říční											
Líhnutí	23.6. - 24.6.2005		Biometrika			Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°	
Stádium I.	36	23.6. - 27.6.	21,3 (17,5-26,5)				4,0 (3-5)	96,3 (85,1-107,6)			
II.	36	27.6. - 14.7.	35,5 (27,4-43,3)	11,1 (10-12)	14,2 (6,4-23,9)		13,6 (9-20)	284,4 (207,2-413,9)	4,0 (3-5)	96,3 (85,1-107,6)	
III.	25	8.7. - 28.7.	53,1 (35,4-76)	12,9 (12-14,5)	19,2 (10,4-35,9)	1,8 (0,5-3)	15,0 (13-19)	308,9 (265,2-394,1)	18,1 (14-29)	380,4 (314,8-599)	
IV.	21	23.7. - 19.8.	82,5 (61,5-105,1)	14,8 (13,5-16)	33,0 (16,1-59,6)	1,9 (0,5-4)	16,7 (14-22)	345,7 (291,6-455,9)	32,5 (30-40)	683,9 (642,5-851,5)	
V.	18	8.8. - 11.9.	128,6 (84,4-182)	17,3 (15-19)	48,1 (21,5-78,4)	2,7 (1-4,5)	21,9 (15-26)	448,6 (306,9-531,6)	49,4 (46-57)	1036,7 (954,1-1199,3)	
VI.	16	22.8. - ???	186,2 (144,6-277,7)	19,8 (18-23)	54,6 (20-127,2)	2,4 (0,5-5)			71,0 (61-78)	1449,7 (1015,1-1644)	
Počet svlékání	5 X										

Tab. 16: Souhrnná tabulka pro raka říčního odchovávaného v chladné vodě.

Rak říční											
Líhnutí	23.6. - 24.6.2005		Biometrika			Přirůstek		Doba trvání stádia		Doba dosažení dalšího stádia	
	N	Období	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Hmotnost (mg)	Délka (mm)	Dny	d°	Dny	d°	
Stádium I.	36	23.6. - 7.7.	21,3 (17,5-26,5)				11,5 (8-15)	163,8 (115,8-210,5)			
II.	36	1.7. - 5.8.	38,2 (31,6-46,8)	10,8 (10-12)	16,8 (10-27,6)		26,3 (24-32)	374,3 (340,1-472,3)	11,5 (8-15)	163,8 (115,8-210,5)	
III.	26	28.7. - 4.9.	59,0 (43-94)	12,8 (11-14)	21,7 (13,4-39,9)	2,1 (0,5-3,5)	26,4 (24-30)	378,1 (344,3-429,5)	36,6 (11-44)	535,2 (482,4-631,5)	
IV.	23	23.8. - ???	92,8 (67,5-212,6)	15,0 (13-18)	32,5 (17,9-61,6)	2,0 (0,5-5)			62,8 (39-74)	914,7 (856,9-1060,9)	
Počet svlékání	3 X										

5. DISKUZE

5.1. Období líhnutí ráčat

K líhnutí ráčat dochází po ukončeném embryonálním vývoji zárodku raka (XV. stádium embryonálního vývoje) (Zehnder, 1934). Samotný termín líhnutí je nejvíce závislý na průběhu teploty vody při inkubaci vajíček. Podle Abrahamssona (1972) a Pursiainen & Erkama (1991) můžeme říci, že chladné jaro způsobuje pozdější termín líhnutí ráčat a tím i zkracuje celkovou délku 1. vegetačního období. Holdich et al. (2006) obecně uvádí, že u raků, vyskytujících se v mírném podnebném pásu, dochází k líhnutí ráčat v teplé části roku (jaro), oproti období páření a kladení vajíček, které probíhá v chladné části roku (podzim). Můžeme říci, že samotné období líhnutí ráčat v jednotlivých částech světa je odvislé od nadmořské výšky, zdrojích vody v příslušných tocích a expozici.

Nejkomplexnější studii vztahující se k období líhnutí ráčat v klimatických podmínkách střední Evropy provedl Stucki (2002). Tento autor zaznamenal ve své studii ve švýcarských jezerech líhnutí ráčat u sedmi druhů (rak kamenáč, říční, bahenní, pruhovaný, signální, červený a bělonohý), a to na konci května a v průběhu měsíce června. Tyto údaje odpovídají i námi zjištěným obdobím líhnutí u raků odchovávaných v našem experimentu.

V rámci našeho experimentu se rak signální líhnul od 23. do 24. května na teplé vodě, resp. od 23. do 27. května na studené vodě. Kozák *et al.* (1998) a Jonsson (1995) uvádí, že u raka signálního dochází k líhnutí ráčat o měsíc dříve, než u raka říčního. Tato tvrzení potvrzuje i námi provedený pokus, při kterém se ráčata raka říčního líhla v období od 23. až do 24. června, což bylo přesně po 4 týdnech od začátku líhnutí u raka signálního. V rámci středoevropského regionu probíhá líhnutí u raka říčního od června do počátku července (Westin a Gydemo, 1986, Ackfors *et al.*, 1989), což potvrdil i náš pokus.

Juvenilní jedinci raka pruhovaného se ve Švýcarsku líhnou na konci května a začátkem měsíce června (Stucki, 2002). V našem experimentu se jednalo až o druhou polovinu června (20.–21. 6.), což by potvrzovalo spíše výsledky Talbota (1985), který uvádí líhnutí ráčat až v pozdním červnu. Kozák et al. (in pres) uvádí ve svém pokusu líhnutí ráčat raka pruhovaného v období od 11. do 16. června.

Proces líhnutí u raka bahenního probíhá v rámci Evropy od konce května (oblast střední Evropy) až do začátku července (oblasti kolem Kaspického moře) (Holdich *et al.*, 2006). V našem experimentu se ráčata líhla od 8. do 9. června. Námi zjištěné údaje o době líhnutí ráčat raka bahenního jsou totožné s informacemi, které uvádí Stucki (1999). Tento autor zaznamenal období líhnutí při teplotě vody 17 – 19°C od konce května do poloviny června.

Údaje o raku kamenáči, který se líhnul od 5. do 8. června, se shodují s údaji Holdich *et al.* (2006), který uvádí líhnutí ráčat v období od konce května do poloviny července v závislosti na teplotě vody v dané lokalitě.

Na základě našeho pokusu lze konstatovat, že druhem s nejranějším obdobím líhnutí ráčat je rak signální, který je následován raki kamenáčem a raki bahenním. Pozdější doba líhnutí, oproti výše uvedeným druhům, byla sledována u raka pruhovaného. Druhem s nejpozdější dobou líhnutí ráčat byl rak říční, který se líhnul až ke konci června. Námi zjištěný trend nástupu období líhnutí u jednotlivých druhů odpovídá práci Stucki (2002).

5.2. Růst

Velikost raků je jedním ze základních faktorů určujících dominanci u raků (Butler & Stein, 1985), větší raci většinou zvítězí nad menšími jedinci (Momot 1984). Naše výsledky potvrzují očekávaný rychlejší růst ráčat v průběhu první vegetační sezóny u všech druhů raků odchovávaných v teplejší vodě (21°C). Tuto výhodu juvenilní raci získali především díky vyšší teplotě vody, která zapříčinila častější svlékání v průběhu odchovu. Tento výsledek kladně koreluje s výsledky různých autorů (Reynolds, 2002; Lowery, 1988; Tamkevicieni, 1988; Lowery & Holdich, 1988, Price & Payne, 1984; Ackefors *et al.*, 1995; Cukerzis, 1988 a dalších). Nejvíce informací lze z literatury vyčíst pro raka říčního a raka signálního, oproti strohým údajům, které literatura uvádí u raka bahenního, pruhovaného a kamenáče.

Ráčata raka říčního v našem pokusu dosáhla během 71 dnů 6. stádia (při hmotnosti 186 mg a délce 19,8 mm) a během 63 dnů 4. vývojového stádia (při hmotnosti 92,8 mg a délce 15 mm) v teplé resp. chladné vodě. Tyto údaje zpravidla odpovídají hodnotám naměřeným Cukerzisem (1988), který uvádí pro 4. vývojové stádium délku 14–15 mm a průměrnou hmotnost 70 mg. Šesté stádium autor popisuje délkou 20 mm a hmotností

až 180 mg. I studie Ackefors et al. (1995) se shoduje s námi zjištěnými údaji. Pro příklad lze uvést hmotnost 2. vývojového stádia (29–38 mg). V našem pokusu se pohybovala na úrovni 35,5 mg (21°C). Gydemo (1989) uvádí pro stejné stádium raka říčního délku 12 mm a hmotnost okolo 40 mg. Westman (1993) ve své studii porovnával růst raka říčního s rakem signálním v průběhu tří vegetačních sezón. Na konci první vegetační sezóny měřil rak říční v průměru 21 mm a rak signální 30 mm. Abrahamsson (1966, 1971, 1972) uvádí, že růstový potenciál juvenilního raka říčního, určený frekvenční délkovou analýzou, se na konci prvního roku (0+) pohybuje okolo 12–23 mm, což se potvrdilo i v našem experimentu.

Juvenilní raci signální dospěli v našem pokusu během 93 dnů do 8. stádia (při hmotnosti 259 mg a délce 22,2 mm) a během 94 dnů do 6. stádia (při hmotnosti 147 mg a délce 18,5 mm) v teplé resp. chladné vodě. Ackefors et al. (1995) udává dosažení 8. vývojového stádia u raka říčního mezi 78 a 83 dny (při teplotě udržované na 20°C) a jeho hmotnost v 7. vývojovém stádiu 170–220 mg. To zhruba odpovídá námi zjištěné hmotnosti raka signálního 177–210 mg v témže stádiu při teplotě vody 21°C. Ackefors et al. (1995) ale uvádí vysoké hodnoty hmotnosti pro raka říčního i ve 2. vývojovém stádiu 29–38 mg, což je nepatrně více, než u našich hodnot pro raka signálního – 26,5 mg (chladná voda), 29,9 mg (teplá voda). Tulonen *et al.* (1995) uvádí rychlejší růst raka signálního než raka říčního s průměrnou délkou hlavohrudi po jedné vegetační sezóně 17,9 mm. Tamkeviciene (1988) uvádí rovněž rychlejší růst juvenilních raků signálních při teplotě vody 17–23°C. V této studii raci signální během prvních 4 měsíců života prodělali 8–9 svlékání a dosahovali délky těla 29–34 mm a hmotnosti 560–740 mg. Podle Tamkeviciene (1988) rak signální ve stáří 68 dnů dosahuje hmotnosti přibližně 279 mg a délky 22 mm. Téměř stejných hodnot dosáhl i rak signální v našem experimentu ve stáří 91 dnů (21°C). Savolainen et al. (2004) uvádí hmotnost raka signálního přibližně ve 100 dnech věku (odchovávaného při teplotách mezi 16,1–19,4°C) ve velmi širokém rozmezí 294–690 mg. Raci v našem experimentu však byli prostorově omezeni, což podle Ackeforse et al., (1995) negativně ovlivňuje růst raků.

Jedna z mála informací týkající se růstu raka pruhovaného v prvním roce života pochází od Andrewse (1907). Tento autor zjistil na konci vegetační sezóny velké rozdíly ve velikosti juvenilů (23–63 mm). Ráčata raka pruhovaného v našem pokusu dosáhla v teplé vodě během 35 dnů 7. vývojového stádia (při hmotnosti těla 73 mg a délce 15 mm).

Na studeném odchovu dosáhla ráčata během stejného období 5. vývojového stádia (při hmotnosti 30 mg a délce 10,7 mm). Pokus u raka pruhovaného byl ukončen 1. 8. 2006 z důvodu nízkého počtu sledovaných jedinců, který byl nejspíše způsoben teplotou vody, popřípadě nevhodnou potravní nabídkou či jiným námi neznámým faktorem. Goyert a Avault (1978) uvádějí, že na růst a přežití raků může mít neblahý vliv i malý prostor odchovné nádrže. Talbota (1985) uvádí, že juvenilní raci pruhovaní po osamostatnění od samice (ve třetím vývojovém stádiu) mají délku hlavohrudi 4 mm. V našem experimentu ráčata raka pruhovaného ve 3. stádiu měřila 8,3 mm (celková délka těla) a 8,4 mm na teplé resp. studené vodě, což po přepočtu na délku hlavohrudi zhruba odpovídá výsledkům Talbota (1985). Autor dále uvádí, že před koncem první vegetační sezóny (listopad) délka hlavohrudi u tohoto druhu přesahuje i hranici 27 mm. Pieplow (1938) uvádí rychlost růstu pro první rok života na úrovni 40–65 mm. Kozák *et al.* (in pres) zjistili, že rak pruhovaný roste v prvním roce života rychleji než rak říční. Ačkoliv byl po vylíhnutí rak pruhovaný mnohem menší, velikost obou druhů se vyrovnala 11 týdnů po vylíhnutí (8 týdnů odchovu). Dá se tedy předpokládat, pokud by naše pozorování u raka pruhovaného trvalo déle než sledovaných 5 týdnů, že by se rak pruhovaný i v našem pokusu vyrovnal raku říčnímu (možná i jiným námi sledovaným druhům). Porovnáme-li délky těla raků (15–17 mm) odchovávaných v 15 l akváriu po 4 týdnech odchovu naměřené Kozákem *et al.* (2006) s našimi výsledky (12–14 mm) ve stejném období, dojdeme k závěru, že na nižší délky dosažené u našich raků by mohla mít vliv velikost odchovné plochy. Toto zjištění by opět potvrdilo negativní vliv velikosti odchovné plochy na růst raků (Ackefors *et al.*, 1995). Kozák *et al.*, (in pres) dále uvádí, že rak pruhovaný dosáhl na konci první vegetační sezóny (věk 19 týdnů) větší průměrné velikosti a hmotnosti (29,3±5,17 mm a 616±412,53 mg), ale zároveň s větší variabilitou než rak říční (21,2±1,82 mm a 229,9±59,45 mg). V našem pokusu se větší variabilita u raka pruhovaného neprojevila, a to nejspíše ze dvou důvodů. Zaprvé to mohlo být krátkou dobou odchovu juvenilních ráčat (5 týdnů), zadruhé jakási prostorová omezenost, která způsobila jisté vyrovnání růstu v průběhu odchovu, nebo metodická chyba. Autoři se domnívali, že rozrůst u raka pruhovaného by mohl být způsoben rozdílným počtem svlékání u jednotlivých raků. V důsledku krátkého období odchovu raka pruhovaného se v našem pokusu tuto domněnku nepodařilo potvrdit ani vyvrátit. U raků postupně sice docházelo k částečnému překrývání období jednotlivých stádií, ale ani

v jednom případě nedošlo k tomu, aby jeden rak byl například ve třetím vývojovém stádiu a druhý již v pátém stádiu.

Juvenilní jedinci raka bahenního dosáhli v našem pokusu po 82 dnů odchovu 7. vývojového stádia (při hmotnosti 270 mg a délce 24 mm) a 4. vývojového stádia (při hmotnosti 62 mg a délce 16 mm) na teplé resp. studené vodě. Porovnání našich výsledků s jinými autory je poněkud obtížné, jelikož většina autorů uvádí jen biometrické ukazatele raka bahenního na konci první vegetační sezóny. Například Alekhnovich (1999) zaznamenal, že raci bahenní v Bělorusku na konci prvního roku života (0+) dosahují průměrné délky 31 mm a hmotnosti 856 mg. Ze všech sledovaných druhů dosahoval rak bahenní v námi provedeném experimentu nejvyšších hmotností i délek. Jeho velikost jednotlivých stádií se nejvíce podobala raku říčnímu. V porovnání s rakem signálním, který dosáhl hmotnosti 258 mg za 8 vývojových stádií, stačilo raku bahennímu k dosažení podobné hmotnosti 269 mg pouze 7 vývojových stádií. Z výše uvedeného vyplývá, že rak bahenní je v rámci jednotlivých vývojových stádií sice druhem s nejvyššími hmotnostními a délkovými ukazateli, ale v důsledku dřívější doby líhnutí a vyššímu růstovému potenciálu, který je způsoben častějším svlékání, se mu rak signální v průběhu odchovu vyrovná. Stucki (2002) ve své studii na švýcarských jezerech srovnával růst u sedmi druhů raků (*A. astacus*, *A. leptodactylus*, *A. torrentium*, *A. pallipes*, *P. leniusculus* a *O. limosus*, *Procambarus clarkii*). Rak bahenní v této studii vykazoval ze všech sledovaných druhů nejvyšší délky hlavohrudi. Juvenilní jedinci tohoto druhu dosáhli na konci první vegetační sezóny v průměru délky hlavohrudi více než 19 mm, kdežto juvenilové u nejpomaleji rostoucích druhů (*A. torrentium*, *A. pallipes*) dosáhli v průměru jen 14,6–15,4 mm délky hlavohrudi. V porovnání s našimi výsledky se jedná o vyšší hodnoty. To by odpovídalo poznatkům Pursiainen et al. (1991), který publikoval, že raci v umělém odchovu dosahovali menších rozměrů než ti v přirozeném prostředí.

Holdich *et al.* (2006) uvádí, že růstové vlastnosti raka kamenáče se v prvním roce života podobají nejvíce růstovému modelu raka říčního. V našem experimentu se tento trend potvrdil až od 5. vývojového stádia na teplé vodě. Do té doby se růstový potenciál raka kamenáče spíše shodoval s rakem signálním. Pro příklad lze uvést hodnoty 4. stádia na teplé vodě (rak signální 65,4 mg; rak kamenáč 65,8 mg a rak říční 82,9 mg). Ráčata raka kamenáče na konci odchovu (90 dnů) na teplé vodě dosáhla 7. vývojového stádia

(při hmotnosti 237 mg a délce 20,5 mm) a na studené vodě 5. vývojového stádia (při hmotnosti 107 mg a délce 15,7 mm).

Námi zjištěné absolutní přírůstky hmotnosti i délky těla raků a jejich rozptyly postupně narůstaly se zvyšujícím se počtem prodělaných svlékání, větší délkou, hmotností a věkem. Porovnání s ostatními autory se zdá být dosti problematické, jelikož jen velmi málo autorů se zabývalo touto problematikou. Jedním z mála je Ackefors et al. (1995). Tento autor nicméně uvádí ve své studii jen relativní přírůstky u raka říčního. Z výsledků v našem experimentu lze říci, že nejvyšších absolutních hmotnostních přírůstků v první vegetační sezóně dosahují rak říční společně s rakem bahenním. O něco nižší přírůstky byly zaznamenány u raka signálního a raka kamenáče. Nejnižších hmotnostních přírůstků dosáhl rak pruhovaný. Absolutní délkové přírůstky se pohybovaly u všech druhů od 1,1 mm do 3 mm po jednom svlékání. Skurdal & Taugbol (2002) uvádí, že přírůstek v dalších letech života je závislý na pohlaví. U samic raka říčního se přírůstek pohybuje okolo 2–8,6 mm po jednom svlékání, zatímco u samců je přírůstek po svlečení 5–10,3 mm.

5.3. Frekvence svlékání a doba trvání stádia

Reynolds (2002) uvádí, že růst je způsoben procesem svlékání a jeho rychlost je výsledkem přírůstku za svlékání a frekvencí svlékání.

Za dobu první vegetační sezóny se rak říční (0+) může svléknout v závislosti na zeměpisné šířce (teplotě vody) celkem šestkrát (Ackefors *et al.*, 1995) až osmkrát (Skurdal & Taugbol, 1994). Tyto výsledky potvrzuje i námi provedený pokus, ve kterém se rak říční svlékl během 71 dnů odchovu celkem šestkrát v teplé vodě resp. čtyřikrát na studené vodě. Frekvence svlékání může být ovlivněna teplotou, dostupností potravy (Lowery & Holdich, 1988, Price & Payne, 1984) a individuální rychlostí růstu jedinců. Lewis (2002) uvádí závislost frekvence svlékání na stáří jedinců. Prvně jmenovaný faktor byl potvrzen i v našem experimentu.

V našem pokusu byly dále zjištěny, nejen u raka říčního, ale i u ostatních druhů, výrazně kratší intervaly mezi jednotlivými svlékáními (délky trvání stádií) u ráčat odchovávaných na teplé vodě. Mužeme však říci, že vliv teploty na frekvenci svlékání byl eliminován díky *ad libitum* přísunu potravy. V obou teplotách se doba trvání stádia postupně prodlužovala. To by odpovídalo studii Ackeforse et al. (1995), který uvádí prodlužování intervalů mezi svlékáním u raka říčního od 3. do 7. vývojového stádia

z 11 na 21 dnů při teplotě vody 20°C (3.–4. stádium 9,9–11,6 dní; 4.–5. stádium 11,7–13,7 dní; 5.–6. stádium 15,8–17,3 dní; 6.–7. stádium 18,5–21,5 dní). Tyto údaje jsou o něco nižší než v našem pokusu, ve kterém došlo k prodlužování doby trvání stádií od 1. do 5. stádia u raka říčního ze 4 na 21,9 dnů při teplotě vody 21°C: (1. stádium trvalo 4 dni, 2. stádium 13,6 dní, 3. stádium 15,7 dní, 4. stádium 16,7 dní a 5. stádium 21,9 dní).

Rak signální se během prvního roku života (0+) svleče podle Cukerzise (1986) osm až devětkrát. Mason (1963) je toho názoru, že v příznivých životních podmínkách to může být i jedenáctkrát ročně. V našem pokusu se rak signální za dobu 93 dnů svlékl v průměru osmkrát na teplé vodě a šestkrát na studené vodě. Údaje o době trvání stádií zjištěné Ackeforsem *et al.* (1995) u raka říčního zhruba odpovídají nám zjištěným intervalům pro raka signálního při teplotě 21°C: 11,6 dní (3.–4. stádium), 12,9 dní (4.–5. stádium), 16,2 dní (5.–6. stádium) a 16,6 dní (6.–7. stádium). U raka signálního byl potvrzen větší počet svlékání během prvního roku života než u raka říčního ve stejných podmínkách. Cukerzis (1986) uvádí ve své studii jako jediný průměrnou dobu do dosažení jednotlivých vývojových stádií u raka signálního. Pro dosažení 2. stádia autor uvádí dobu 7 dnů, pro 3. stádium 17 dnů, pro 4. stádium 30 dnů, pro 5. stádium 43 dnů, pro 6. stádium 63 dnů, pro 7. stádium 88 dnů a pro 8. stádium 116 dnů. Tento výsledek kladně koreluje v prvních třech stádiích s námi zjištěnými údaji. Od 6. do 8. stádia (57,3 dní 6. stádium; 73,9 dní 7. stádium; 93,7 dní pro 8. stádium) byly hodnoty v našem experimentu nepatrně nižší. Tuto skutečnost lze vysvětlit vyšší teplotou vody v našem experimentu.

Rak pruhovaný se v našem pokusu svléknul během 34 dnů celkem šestkrát na teplé vodě a za stejné období na studené vodě celkem čtyřikrát. Kdybychom uvažovali, že by se rak pruhovaný dožil konce první vegetační sezóny jako ostatní druhy, nejpravděpodobněji by se potvrdilo to, co uvádí Hamr (2002), že juvenilní raci z čeledi *Cambaridae* se v prvním létě svlékají více než desetkrát.

Naše výsledky (frekvence svlékání, doba trvání stádií), naměřené u raka kamenáče a raka bahenního, nelze porovnat v důsledku nedostačující literatury. V našem pokusu se oba druhy svlékly na teplé vodě celkem šestkrát, což bylo o jedno svlékání méně než dosáhl rak signální, resp. o jedno svlékání více než rak říční na stejné teplotě. Na studené vodě se rak kamenáč svlékl celkem čtyřikrát oproti třem svlékáním u raka bahenního. Toto zjištění nás vede k závěru, že na počet svlékání má vliv nejen teplota vody, ale i období líhnutí juvenilních jedinců. Dále můžeme říci, že podmínky studené vody (4 svlékání)

vyhovovaly více raku kamenáči než raku bahennímu (3 svlékání). Co se týče doby trvání jednotlivých vývojových stádií, můžeme raku bahenního přirovnat k raku říčnímu. Rak kamenáč se do 5. vývojového stádia na teplé vodě a po celou dobu odchovu na studené vodě nejvíce podobal raku signálnímu. V 6. a 7. stádiu došlo u raka kamenáče oproti raku signálnímu k prodloužení doby trvání stádií. Z výše uvedených výsledků vyplývá, že rak signální je schopen udržet si po delší dobu odchovu kratší intervaly v době trvání stádií než rak kamenáč a tím pádem získat velmi významnou výhodu.

Naše výsledky potvrzují kratší dobu trvání jednotlivých vývojových stádií u všech druhů raků odchovávaných v teplé vodě. Pro příklad lze uvést dobu trvání 4. vývojového stádia u raka kamenáče na teplé vodě $16 \pm 2,7$ dní resp. $23,4 \pm 2,5$ dní na studené vodě. Na studené vodě byl také zaznamenán vyšší rozptyl hodnot než na teplé vodě. Z toho vyplývá, že teplá voda vývoj jednotlivých stádií uspíší a lépe synchronizuje vývoj v rámci populace.

V rámci našeho experimentu byl zaznamenán vyšší úhyn rácat v období před svlékáním. Při procesu látkové výměny, ve fázi před svlékáním, dochází k velkému zvýšení spotřeby kyslíku až na hranici převyšující 1900% (Aiken & Waddy, 1992). Toto zjištění by mohlo vést k závěru, že zvýšená mortalita jedinců během období před svlékáním je nejvíce způsobena vyššími nároky na kyslík během tohoto období. Není to však jednoznačné vzhledem k tomu, že samotný proces svlékání je obecně náročný z metabolického hlediska a i jakékoliv jiné faktory mohou mít v této době významný vliv.

6. SOUHRN A ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce bylo provedeno komplexní sledování růstových ukazatelů (hmotnost, délka) jednotlivých vývojových stádií našich původních druhů raků (rak říční, bahenní, kamenáč) a na našem území nepůvodních druhů (rak pruhovaný, rak signální) v laboratorních podmínkách. Dále bylo podchyceno období líhnutí u těchto pěti druhů, frekvence a období jednotlivých svlékání, doba trvání a doba do dosažení jednotlivých vývojových stádií a přírůstek po jednotlivých svlékáních v průběhu první vegetační sezóny při užití dvou rozdílných teplot odchovu (15°C a 21°C).

Nepůvodní druhy raků

Rak signální

Rak signální byl v rámci našeho experimentu druhem s nejranějším obdobím líhnutí ráčat a druhem s největším počtem svlékání. Líhnutí ráčat probíhalo u tohoto druhu od 23. do 27. května. V průběhu experimentu bylo u raka signálního na studené vodě pozorováno pět procesů svlékání oproti sedmi svlékáním zaznamenaných na teplé vodě. Období trvání jednotlivých vývojových stádií byla mnohem delší na studené vodě než na teplé vodě. Šestého vývojového stupně dosáhl rak signální v průměru za 57 dní (1195 °d) na teplé vodě a za 94 dní (1353 °d) na studené vodě. V době, kdy všichni juvenilové v teplé vodě již dosáhli 8. vývojového stádia (91 dní), nedosáhli ještě všichni juvenilové v chladné vodě 6. stádia.

Ilustrační fotografie 3. vývojového stádia raka signálního



Průměrné hmotnosti a délky těla jednotlivých vývojových stádií v obou teplotách byly velmi podobné a signifikantně se nelišily. Juvenilové v teplé vodě se ale častěji svlékali a dosáhli tak za stejnou dobu vyšší hmotnosti a délky. Hmotnost a délka juvenilů dosažená na konci experimentu byla 147 mg a 18,5 mm v chladné vodě a 259 mg a 22,2 mm v teplé vodě. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti těla postupně stoupal

a pohyboval se v rozmezí od 12 mg (2. stádium) do 70 mg (8. stádium). Průměrný absolutní přírůstek délky těla pro jednotlivá stádia kolísal mezi 1,6 mm a 2,3 mm.

Rak pruhovaný

Rak pruhovaný se líhnul jako předposlední druh jen pár dní před rakem říčním v období od 16. do 21. června. Jednalo se o druh, u kterého byla zaznamenána nejrychlejší frekvence svlékání a nejkratší doba trvání jednotlivých vývojových stádií. U tohoto druhu bylo také jako u jediného zjištěno částečné překrývání jednotlivých období svlékání. Rak pruhovaný se v našem pokusu svléknul během 34 dnů celkem šestkrát na teplé vodě a za stejné období na studené vodě jen čtyřikrát. Kdybychom uvažovali, že by se rak pruhovaný dožil konce první vegetační sezóny jako ostatní druhy, nejpravděpodobněji by na teplé vodě dosáhl minimálně 10. vývojového stádia a tím pádem by se stal významným konkurentem ostatním druhům raků.

U raka pruhovaného, obdobně jako u ostatních druhů, byly zjištěny výrazně kratší intervaly mezi jednotlivými svlékáními (délky trvání stádií) u ráčat odchovávaných na teplé vodě. V obou teplotách se doba trvání stádií postupně prodlužovala. Na konci experimentu dosáhl rak pruhovaný na teplé vodě sedmého vývojového stádia, a to v průměru za 35 dní (704 °d). Na studené vodě to bylo pouze páté stádium v průměru za 34 dní (610 °d). Rak pruhovaný těmito výsledky prokazuje rychlejší schopnost svlékání oproti našim původním druhům raků.

Ilustrační fotografie 3. vývojového stádia raka pruhovaného



Rak pruhovaný vykazoval v rámci našeho pokusu v jednotlivých vývojových stádiích zdaleka nejnižší hmotnosti a délky těla. Ráčata raka pruhovaného dosáhla na konci experimentu (po 5 týdnech odchovu) hmotnosti 73 mg a délky těla 15 mm na teplé vodě resp. 30 mg a 11 mm na studené vodě. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti těla

u raka pruhovaného se pohyboval v rozmezí od 2 mg (2. stádium) do 25 mg (7. stádium). Průměrné délkové přírůstky kolísalý mezi 1,1 mm a 2,1 mm.

Původní druhy raků

Rak říční

V rámci našeho experimentu byla u raka říčního zaznamenána ze všech druhů nejpozdější doba líhnutí rácat. Juvenilové tohoto druhu se líhli v období od 23. do 24. června, což bylo přesně čtyři týdny po začátku líhnutí u raka signálního. Vlivem pozdějšího líhnutí rácat se rak říční v průběhu první vegetační sezóny stihl svléknout jen třikrát na studené vodě a pětkrát na teplé vodě. Tím pádem se stal druhem s nejnižším počtem svlékání.

V délce trvání jednotlivých vývojových stádií byl rak říční druhem s nejdelšími intervaly mezi jednotlivými svlékáními. V obou teplotách se doba trvání stádií postupně prodlužovala. Délka všech stádií na chladné vodě byla vždy delší. Rak říční na studené vodě dosáhl na konci sledování pouze čtvrtého vývojového stádia, a to za 63 dní (915 °d). Oproti tomu na teplé vodě rak dosáhl čtvrtého vývojového stupně v průměru již za 32 dní (684 °d) a na konci sledování byl už v sedmém vývojovém stádiu.

Ilustrační fotografie 5. vývojového stádia raka říčního



Rak říční se v našem experimentu stal po raku bahenním druhem s největšími hmotnostmi v jednotlivých stádiích na teplé vodě. Na studené vodě byl z hlediska hmotnosti těla dokonce rakem nejtěžším. V délce těla byl rak říční taktéž druhem, u kterého bylo společně s rakem bahenním dosahováno nejvyšších hodnot. Juvenilové raka říčního vážili na konci experimentu v průměru 186 mg a měřili 20 mm na teplé vodě resp. 93 mg a 15 mm na studené vodě. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti těla u raka říčního se pohyboval v rozmezí od 14 mg (2. stádium) do 55 mg (6. stádium). Průměrné délkové přírůstky kolísaly mezi 1,8 mm a 2,7 mm.

Rak bahenní

Průběh líhnutí u raka bahenního byl v našem experimentu sledován jako téměř identický s průběhem líhnutí raka kamenáče. Ráčata tohoto druhu se líhla ve dnech 8. a 9. června. Počet svlékání se u raka bahenního na studené vodě zastavil na počtu tří

svlékání oproti šesti svlékáním zaznamenaných na teplé vodě. U tohoto druhu byl ve srovnání s jinými druhy zjištěn větší rozdíl v počtu svlékání na teplé a studené vodě.

V délce trvání stádií se rak bahenní nejvíce podobal raku říčnímu. I u tohoto druhu bylo prokázáno, že teplota vody má významný vliv na délku trvání jednotlivých vývojových stádií. Rozptyly hodnot u jednotlivých stádií rostly s každým dalším vývojovým stádiem. Rak bahenní na studené vodě dosáhl na konci pozorování čtvrtého stádia, a to za 59 dní (915 °d). Oproti tomu na teplé vodě tento rak dosáhl stejného stádia v průměru již za 28 dní (670 °d) a na konci experimentu byl už v sedmém vývojovém stádiu.

Ilustrační fotografie 4. vývojového stádia raka bahenního



Průměrné hmotnosti a délky těla jednotlivých vývojových stádií v obou teplotách byly velmi podobné a statisticky se nelišily. Ráčata v teplé vodě však vlivem častějšího svlékání dosáhla za stejnou dobu vyšší hmotnosti a délky těla než juvenilové na studené vodě. Hmotnost a délka juvenilů dosažená na konci experimentu byla 62 mg a 15,5 mm v chladné vodě a 270 mg a 24 mm v teplé vodě. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti těla opět postupně narůstal a pohyboval se v rozmezí od 15 mg (2. stádium) do 74 mg (8. stádium). U raka bahenního byl zjištěn ze všech námi sledovaných druhů největší průměrný délkový přírůstek. Průměrný absolutní přírůstek délky těla pro jednotlivá stádia kolísal mezi 1,7 mm a 3 mm.

Rak kamenáč

Rak kamenáč je druhem, u kterého bylo zaznamenáno líhnutí rácat v rozmezí od 5. do 6. června. V rámci našeho pokusu se tento druh líhnul cca 12 dní po raku signálním a ve stejném období jako rak bahenní. Jednalo se o druh, u kterého bylo zjištěno, stejně jako u raka pruhovaného, 6 svlékání na teplé vodě a 4 svlékání na studené vodě, s tím rozdílem, že raku pruhovanému na to stačilo pouze 34 dní oproti 97 dnům potřebným u raka kamenáče.

V délce trvání stádií bylo zjištěno, že u raka kamenáče se postupně prodlužovala délka stádií rychleji než u ostatních druhů. Na konci pokusu dosáhl rak kamenáč na studené vodě 5. vývojového stádia v průměru za 78 dní (1120 °d) a 7. vývojového stádia na teplé vodě za 97 dní (1947 °d).

Ilustrační fotografie 1. vývojového stádia raka kamenáče



Z hlediska hmotnosti a délky těla v jednotlivých stádiích se rak kamenáč nejvíce podobal raku signálnímu. Juvenilové raka kamenáče vážili na konci experimentu v průměru 237 mg a měřili 20,5 mm na teplé vodě resp. 107 mg a 15,7 mm na studené vodě. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti těla u raka kamenáče se pohyboval v rozmezí od 9,5 mg (2. stádium) do 86 mg (6. stádium). Průměrné délkové přírůstky kolísaly mezi 1,9 mm a 2,4 mm.

Závěrem lze říci, že proces svlékání u všech námi sledovaných druhů byl rychlejší u raků odchovávaných na teplé vodě. Zároveň bylo prokázáno, že vyšší teplota vody má významný vliv na frekvenci svlékání a to tím způsobem, že významně zkracuje délku trvání jednotlivých vývojových stádií. Juvenilní raci všech druhů v teplé vodě dosáhli na konci experimentu vyšších hmotností a délek, než raci odchovávaní na studené vodě. Hmotnost a velikost jednotlivých vývojových stádií na teplé a studené vodě byly ale velmi podobné a signifikantně se nelišily. Z toho vyplývá, že rychlejší růst rácat přímo ovlivnil vyšší frekvenci svlékání. Dále bylo zjištěno, že částečný vliv na růst může mít i individuální růstová schopnost jedinců, která způsobila velký rozptyl dat. Během našeho pokusu byl také potvrzen neméně významný vliv velikosti odchovného prostoru na jednotlivý růst raků.

Obecně dosahují nepůvodní druhy raků ranější pohlavní dospělosti, relativně vyšší plodnosti, větší mezidruhové i vnitrodruhové agresivity a jsou především přenašeči račího moru. Na podkladě výsledků diplomové práce se podařilo dále potvrdit vyšší růstovou schopnost raka signálního i pruhovaného v porovnání s původními druhy v daných

experimentálních podmínkách. Ve prospěch raka signálního hovoří především časný termín líhnutí, čímž může svůj růstový potenciál využít po delší dobu vegetační sezóny. Rak pruhovaný kompenzuje svou velice nízkou počáteční hmotnost značnou frekvencí svlékání. Tyto faktory dávají předpoklad, spolu s dalšími biologickými aspekty, k invazivnímu šíření těchto druhů a jejich úspěšné kompetici s druhy původními. Podstatné pro zachování populací našich původních druhů raků je vytvoření optimálních přírodních podmínek. Samozřejmostí je udržování a zlepšování kvality vody spojené s patřičnou zákonnou ochranou těchto korýšů. Za významné můžeme dále považovat revitalizace lokalit, ve kterých se naši raci dříve vyskytovali. Tato činnost pak musí být doprovázena účelnou repatriací. Rozhodujícím faktorem budoucí existence našich raků však bude vyřešení interakce s nepůvodními druhy. Pravda je však bohužel taková, že účinný nástroj této ochrany zatím neznáme.

Tato diplomová práce vznikla za podpory grantu GAČR č. 206/03/0532 „Populační ekologie terminálních a rezidentních subpopulací invazního druhu raka“ a grantu GAČR č. 206/03/D064 „Studium biologie raka pruhovaného *Orconectes limosus* Raf. v laboratorních podmínkách.“ Práce byla finančně podpořena výzkumným záměrem MSM 600766809 a projekty MŠMT ME 855 a GAAV IAA601870701. Část výsledků této diplomové práce byla již prezentována na semináři VÚRH JU ve Vodňanech, dne 27. 3. 2006 (viz příloha č. 8). Výsledky byly také použity pro sepsání odborného článku (viz příloha č. 10).

7. POUŽITÁ LITERATURA

- Abrahamsson, S., 1966. Dynamics of an isolated population of the crayfish *Astacus astacus* Linné. *Oikos*, 17, 96-107.
- Abrahamsson, S.A.A., Goldman, C.R., 1970. Distribution, density, and production of the crayfish *Pacifastacus leniusculus* (Dana) in Lake Tahoe, California – Nevada. *Oikos*, 21, 83-91.
- 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.
- Abrahamsson, S., 1972. Fecundity and growth of some populations of *Astacus astacus* Linné in Sweden with special regard to introductions in northern Sweden. Report of the Institute of Freshwater Research, Drottningholm, 52, 23-37.
- Ackefors, H., Gydemo, R., & Westin, L., 1989. Growth and survival of juvenile crayfish *Astacus astacus* in relation to food and density. In: *Aquaculture – a biotechnology in progress*, (eds De Pauw, N., Jaaspers, E., Ackefors, H., & Wilkins, N.), European Aquaculture Society, Bredene, Belgium, 383-391.
- Ackefors, H., Castell, J.D., Boston, L.D., Raty, P., & Swensson, M., 1992. Standard experimental diets for crustacean nutrition research. II. Growth and survival of juvenile crayfish *Astacus astacus* (Linné) fed diets containing various amounts of protein, carbohydrate and lipid. *Aquaculture*, 104, 341-356.
- Ackefors, H., & Lindqvist, O. V., 1994. Cultivation of freshwater crayfishes in Europe. In: *Freshwater Crayfish Aquaculture*, (ed. Huner, J.V.), Food Products Press, The Haworth Press, New York. 157-216.
- 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.
- Aiken, D. E., 1969. Photoperiod, endocrinology and the crustacean molt cycle. *Science*, 164, 149.
- 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.
- 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.
- Appelberg, M., 1986. The crayfish *Astacus astacus* in acid and neutralized environments. DPhil thesis, University of Uppsala, Sweden.
- Balik, I., Cubuk, H., Özkök, R., Uysal, R. 2005. Some Biological Characteristics of Crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) in Lake Eğirdir. *Turkish Journal of Zoology*, 29, 295-300.
- Butler, M. J., Stein, R. A. 1985. An analysis of mechanism governing species replacement in crayfish. *Oecologia* 66, 168-177.

- Belchier, M., Edsman, L., Sheehy, M.R.J, Shelton, P.M.J., 1998. Estimating age and growth in long-lived temperature freshwater crayfish using lipofuscin. *Freshwater Biology*, 39, 439-446.
- Celada, J.D., Carral, J.M., Gaudioso, V.R., Consuelo, T., & Fernandez, R., 1988. Effects of thermic manipulation throughout egg development on the reproductive efficiency of the freshwater crayfish *Pacifastacus leniusculus* D.. *Aquaculture*, 72, 341-348.
- Cukerzis, J. M., Sestokas, J., Tamkeviciene, E., & Mickeniene, L., 1977. Cannibalism among crayfish. *Trudy Akademii Nauk Litovskej SSR*, 79, 97-103.
- Cukerzis, J.M., Sheshtokas, A.L., Terentyev, A.L., 1978: Method for accelerated artificial breeding of crayfish juveniles. *Freshwater Crayfish*, 4, 452-458.
- Cukerzis, J.M., 1986. Behaviour of crayfish juveniles during early stages of ontogenesis. *Freshwater crayfish* 6, 75-86.
- Cukerzis, J. M., 1988, *Astacus astacus* in Europe. In: *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*, (eds Holdich, D.M. & Lowery, R. S.), Croom Helm, London, 309-340.
- Cukerzis, J. M., 1989. Rečnyje raki. Vilnius, 140 pp.
- Cherkasina, N. Ya., 1977. Survival, growth and feeding dynamics of juvenile crayfish (*Astacus leptodactylus cubanicus*) in ponds and the River Don. *Freshwater Crayfish* 3, 95-100.
- Đuriš, Z., 2000. Původ a rozšíření raků na zemi. *Bulletin VÚRH Vodňany*, 36, 4-11.
- Firkins, I., Holdich, D.M., 1993. Thermal studies with three species of freshwater crayfish. *Freshwater crayfish* 9, 241-248.
- Flint, R.W., 1975. Growth in a population of the crayfish *Pacifastacus leniusculus* from subalpine lacustrine environment. *Jornal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32, 2433-2440.
- France, R.L., 1983. Response of the crayfish *Orconectes virilis* to experimental acidification of a lake with special reference to the importance of calcium. *Freshwater crayfish* 5, 98-111.
- Gutierrez-Yurrita, P. J., Latournerié-Cervera, J. R., 1999. ecological features of *Procambarus digueti* and *Procambarus bouvieri* (Cambaridae), two endemic crayfishes of Mexico. *Freshwater Crayfish* 12, 605-619.
- Goyert, J. C., Avault, J. W., 1978. Effects of container size on growth of crayfish (*Procambarus clarkii*) in a recirculating system. *Freshwater Crayfish* 4, 227-286.
- Greenaway, P., 1985. Calcium balance and moulting in the Crustacea. *Biological Reviews*, 60, 425-454.
- Gydemo, R., 1989. Studies on reproduction and growth in the noble crayfish, *Astacus astacus* L.. Doctoral thesis at the Department of Zoology and Askö Laboratory, the University of Stockholm, Sweden.
- Gydemo, R., & Westin, L., 1989. Growth and survival of juvenile *Astacus astacus* L. in optimized water temperature. In: *Aquaculture – a biotechnology in progress*. DePauv, N., Jaspers, E., Ackefors, H., & wilkins, N., (Eds.), *European Aquaculture Society*, Bredene, Belgium. pp. 383-391.
- Hager, J., 1996. Edelkrebse. Graz. 128 s.
- Hajer J., 1989. Americký druh raka v Labi. *Živa*, 37/75(3), 125.
- Hamr, P., 2002. *Orconectes*. In: *Biology of Freshwater Crayfish*. (D.M. Holdich ed), Blackwell Science Ltd., London, pp. 585-608.

- Henttonen, P., Huner, J.V., Lindqvist, O. V., Henttonen, L. & Pitkaniemi, P., 1993. Moulting, growth, survival and colour of crayfish *Astacus astacus* (L.) juveniles fed diets with and without green plankton material and maintained in individual cages and communal tanks. *Freshwater Crayfish* 9, 426-441.
- Holzer, M., 1989. Akce rak. Metodická příručka, č. 7, Český svaz ochr. přírody.
- Hogger, J.B., 1986. Aspects of the introductions of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana), into the southern United Kingdom. 1. Growth and survival. *Aquaculture*, 58, 27-44.
- 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., Haffner P., Noël P., Carral J., Fuderer L., Gherardi F., Machino Y., Madec J., Pöckl M., Šmietana P., Taugbol T., Vigneux E. 2006. Species files. *Atlas of Crayfish in Europe*. Souty-Groset C., Holdich M., Noël P., Reynolds J. D., Haffner P. (eds). Publications Scientifiques du MNHN, Paris, 49-130.
- Huner, J. V., & Lindqvist, O. V., 1986b. Effects of temperature and photoperiod on mating and spawning activities of wild-caught noble crayfish, *Astacus astacus* Linne (Astacidae, Decapoda). *Journal World Mariculture Society*, 16, 225-226.
- Huner, J.V., Lindqvist, O.V., Kononen, H., 1988. Comparison of Morphology and Edible Tissues of Two Important Commercial Crayfishes, the Noble Crayfish, *Astacus astacus* Linné, and the Red Swamp Crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard), (Decapoda, Astacidae and Cambaridae). *Aquaculture*, 68, 45-57.
- Chang, E., & O'Connor, J. D., 1983. Metabolism and transport of carbohydrates and lipids. In: *The Biology of Crustacea*, (ed Mantel, L.), Academic Press, New York, 5, 263.
- Jonsson, A., 1995. Life history differences between crayfish *Astacus astacus* and *Pacifastacus leniusculus* in embryonic and juvenile development, laboratory experiences. *Freshwater Crayfish* 8, 170-178.
- Jussila, J., Henttonen, P. & Huner, J.V., 1995. Calcium, magnesium and manganese content of noble crayfish (*Astacus astacus* (L.)) branchial carapace and its relationship to water and sediment mineral contents of two ponds and one lake in central Finland. *Freshwater Crayfish*, 10, 230-238.
- Jussila, J., Evans L. H., 1996. On the factors affecting marron, *Cherax tenuimanus*, growth in intensive culture. *Freshwater crayfish* 11, 428-440.
- Jussila, J., 1997. Physiological responses of stacid and parastacid crayfishes (Crustacea: Decapoda) to conditions of intensive culture. Doctoral thesis at the Department of Applied Zoology & Veterinary Medicine, the University of Kuopio, Finland.
- Knowles, F. G. W., Carlisle, D. B., 1956. Endocrine control in the Crustacea., *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.*, 31, 396.
- Köksal, G., 1988. *Astacus leptodactylus* in Europe. In: *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*, (eds Holdich, D.M., & Lowery, R.S.), Croom Helm, London, 365-400.
- Kossakowski, J., 1966. Raki (monografie). Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne: Warszawa. pp 23-25.

- Kossakowski, J., Kossakowski, G., 1979. The first introduction of the crayfish, *Pacifastacus leniusculus* Dana into Polish waters, *Freshwater Crayfish* 4, 195.
- Kostomarov, B., 1958. Rybářství. Státní nakladatelství učebnic Praha
- 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., Polícar, 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 Peche et de la Pisciculture*. 372-373.
- Kozák Pavel, Buřič Miloš, Polícar Tomáš, Hamáčková Jitka, Lepičová Andrea. 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
- Krupauer, V., 1968: Zlatý rak. Nakladatelství České Budějovice, 108 s.
- Krupauer, V., 1981. Raci. ČRS, Pardubice, 67 s.
- Lahti, E., 1988. Calcification of the exoskeleton and gastroliths in *Astacus astacus* L. in calcium-poor water, *Comp. Biochem. Physiol.*, 91A, 171.
- 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.
- Lewis S. D. 2002. *Pacifastacus. Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science Ltd., London, Holdich D. M. (ed): 511-540.
- 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.
- Lowery, R. S., 1988. Growth, moulting and reproduction. In: *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*, (eds Holdich, D.M., & Loery, R. S.), Croom Helm, London, 88-113.
- Lowery R. S., Holdich D. M. 1988. *Pacifastacus leniusculus* in North America and Europe, with details of the distribution of introduced and native crayfish species in Europe. *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*. Croom Helm, London, Holdich D. M. & Lowery R. S. (eds): 283-308.
- 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.
- Malley, D. F., & Chang, P. S. S., 1985. Effects of aluminium and acid on calcium uptake by the crayfish *Orconectes virilis*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 14, 739.
- Masson, J.C., 1963. Life history and production of the crayfish, *Pacifastacus leniusculus trowbridgii* (Stimson), in a small woodland stream. Master's thesis, Oregon State University.
- Masson, J.C., 1977. Artificial incubation of crayfish eggs. *Freshwater crayfish*, 3, 119-132.
- Mason, J. C., 1978. Effects of temperature, photoperiod, substrate and shelter to survival, growth, and biomass accumulation of juvenile *Pacifastacus leniusculus*. *Freshwater crayfish*, 4, 73-82.

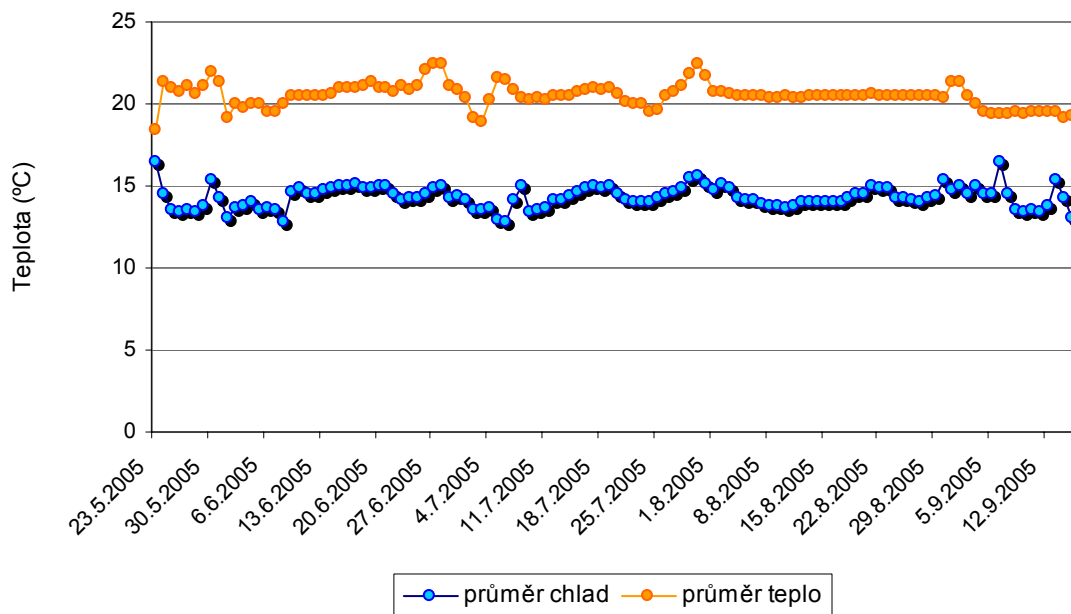
- Momot, W. T., Gowing, H., & Jones, P. D., 1978. Dynamics of crayfish and their role in ecosystems. *The American Midland Naturalist*, 99, 10-35.
- Momot, W. T. 1984. Crayfish production: a reflection of community energetics. *Journal of Crustacean Biology* 4, 35-54
- Momot, W. T., 1988. *Orconectes* 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.
- Morgan, D. D., & McMahon, B. R., 1982. Acid tolerance and effects of sublethal acid exposure on ionoregulation and acid-base status in two crayfish *Procambarus clarkii* and *Orconectes rusticus*, *The Journal of Experimental Biology*, 97, 241.
- 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.
- Munkhammar, T., Gydemo, R., Westin, L., Ackefors, H. 1989. Survival of noble crayfish (*Astacus astacus* L.) larvae alone and in the presence of females. In *Aquaculture – a biotechnology in progress*. De Pauw, N., Jaspers, E., Ackefors, H., Wilkins, N. (Eds). European Aquaculture Society, Bradene, Belgium, 409-414.
- Nyström, P., 2002. Ecology. *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science Ltd., London. Holdich, D.M. (ed), 192-235.
- Petrusek, A., Filipová, L., Ďuriš, Z., Horká, I., Kozák, P., Policar, T., Štambergová, M., Kučera, Z., 2006. Distribution of the invasive spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) in the Czech Republic: past and present. *Bulletin Francais de la Pêche et de la Pisciculture* 380-381, 903-917.
- 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. a Kozák, P., 2000. Výskyt raků v ČR. *Bulletin VÚRH Vodňany, Biologie, ochrana a chov raků* 36, 18-22.
- 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., 2005. Monitoring výskytu severoamerického raka signálního (*Pacifastacus leniusculus* D.) na vybraných lokalitách ČR. Nepublikovaná zpráva, ZO ČSOP 18/01 DECAPODA Protivín.
- Pöckl, M., Holdich, D. M., Pennerstorfer, J., 2006. Identifying native and alien crayfish species in Europe. 47s.
- Price J. O., Payne J. F. 1984. Postembryonic to adult growth and development in the crayfish *Orconectes neglectus chaenodactylus* Williams, 1952 (Decapoda, Astacidea). *Crustaceana* 46 (2). Brill E. J. (ed): 177-194. Leiden.
- Pursiainen, M., Saarela, M. & Westman, K., 1987. Moulting and growth of the noble crayfish *Astacus astacus* in an oligotrophic lake. *Freshwater Crayfish*, 7, 155-164.
- Pursiainen, M., & Erkamo, E., 1991. Low temperatures as limiting factor for the noble crayfish (*Astacus astacus*) populations. *Finnish Fisheries Research*, 12, 179-185.

- Reynolds, J.D., 2002. Growth and reproduction. In: Biology of Freshwater Crayfish, (ed Holdich D.M.), Blackwell Science Ltd., London, 152-191.
- Rhodes, C.P., Holdich, D.M., 1979. Observation on the fecundity of the freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet). *Aquaculture*, 17, 345-358.
- 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.
- Sheehy, M. R. J., Wikins, J. F., 1994. Lipofuscin age pigment in the brain of the European lobster, *Homarus gammarus* (L). *Microscopy & Analysis*, 40, 23-25.
- Shimizu, J. S., & Goldman, C. R., 1983. *Pacifastacus leniusculus* (Dana) production in the Sacramento river. *Freshwater crayfish*, 5, 210-228.
- Skurdal, J., & Taugbøl, T., 1994. Do we need harvest regulations for European crayfish? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4, 461-485.
- Skurdal, J. & Taugbøl, T., 2002. *Astacus*. In: Biology of Freshwater Crayfish. (ed Holdich, D.M), Blackwell Science Ltd., London, 467-510.
- Smolian, K., 1925. Der Flusskrebs, seine Verwandten und die Krebsgewässer. Stuttgart.
- Sládeček, V., 1988. Rak říční – souborný referát. Praha, katedra Technologie vody a prostředí VŠChT, 26 s.
- Söderbäck, B., Appelberg, M., Odelström T., & Lindqvist, U., 1987. Food consumption and growth of the crayfish *Astacus astacus* L. in laboratory experiments. *Freshwater Crayfish*, 7, 145-153.
- Stevenson, J., R., 1968. Metecdysial molt staging and changes in the cuticle in the crayfish *Orconectes sanborni*, *Crustacea* 14, 169.
- Stevenson, J., R., 1985. Dynamics of the integument, in *The Biology of Crustacea*, Vol. 9, Bliss, D. E. and Mantel, L. H., Eds., Academic Press, New York, 43.
- Stephens, G.J., 1952. Mechanisms regulating the reproductive cycle in the crayfish *Cambarus*. 1. The female cycle. *Physiological Zoology*, 25, 70-83.
- Streissl, F., Hödl, W., 2002. Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austropotamobius torrentium* Schrank. *Hydrobiologia* 477, 201-208.
- Stucki, T. P., 1999. Life cycle and life history of *Astacus leptodactylus* in Chatzensee Pond (Zürich) and Lake Ägeri, Switzerland. *Freshwater Crayfish*, 12, 430-448.
- Stucki, T. P., 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater crayfish* 13, 463-476.
- Svobodová, Z., 1987. Toxikologie vodních živočichů. Praha, 189-193.
- Štěpán, V. J., 1933. Soudobý stav rakařství v Čechách. Vodňany, Nakl. A. Dvořák.
- 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 de la Pêche.
- Tamkeviciene E. A. 1988. Growth and development of juveniles of the native and introduced species of freshwater crayfish. *Freshwater crayfish* 7, 396-400.
- Taugbøl, T., Skurdal, J., & Fjeld, E., 1987. Maturity and fecundity of *Astacus astacus* females in Norway. *Freshwater Crayfish*, 7, 107-114.
- Taugbøl, T., & Skurdal, J., 1995a. The significance of a cold water (winter) period for molting, maturation and fecundity in wild-caught, adult noble crayfish *Astacus astacus* L. in Norway. *Freshwater Crayfish*, 8, 148-156.

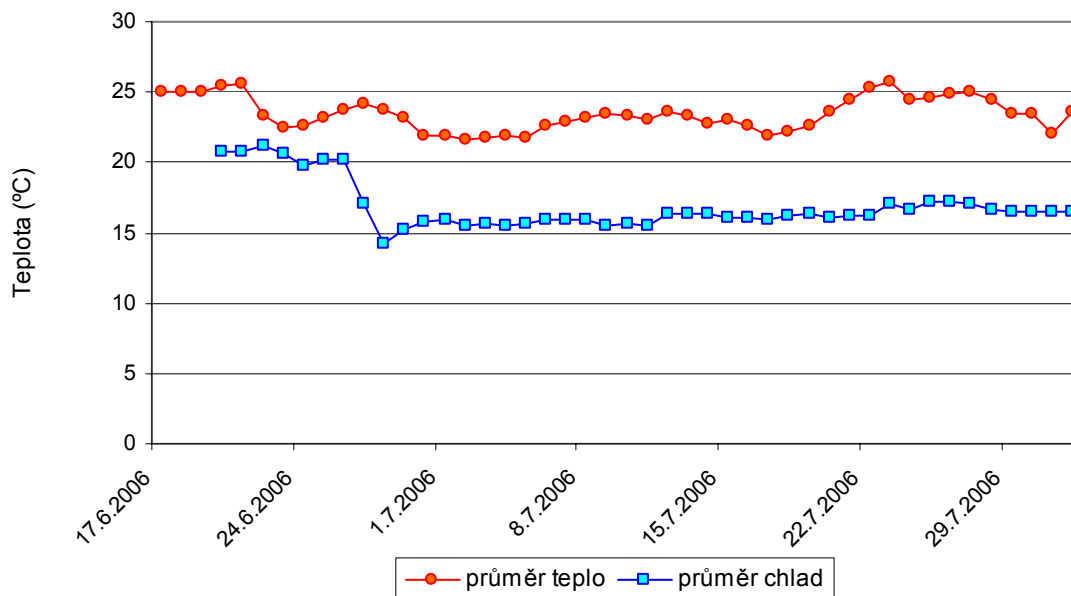
- Taugbøl, T., & Skurdal, J., 1995b. Growth, mortality and molting rate of noble crayfish *Astacus astacus* L. juveniles in aquaculture experiments. *Freshwater Crayfish*, 8, 715-716.
- Travis, D.F., 1960. The deposition of skeletal structures in the Crustacea. I. The history of the gastrolith skeletal tissue complex and the gastrolith in the crayfish *Orconectes (Cambarus) virilis* Hagen – *Decapoda*. (Woods, Hole), *Biological Bulletin*, 118, 137-149.
- Tulonen J., Erkamo E., Kirjavainen J. 1995. Growth rate, survival and reproduction of noble crayfish (*Astacus astacus* (L.)) and signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana). *Freshwater crayfish* 10. Geddes M. C., Fiedler D. R. & Richardson A. M. M. (eds): 623-629.
- Van Herp, F., & Bellon- Humbert, C., 1978. Setal development and molt prediction in larvae and adults of crayfish *Astacus leptodactylus*. *Aquaculture*, 14, 289-301.
- Vigneux E., 1978. *Pacifastacus leniusculus* et *Astacus leptodactylus* premier bilan d' exploitation en étang. *Freshwater Crayfish* 4, 227-234.
- Vila, Y., Medina, A., Megina, C., Ramos, F., Sobroni, I., 2000. Quantification of the age pigment lipofuscin in brains of known-age, pnd-reared prawns *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda). *Journal of experimental Zoology*, 286, 120-130.
- Westman, K., 1991. The crayfish fishery in Finland - its past, present and future. *Finnish Fisheries Research*, 12, 187-216.
- Westman, K., Savolainen, R. & Pursiainen, M., 1993a. A comparative study on the reproduction of the noble crayfish, *Astacus astacus* (L), and the signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana), in a small forest lake in southern Finland. *Freshwater crayfish*, 9, 466-476.
- 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., Savolainen, R., 1995. The development of a signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* (Dana) population in a small forest lake in central Finland. *Freshwater crayfish* 10, 200-208.
- 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.
- Westin, L., & Gydemo, R., 1986. Influence of light and temperature on reproduction and moulting frequency in the crayfish, *Astacus astacus*. *Aquaculture*, 52, 43-50.
- Wheatley, M.G., & Ayers, J., 1995. Scaling of calcium, inorganic contents and organic contents to body mass during the molting cycle of the fresh-water crayfish *Procambarus clarkii* (Girard). *Journal of Crustacean Biology*, 15, 409-417.
- Zehnder, H., 1934. Über die Embryonalentwicklung des Flusskrebsses. *Acta Zoologica*, 15: 261-408.

8. PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Průběh teplot při odchovu ráčat v roce 2005.



Příloha č. 2: Průběh teplot při odchovu ráčat v roce 2006.

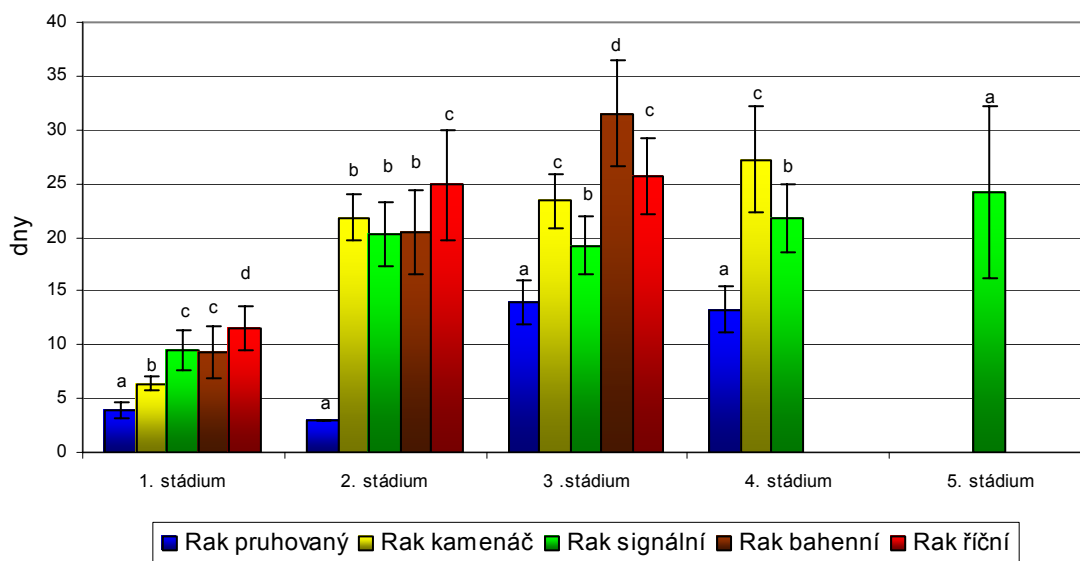


Příloha č. 3: 12 nej našich raků.

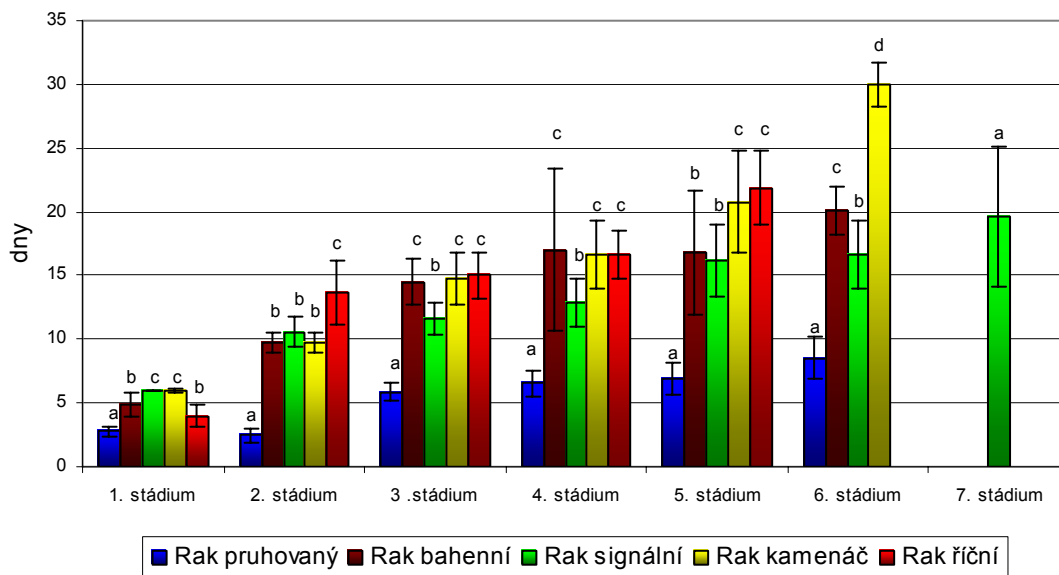
12 nej našich raků

- ✓ **Nejdříve líhnoucím druhem** – rak signální 23. až 27. května
- ✓ **Nejpozději líhnoucím druhem** – rak říční 23. až 26. června
- ✓ **Nejmenší počet svlékání** – rak říční (pětkrát na teplé vodě a třikrát na studené vodě)
- ✓ **Nejrychlejší frekvence svlékání** – rak pruhovaný (6 svlékání během 34 dnů při 21°C)
- ✓ **Největší hmotnost** – rak bahenní (270 mg v sedmém vývojovém stádiu při 21°C)
- ✓ **Nejmenší hmotnost** – rak pruhovaný (30 mg v pátém vývojovém stádiu při 15°C)
- ✓ **Největší délka** – rak bahenní (24 mm v sedmém vývojovém stádiu při 21°C)
- ✓ **Nejmenší délka** – rak pruhovaný (11 mm v pátém vývojovém stádiu při 15°C)
- ✓ **Největší hmotnostní a délkové přírůstky** – rak bahenní (74 mg a 3 mm v sedmém vývojovém stádiu při 21°C)
- ✓ **Nejmenší hmotnostní a délkové přírůstky** – rak pruhovaný (10 mg a 1,4 mm v pátém vývojovém stádiu při 15°C)
- ✓ **Nejkratší délka trvání jednotlivých stádií** – rak pruhovaný (2,4 dnů, 2. stádium při 21°C)
- ✓ **Nejdelší délka trvání jednotlivých stádií** – rak bahenní (32 dnů, 3. stádium při 15°C)

Příloha č. 4: Průměrná doba trvání jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 15°C vyjádřená ve dnech.

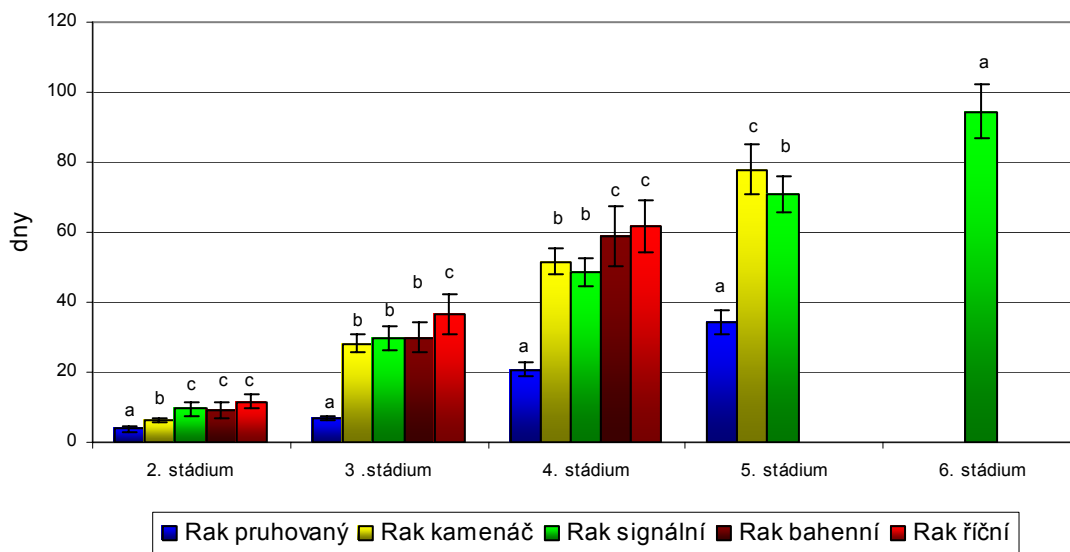


Příloha č. 5: Průměrná doba trvání jednotlivých vývojových stádií u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C vyjádřená ve dnech.

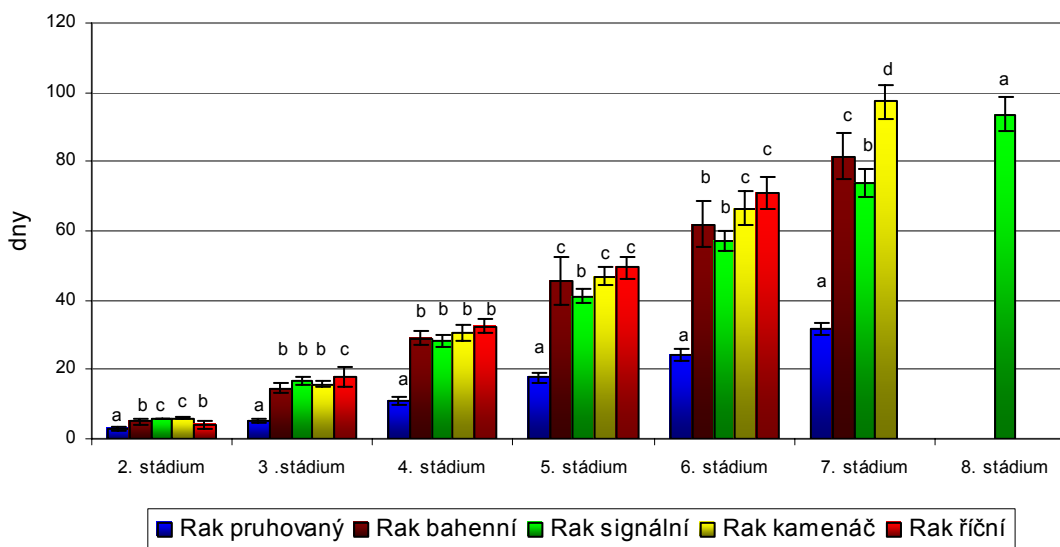


Rozdílná písmena nad sloupci v rámci stádií označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy, zjištěné Kruskal – Vallisovým testem na hladině významnosti ($p < 0,05$).

Příloha č. 6: Průměrná doba do dosažení dalšího vývojového stádia u raků odchovávaných při teplotě vody 15°C vyjádřená ve dnech.



Příloha č. 7: Průměrná doba do dosažení dalšího vývojového stádia u raků odchovávaných při teplotě vody 21°C vyjádřená ve dnech.



Rozdílná písmena nad sloupci v rámci stádií označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy, zjištěné Kruskal – Vallisovým testem na hladině významnosti ($p < 0,05$).

Příloha č. 8: Prezenční listina – seminář VÚRH JU Vodňany 27.3.2006.

Jméno a příjmení, organizace	Podpis
JANA MACHOVÁ VÚRH JU	
MAREK PODINA VÚRH JU	
MARTIN HULÁK	
VERONIKA ZIAČKOVÁ VÚRH JU	
Flejšhaus - -	
Lipka - -	
JANKOVÁ IVA - -	
Barbora Mami - -	
KOCOVÁ ANNA - -	
ČIŽKOVÁ - -	
VALENTOVÁ OLGA	
HANA KROUPOVÁ	
JAN KOURIL	
JIŘKA KAMAČKOVÁ	
PETRA MARTINKOVÁ	
TONDÁ POLIČEK	
Pavel Lepič	
PAVEL KOZÁK	
Vlastimil Štejskal	

Příloha č. 9: Formulář pro zápis naměřených hodnot.

Žlab - I
Krabička - I/2

Druh raka – Rak signální
Teplota - 21°C

Líhnutí – 23.6.2006

	1	2	3	4	5	6
A	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS
	31.5. → 0,0327/10	31.5. → 0,0383/11	31.5. → 0,0220/10	31.5. → 0,0215/11	31.5. → 0,0215/9,5	31.5. → 0,0316/10
	10.6. → 3 VS	9.6. → 3 VS	12.6. → 7 VS	9.6. → 3 VS	12.6. → 3 VS	8.6. → 3 VS
	11.6. → 0,0499/13	10.6. → 0,0488/12	13.6. → 0,0445/12,5	10.6. → 0,0551/12,5	13.6. → 0,042/12,5	9.6. → 0,0508/12
	22.6. → 4 VS	22.6. → 4 VS	26.6. → 4 VS	18.6. → ÚHYH	26.6. → 4 VS	20.6. → 4 VS
	23.6. → 0,0569/14	23.6. → 0,0599/14	27.6. → 0,0520/17		27.6. → 0,0640/14	21.6. → 0,0714/14
	6.7. → 5 VS	6.7. → 5 VS	6.7. → 5 VS		6.7. → 5 VS	2.7. → 5 VS
	7.7. → 0,0745/16	7.7. → 0,0933/16	7.7. → 0,0627/14,5		7.7. → 0,0786/16	4.7. → 0,0916/15
	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS
	31.5. → 0,0361/11	31.5. → 0,0341/11	31.5. → 0,0250/10	31.5. → 0,0314/9,5	31.5. → 0,0292/10,5	31.5. → 0,0340/11
B	8.6. → 3 VS	8.6. → 3 VS	12.6. → 7 VS	9.6. → 3 VS	8.6. → 3 VS	9.6. → 3 VS
	9.6. → 0,0529/12,5	9.6. → 0,0657/13	13.6. → 0,0498/13	10.6. → 0,0574/13	9.6. → 0,0525/13	10.6. → 0,0497/12
	21.6. → 4 VS	20.6. → 4 VS	22.6. → 4 VS	21.6. → 4 VS	19.6. → 4 VS	21.6. → 4 VS
	22.6. → 0,0710/15	21.6. → 0,0920/15	23.6. → 0,0576/14,5	22.6. → 0,0642/15	20.6. → 0,0735/15	22.6. → 0,0620/14
	5.7. → 5 VS	4.7. → 5 VS	6.7. → 5 VS	5.7. → 5 VS	4.7. → 5 VS	4.7. → 5 VS
	6.7. → 0,0949/17	5.7. → 0,1164/17	7.7. → 0,0720/16	6.7. → 0,0877/16,5	5.7. → 0,0948/16,5	5.7. → 0,0724/15
	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS	30.5. → 2 VS
	31.5. → 0,0252/10	31.5. → 0,0292/10	31.5. → 0,0309/10,5	31.5. → 0,0322/14,5	31.5. → 0,0269/10	31.5. → 0,0339/10,5
	8.6. → 3 VS	9.6. → 3 VS	9.6. → 3 VS	9.6. → 3 VS	8.6. → 3 VS	9.6. → 3 VS
	C	9.6. → 0,0415/11,5	10.6. → 0,0525/12	10.6. → 0,0415/12	10.6. → 0,0549/12	9.6. → 0,0491/13
20.6. → 4 VS		20.6. → 4 VS	22.6. → ÚHYN	20.6. → 4 VS	20.6. → 4 VS	19.6. → 4 VS
21.6. → 0,0670/17		21.6. → 0,0641/14		21.6. → 0,0789/15	21.6. → 0,0770/14	20.6. → 0,0715/15
22.6. ÚHYN		9.7. → 5 VS		22.6. → ÚHYN	6.7. → 5 VS	20.6. → 5 VS
		10.7. → 0,0901/16			7.7. → 0,0915	1.7. → 0,0923/17

Příloha č. 10: Kopie článku, který bude publikován v *Bulletinu VÚRH Vodňany 43 (1)*.

Vliv teploty vody na počet svlékání a růst juvenilního raka signálního (*Pacifastacus leniusculus* D.).

The effect of water temperature on number of moults and growth of juvenile signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* D.).

Buřič Miloš, Kozák Pavel, Kanta Jan, Kouba Antonín, Polícar Tomáš

ABSTRACT

The growth rate, the frequency of moulting, and the moulting interval of juvenile *Pacifastacus leniusculus* was studied under experimental conditions. Juveniles were reared individually in small boxes (45x30x40 mm) under a light regime of 12 (dark) : 12 (light) in two different temperatures, 15°C (cold) and 21°C (warm). Juveniles were fed frozen chironomid larvae.

Altogether, 5 moults were observed in cold water and 7 moults in warm water. The moulting periods for cold water were much longer than for warm water. The 6th developmental stage was gained on average in 57 days (1195 day degrees) in warm water and in 94 days (1353 day degrees) in cold water. When juveniles in cold water attained the 6th stage of development, juveniles in warm water already attained 8th stage. All of the intermoult periods for cold water were significantly longer compared to warm water conditions. The temperature significantly influenced duration of intermoult periods.

The average body weight and length of individual stages was very similar in both temperatures, but juveniles in warm water attained more moults. At the same time, the higher growth rate of juveniles was significant in warm water. The juveniles in warm water had higher length and weight than in cold water at the identical age. At the end of experiment, the body weight and length were 147 mg and 18.5 mm in cold water (6th stage) and 259 mg and 22.2 mm in warm water (8th stage), respectively. Variances were largest for the oldest stages.

The specific growth rate showed a significantly higher growth *P. leniusculus* juveniles in warm water and the negative correlation with age, weight, and number of moults.

Keywords: invasive crayfish, moulting, developmental stage, specific growth rate

Klíčová slova: invazní rak, svlékání, vývojové stádium, specifická rychlost růstu.

ÚVOD

Severoamerický rak signální je v evropských vodách nepůvodním druhem. Hojně se vyskytuje ve střední Evropě (včetně ČR), Skandinávii, Španělsku a Velké Británii. Vyskytuje se i v mnoha zemích východní Evropy, ačkoli je jeho výskyt ohraničen Pobaltím (s výjimkou Estonska) (Holdich *et al.*, 2006).

Rak signální se vyznačuje typickým životním cyklem příslušníků čeledi *Astacidae*. Jeho životní cyklus tedy odpovídá druhům mírného klimatického pásma, roste však rychleji a dosahuje větší velikosti než jeho evropští příbuzní (Holdich *et al.*, 2006; Lewis, 2002). V laboratorních experimentech byla zjištěna větší tolerance raka signálního k vyšším teplotám a jeho rychlejší růst ve srovnání s rakem bahenním (*Astacus leptodactylus*) a rakem bělonohým (*Austropotamobius pallipes*) (Holdich *et al.*, 2006). Sezónní růst je regulován teplotou vody – je charakteristický pro druhy mírného pásu. Některé tyto druhy rostou nejlépe v teplotách pod 22°C, jiné jsou adaptovány na teplejší vody, přičemž ale vyžadují vyšší obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě (Reynolds, 2002). V rámci rodu *Astacus* byly ale pozorovány různé typy strategií a adaptací (Skurdal & Taugbøl, 2002).

Růst raků lze charakterizovat jako diskontinuální proces složený z jednotlivých po sobě jdoucích procesů svlékání (Ackefors *et al.*, 1995; Lowery, 1988). Zatímco vnitřní fyziologický růst raků je kontinuální, k velkému přírůstku délky a hmotnosti dochází pouze při svlékání. Proces svlékání raků je řízen hormonálně (Aiken & Waddy, 1992). Za jeho regulaci je zodpovědná žláza s vnitřní sekrecí zvaná Y-orgán (Lowery, 1988). Pakliže růst je způsoben procesem svlékání, rychlost růstu je výsledkem přírůstku za svlékání a frekvence svlékání (Reynolds, 2002; Lowery, 1988). Frekvence svlékání může být ovlivněna teplotou, dostupností potravy (Lowery & Holdich, 1988; Price & Payne, 1984) a individuální rychlostí růstu jedince (Price & Payne, 1984). Frekvence svlékání je rovněž závislá na stáří jedince (Lewis, 2002). Svlékání jsou velmi početná v prvním roce života raků a jejich počet se postupně zmenšuje až do dosažení pohlavní dospělosti (Reynolds, 2002). Holdich *et al.* (2006) uvádí, že rak signální může během prvního roku života prodělat až 11 svlékání. Od třetího roku života se pak obvykle svléká dvakrát do roka (Shimizu & Goldman, 1983) a od čtvrtého roku pouze jedenkrát za rok (Lewis, 2002; Shimizu & Goldman, 1983). Hamr (2002) uvádí, že juvenilní raci z čeledi *Cambaridae* se v prvním létě svlékají více než desetkrát. Ačkoli dvě a méně svlékání do roka mohou zvětšit šance na přežití, tři a více svlékání do roka se vyskytují u několika druhů z čeledi *Cambaridae* (Price & Payne, 1984). Dospělí raci všech druhů vyskytujících se v ČR se svlékají během teplejší periody roku s dvěma hlavními vrcholy: v květnu - červnu a srpnu – září. Svlékání juvenilů a nedospělých raků se odehrává také zejména v letních měsících (Stucki, 2002).

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit frekvenci svlékání, délkové a hmotnostní přírůstky jednotlivých vývojových stádií, specifickou rychlost růstu a délku trvání jednotlivých stádií během prvních měsíců života rácat raka signálního odchovávaného ve dvou různých teplotách.

MATERIÁL A METODIKA

Experiment byl proveden v experimentálním rybochovném objektu Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického JU ve Vodňanech od května do září 2005.

V dubnu byly odloveny v rybnících nedaleko Velkého Meziříčí samice raka signálního s vajíčky. Samice byly umístěny individuálně v uzavřených úkrytech do 2 odchovných žlabů (5 ks samic do každého žlabu) s teplotou vody 15°C a 21°C. Samice zde byly umístěny do doby, než došlo k líhnutí ráčat. Následně po líhnutí byli juvenilové v 1. vývojovém stádiu separováni od samic a umístěni do plastových boxů vyrobených z průhledného plastu. Každý plastový box obsahoval 18 oddělených komůrek o rozměrech 45 x 30 x 40 mm, kam byla ráčata individuálně umístěna. Boxy byly vloženy do žlabů, kde byly předtím chovávány samice. Celkem bylo do každého žlabu nasazeno 36 ks ráčat v 1. vývojovém stádiu.

Juvenilové byli denně krmeni mraženými patentkami *ad libitum*. Nespotřebované krmivo z předchozího dne bylo při krmení odstraněno. Během experimentu byla fotoperioda udržována na úrovni 12 hodin světlo a 12 hodin tma. Denně probíhalo měření rozpuštěného kyslíku ve vodě a pH. Hodnoty obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě dosahovaly průměrně 9,5 mg.l⁻¹ (vždy nad 7,5 mg.l⁻¹) a pH 7,4 (v rozmezí 7,1-7,6). Teplota byla denně měřena pomocí teplotních čidel. Juvenilové byli odchováni, stejně jako samice, ve dvou různých teplotách tj. 15°C (chlad) a 21°C (teplo). Průměrná teplota ve žlabech byla 14,3±0,64°C a 20,5±0,69°C.

Juvenilové byli denně kontrolováni. Sledován byl počet a doba svlékání, hmotnost, celková délka a přežití ráčat. Hmotnost a délka raků byly měřeny dva dny po každém svlékání z důvodu ztvrdnutí krunýře a dosažení konečné hmotnosti. Každý juvenil byl před vážením opatrně osušen položením na filtrační papír. Hmotnost byla zjišťována na analytických vahách s přesností na 0,0001 g. Celková délka byla měřena od vrcholku rostra po konec telsonu s přesností na 0,5 mm. Při vyhodnocování výsledků experimentu bylo použito několika vzorců:

Vzorec pro zjištění specifické rychlosti růstu (SGR):

$$SGR = (\ln(W_t) - \ln(W_i)) \times 100/T \quad (\% \text{ za den})$$

kde W_t = hmotnost (g) v čase t , W_i = počáteční hmotnost (g) a T = čas (dny).

Vzorec k určení intervalu mezi svlékáními:

$$T_{im} = T_{n+1} - T_n \quad (\text{dny})$$

kde T_n = doba svlékání n a T_{n+1} = doba svlékání $n+1$ (Jussila & Evans, 1996).

Vzorec k určení procentního hmotnostního přírůstku za svlékání:

$$W_m = (W_b - W_a) \times 100/W_b \quad (\% \text{ za svlékání})$$

kde W_a = hmotnost před a W_b = po svlékání (Brewis & Bowler, 1982) a jeho modifikace pro procentní délkový přírůstek:

$$L_m = (L_b - L_a) \times 100/L_b \quad (\%)$$

kde L_a = délka po s L_b = před svlékáním.

Pro porovnání SGR bylo použito Levenova testu ($F=12,077432$; $p = 0,0000$) na zjištění shody rozptylů a poté Kruskal-Wallisova testu ($H = 193,1285$; $p = 0,0000$) a vícenásobného porovnání. Pro porovnání hmotnosti jednotlivých stádií, kdy byla ráčata přibližně stejně stará, bylo použito Levenova testu ($F = 2,496679$; $p = 0,033684$) na zjištění shody rozptylů, poté jednofaktorové ANOVY ($F = 65,17710$; $p = 0,000000$) a následně Tukeyeho HSD testu. Pro hodnocení rozdílů mezi délkami stádií mezi teplotami byly použity t-testy nezávislých vzorků. Pro všechny testy byla použita hodnota $\alpha=0,05$. Pro statistické vyhodnocení výsledků bylo použito programu Statistika 6.0 (StatSoft, Inc.).

VÝSLEDKY

Líhnutí a frekvence svlékání

Chladná voda. Líhnutí ráčat probíhalo od 23. do 27. května. Juvenilové prodělali první proces svlékání mezi 3. a 9. červnem. Druhé svlékání se odehrálo 21.-26. června, třetí potom v období 10.-19. července, čtvrté od 29. července do 12. srpna a páté svlékání proběhlo mezi 22. srpnem a 13. zářím. Na konci experimentu všechna ráčata v chladné vodě dosáhla 6. vývojového stádia.

Teplá voda. Líhnutí ráčat probíhalo od 23. do 24. května. Všichni juvenilové se poprvé svlékali 30. května. Druhé svlékání probíhalo od 8. do 12. června, třetí pak mezi 19. a 21. červnem, čtvrté od 30. června do 5. července, páté 17.-23. července, šesté mezi 31. červencem a 10. srpnem a poslední sledované sedmé svlékání probíhalo od 20. srpna do 8. září. Na konci experimentu všechna ráčata v teplé vodě dosáhla 8. vývojového stádia.

Proces svlékání byl rychlejší v teplé vodě. V době, kdy všichni juvenilové v teplé vodě již dosáhli 8. vývojového stádia, nedosáhli ještě všichni juvenilové v chladné vodě 6. stádia. Teplota vody měla významný vliv na frekvenci svlékání.

Délka trvání stádia

Byly zjištěny výrazně kratší intervaly mezi jednotlivými svlékáními (délky trvání stádií) u ráčat odchovávaných na teplé vodě (tab. 1.). V obou teplotách se doba trvání stádia postupně prodlužovala. Délka všech stádií na chladné vodě byla statisticky významně delší. Počet dnů potřebných pro dosažení 8. vývojového stádia byl zjištěn u ráčat v teplé vodě průměrně $90,9 \pm 4,48$ dní (v rozmezí od 83 do 97 dní). Šestého vývojového stádia dosáhla ráčata v teplé vodě v průměru ve stáří $57,3 \pm 2,96$ dní (1195 d°), v chladné vodě tomu tak bylo ve stáří průměrně $94 \pm 7,76$ dní (v rozmezí od 81 do 110 dní) (1353 d°). Rozptyly hodnot rostly s každým dalším vývojovým stádiem. Na studené vodě byl rozptyl dat vyšší než na teplé. Teplota vody má významný vliv na trvání intervalů mezi svlékáními. Délky jednotlivých vývojových stádií a dobu ve dnech nutnou k jejich dosažení uvádí obr. 1.

Tab. 1. Délka trvání jednotlivých vývojových stádiích juvenilů raka signálního.
*Length of consecutive developmental stages in juvenile *Pacifastacus leniusculus*.*

		Délka trvání stádia						
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
chlad	dny	$9,6 \pm 1,9^a$	$20,2 \pm 2,9^a$	$19,2 \pm 2,8^a$	$21,8 \pm 3,2^a$	$24,2 \pm 7,9^a$		
	(d°)	$137,4 \pm 28,7$	$293,4 \pm 42,6$	$271,7 \pm 40,3$	$318,6 \pm 46$	$337,3 \pm 87,6$		
tepló	dny	6 ± 0^b	$10,6 \pm 1,2^b$	$11,6 \pm 1,6^b$	$12,9 \pm 2^b$	$16,2 \pm 3^b$	$16,6 \pm 4,2^b$	$19,6 \pm 4,5^b$
	(d°)	$125,7 \pm 0$	$212,6 \pm 24,6$	$239,7 \pm 25,7$	$269,9 \pm 39,3$	$347,5 \pm 82,1$	$344,6 \pm 54,6$	$410,2 \pm 112,8$

Hmotnostní a délkový přírůstek za svlékání

Chladná voda. Průměrný procentní přírůstek hmotnosti byl zjištěn na úrovni 68,5% pro první svlékání a 60,6-61,2% pro svlékání druhé, třetí a čtvrté. Pro páté svlékání byl vypočten průměrný procentní přírůstek hmotnosti 33,2%. Průměrný procentní přírůstek délky dosahoval hodnot okolo 20% (20,1 a 20,5%) pro druhé a třetí svlékání, 16,7% pro čtvrté a 11,7% pro svlékání páté. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti za svlékání byl zjištěn $11,6 \pm 2,9$ mg po prvním svlékání a postupně narůstal až na $41,3 \pm 16,2$ mg po pátém svlékání. Průměrný absolutní přírůstek délky za svlékání byl zjištěn 1,89 mm a 1,97 mm po druhém resp. pátém svlékání a 2,23 mm a 2,34 mm po třetím a čtvrtém svlékání.

Teplá voda. Průměrný procentní přírůstek hmotnosti byl zjištěn na úrovni 89,9% pro první svlékání a 63,4% pro druhé. Od třetího do pátého svlékání se procentní přírůstek hmotnosti pohyboval v rozmezí 34-58% a při šestém a sedmém svlékání se stabilizoval na 33,6-34%. Průměrný procentní přírůstek délky byl pro druhé a třetí svlékání zjištěn na úrovni 21,4% resp. 14,8%. Po všech dalších svlékáních byl přírůstek podobný a pohyboval se v rozpětí od 10,5% do 13,5%. Průměrný absolutní přírůstek hmotnosti postupně narůstal z $15 \pm 4,4$ mg (pro první svlékání), přes $26,2 \pm 11,9$ mg (čtvrté svlékání) až do $70 \pm 37,8$ mg (sedmé svlékání). Průměrné absolutní přírůstky délky se pohybovaly v rozmezí 1,59-1,85 mm (pro třetí, čtvrté a páté svlékání) a 2,19-2,34 (pro svlékání druhé, šesté a sedmé).

Průměrné procentní přírůstky hmotnosti a délky těla postupně klesaly s přibývajícím počtem svlékání, zvyšující se délkou, hmotností a věkem. Na teplé vodě byly počáteční hodnoty přírůstků vyšší a jejich uváděný pokles prudší, přesto byly konečné hodnoty velice podobné hodnotám dosaženým v chladné vodě. Absolutní přírůstky hmotnosti i délky těla raků a jejich rozptyl postupně narůstaly se zvyšujícím se počtem prodělaných svlékání, větší délkou, hmotností a věkem. Průměrné absolutní přírůstky hmotnosti a délky pro obě teploty byly velmi podobné a rozdíly mezi nimi nebyly statisticky významné. Přehledné znázornění vývoje procentních a absolutních přírůstků hmotnosti uvádí obr. 2.

Růst

Průměrná hmotnost a délka těla jednotlivých vývojových stádií v obou teplotách byly velmi podobné a signifikantně se nelišily. Juvenilové v teplé vodě se ale častěji svlékali a dosáhli tak za stejnou dobu vyšší hmotnosti i délky. Signifikantně rychlejší růst vykazovala tedy ráčata raka signálního odchovávaná na teplé vodě. Hmotnost a délka juvenilů dosažená na konci experimentu (ve stáří průměrně 93 dní) byla 147 mg a 18,5 mm v chladné vodě a 259 mg a 22,2 mm v teplé vodě. Ráčata na teplé vodě ve stáří cca. 57 dní (6. stádium) a 72 dní (7. stádium) dní byla signifikantně větší ($p = 0,002071$; $p = 0,000020$) než ráčata v 5. stádiu (72 dní) na chladné vodě. Ve stáří 72 dní (7. stádium) a 91 dní (8. stádium) byla ráčata na teplé vodě signifikantně větší než ráčata ve stáří 94 dní (6. stádium) na chladné vodě ($p = 0,002740$; $p = 0,000020$). Podrobné zpracování studia růstu juvenilů raka signálního v našem experimentu uvádí tab. 2. Rozptyly hodnot byly větší s každým dalším vývojovým stádiem. Lineární závislost hmotnosti na stáří ráčat ve dnech a průměrnou hmotnost ráčat v jednotlivých vývojových stádiích znázorňuje obr. 3. Lineární korelace délky a hmotnosti se stářím ve dnech od líhnutí lze vyjádřit regresními rovnicemi:

Lineární závislost hmotnosti na stáří ráčat ve dnech:

$$y = 0,0014x + 0,0095; R^2 = 0,9819 \quad \text{- pro } 15^\circ\text{C}$$

$$y = 0,0026x + 0,0043; R^2 = 0,9772 \quad \text{- pro } 21^\circ\text{C}$$

Lineární závislost délky na stáří ráčat ve dnech:

$$y = 0,1048x + 8,8685; R^2 = 0,995 \quad \text{- pro } 15^\circ\text{C}$$

$$y = 0,1353x + 10,03; R^2 = 0,9929 \quad \text{- pro } 21^\circ\text{C}$$

Specifická rychlost růstu

Specifická rychlost růstu (SGR) byla statisticky průkazně nejvyšší v obou teplotách v době do prvního svlékání, $10,45 \text{ \%} \cdot \text{den}^{-1}$ v teplé vodě a $5,62 \text{ \%} \cdot \text{den}^{-1}$ ve vodě chladné (pro obě $p = 0,0000$). V období do druhého svlékání se významně snížila (přičemž na teplé vodě byla SGR statisticky průkazně vyšší; $p = 0,000069$). Stejně tak klesala i do 3. svlékání, kde se u obou teplot ustálila na $2,1-2,99 \text{ \%} \cdot \text{den}^{-1}$ (95% interval spolehlivosti). Na studené vodě v 5. stádiu poklesla až na $1,44 \pm 0,87 \text{ \%} \cdot \text{den}^{-1}$. Na teplé vodě se SGR ve 4. a 5. stádiu

ustálilo a signifikantně se nelišilo od SGR ve stádiu třetím ($p = 1,0000$). Čtvrtá a pátá vývojová stádia na teplé vodě měla hodnoty SGR statisticky vyšší ($p = 0,026948$ a $p = 0,0000$) než 4. a 5. stádia na studené vodě. Nižších hodnot SGR, kterých dosáhla ráčata na studené vodě již v 5. stádiu, bylo dosaženo na teplé vodě až v 6. a v 7. stádiu. Tyto hodnoty se signifikantně neliší (pro obě stádia $p = 1,0000$) od hodnoty dosažené na studené vodě v 5. stádiu a ani od sebe navzájem ($p = 1,0000$). Hodnoty SGR pro všechna vývojová stádia a obě teploty uvádí tab. 2.

Hodnoty SGR vykazují negativní mocninnou korelaci s rostoucím věkem raků, zvyšující se hmotností, délkou a počtem svlékání. Vztah SGR s hmotností a po sobě jdoucími vývojovými stádii uvádí obr. 4. Mocninné korelace SGR s různými veličinami lze vyjádřit regresními rovnicemi:

Mocninná korelace SGR a počtu svlékání:

$$y = 5,1362x^{-0,7521}, R^2 = 0,9099 \quad \text{- pro } 15^\circ\text{C}$$

$$y = 9,5084x^{-0,9376}, R^2 = 0,921 \quad \text{- pro } 21^\circ\text{C}$$

Mocninná korelace SGR a stáří ráčat ve dnech:

$$y = 17,943x^{-0,5368}, R^2 = 0,9332 \quad \text{- pro } 15^\circ\text{C}$$

$$y = 31,991x^{-0,6719}, R^2 = 0,9231 \quad \text{- pro } 21^\circ\text{C}$$

Mocninná korelace SGR a hmotnosti:

$$y = 0,4177x^{-0,6588}, R^2 = 0,8318 \quad \text{- pro } 15^\circ\text{C}$$

$$y = 0,4697x^{-0,788}, R^2 = 0,8326 \quad \text{- pro } 21^\circ\text{C}$$

Ze zjištěných údajů vyplývá, že rak signální je schopen na teplé vodě udržet růstovou schopnost delší dobu na vyšší úrovni. To vede společně s vyšším počtem svlékání na teplé vodě k jeho statisticky významně vyšší rychlosti růstu v teplé vodě.

Tab. 2.: Hmotnost, délka těla a specifická rychlost růst pro jednotlivá vývojová stádia juvenilních raků signálních odchovávaných ve dvou různých teplotách s udáním jejich stáří ve dnech.

Body wet weight, length, specific growth rate and age in days for consecutive developmental stages of juvenile Pacifastacus leniusculus reared under two different temperatures.

stádium	stáří (dny)		délka (mm)		hmotnost (mg)		SGR (%/den)	
	15°C	21°C	15°C	21°C	15°C	21°C	15°C	21°C
I.	0	0			15,76	15,7	5,62	10,45
II.	9,6	6	9,82	10,25	26,54	29,91	2,41	4,71
III.	29,8	16,6	11,79	12,44	42,77	48,87	2,44	2,6
IV.	48,8	28,1	14,2	14,29	68,72	65,4	2,05	2,66
V.	70,7	41	16,57	15,91	110,35	91,51	1,44	2,94
VI.	94,4	57,3	18,5	17,59	147,01	144,68		1,56
VII.		73,9		19,97		193,28		1,52
VIII.		90,9		22,23		258,59		

DISKUZE

Naše výsledky potvrzují očekávaný rychlejší růst a vyšší frekvenci svlékání ráčat raka signálního v teplejší vodě. Tento výsledek kladně koreluje s výsledky různých autorů a je uváděn u různých druhů raků (Reynolds, 2002; Lowery, 1988; Tamkeviciene, 1988; Lowery & Holdich, 1988; Price & Payne, 1984). Ráčata raka signálního v našem pokusu dosáhla během 3 měsíců 6. stádia (při hmotnosti 147 mg a délce 18,5 mm) a 8. vývojového stádia (při hmotnosti 259 mg a délce 22,2 mm) v chladné resp. teplé vodě. Ackefors *et al.* (1995) udává dosažení 8. vývojového stádia u raka říčního mezi 78 a 83 dny (při teplotě udržované na 20°C) a jeho hmotnost v 7. vývojovém stádiu 170-220 mg. To zhruba odpovídá námi zjištěné hmotnosti raka signálního 177-210 mg v témže stádiu při teplotě vody 21°C. Ackefors *et al.* (1995) ale uvádí vysoké hodnoty hmotnosti pro raka říčního i ve 2. vývojovém stádiu 29-38 mg, což je nepatrně více než u našich hodnot pro raka signálního - 26,5 mg (chladná voda), 29,9 mg (teplá voda). Tulonen *et al.* (1995) uvádí rychlejší růst raka signálního než raka říčního s průměrnou délkou hlavohrudi po jedné vegetační sezóně 17,9 mm. Tamkeviciene (1988) uvádí rovněž rychlejší růst juvenilního raka signálního (při teplotě 17-23°C). V této studii raci signální během prvních 4 měsíců života prodělali 8-9 svlékání a dosahovali délky těla 29-34 mm a hmotnosti 560-740 mg. Podle Tamkeviciene (1988) rak signální ve stáří 68 dnů dosahuje hmotnosti přibližně 279 mg a délky 22 mm. Téměř stejných hodnot dosáhl rak signální v našem pokusu ve stáří 91 dnů (21°C). Savolainen *et al.* (2004) uvádí hmotnost raka signálního přibližně ve 100 dnech věku (odchovávaného při teplotách mezi 16,1-19,4°C) ve velmi širokém rozmezí 294-690 mg. Raci v našem experimentu však byly prostorově omezeni, což podle Ackeforse *et al.* (1995) negativně ovlivňuje růst raků.

Ackefors *et al.* (1995) uvádí prodlužování intervalů mezi svlékáním u raka říčního od 3. do 7. vývojového stádia z 11 na 21 dnů při teplotě vody 20°C (3.-4. stádium 9,9-11,6 dní, 4.-5. stádium 11,7-13,7 dní; 5.-6. stádium 15,8-17,3 dní; 6.-7. stádium 18,5-21,5 dní). Tyto údaje zhruba odpovídají nám zjištěným intervalům pro raka signálního při teplotě 21°C: 11,6±1,6 dní (3.-4. stádium), 12,9±2 dní (4.-5. stádium), 16,2±3 dní (5.-6. stádium) a 16,6±4,2 dní (6.-7. stádium).

Námi zjištěný průměrný procentní přírůstek délky těla raků v chladné vodě dosahoval hodnot okolo 20% pro druhé i třetí svlékání, 16,7% pro čtvrté a 11,7% pro svlékání páté, v teplé vodě pak pro druhé a třetí svlékání na úrovni 21,4% resp. 14,8%. Při dalších svlékáních až do posledního 7. svlékání byl přírůstek podobný a pohyboval se v rozpětí od 10,5% do 13,5%. Ackefors *et al.* (1995) udává u raka říčního průměrný procentní přírůstek délky těla 16-19% pro druhé svlékání a od 3. do 7. svlékání 10-14%. Námi zjištěné délkové přírůstky byly velmi podobné. Jinak tomu bylo u procentního přírůstku hmotnosti, kdy naše hodnoty (68,5% pro 1. svlékání, 60,6-61,2% pro svlékání 2., 3. a 4. a 33,2% pro 5. svlékání v chladné vodě; 89,9% pro 1. svlékání, 63,4% pro 2., od 3. do 5. svlékání v rozmezí 34-58% a při 6. a 7. svlékání 33,6-34%) byly vyšší než u Ackeforse *et al.* (1995) - po každém svlékání 33-65%, přičemž většina hodnot se pohybovala okolo 40 %.

Ze zjištěných údajů a jejich porovnání s dostupnými informacemi vyplývá, že rak signální je schopen dosáhnout na teplé vodě rychlého růstu (vyvolaného častějším svlékáním), přestože je jeho růst ovlivněn menším prostorem.

ZÁVĚRY

Proces svlékání u raka signálního je rychlejší v teplé vodě. Vyšší teplota vody má významný vliv na frekvenci svlékání, protože se významně zkracuje doba trvání jednotlivých stádií. Juvenilní raci v teplé vodě vykazovali rychlejší růst. Hmotnost a velikost jednotlivých stádií na teplé a studené vodě se od sebe ale nelišily. Proto je jasné, že růst ráčat je přímo ovlivněn vyšší frekvencí svlékání. Částečný vliv na růst může mít individuální růstová schopnost jedinců, způsobující velký rozptyl dat.

Průměrné absolutní přírůstky raků za svlékání se mezi teplotami významně nelišily, ale nebylo tomu tak u procentních přírůstků. Ty vykazovaly v teplé vodě vyšší počáteční hodnoty a jejich strmější pokles. Procentní přírůstky v teplé vodě zároveň klesly na nižší hodnoty v pozdějších stádiích než ve vodě chladné. Z toho vyplývá i vyšší specifická rychlost růstu (SGR) ráčat na teplé vodě po celou dobu odchovu. Zjištěné hodnoty SGR vykazovaly negativní mocninnou korelaci s rostoucím věkem, zvyšující se hmotností, délkou a počtem svlékání.

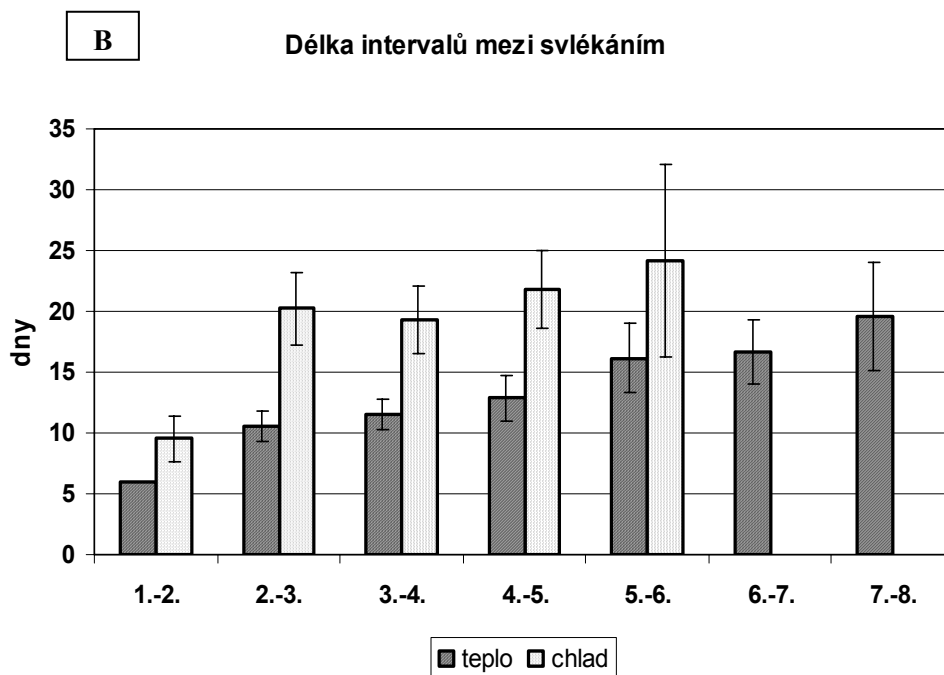
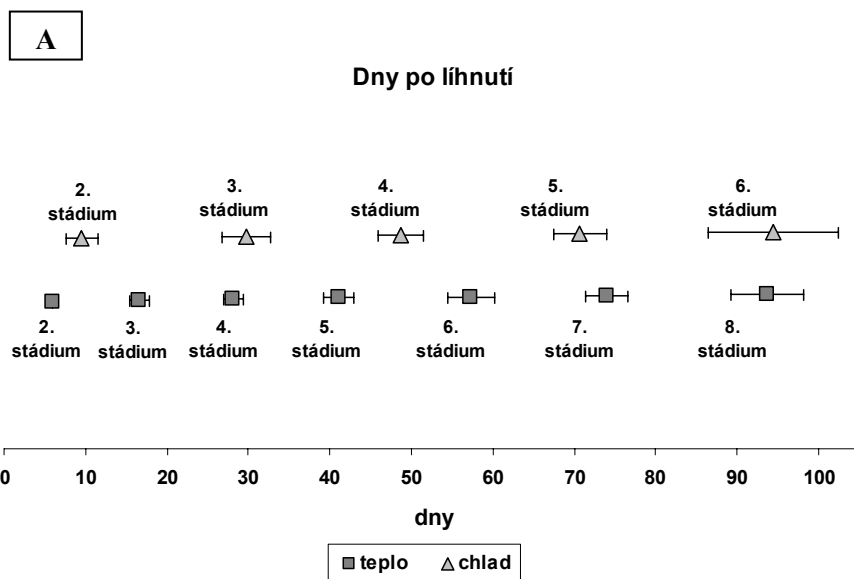
Z výsledků vyplývá, že rak signální je schopen na teplé vodě udržet růstovou schopnost delší dobu na vyšší úrovni. To vede společně s vyšším počtem svlékání na teplé vodě k jeho statisticky významně rychlejšímu růstu v teplé vodě.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byla finančně podpořena výzkumným záměrem MSM 600766809 a projekty MŠMT ME 855 a GAAV IAA601870701.

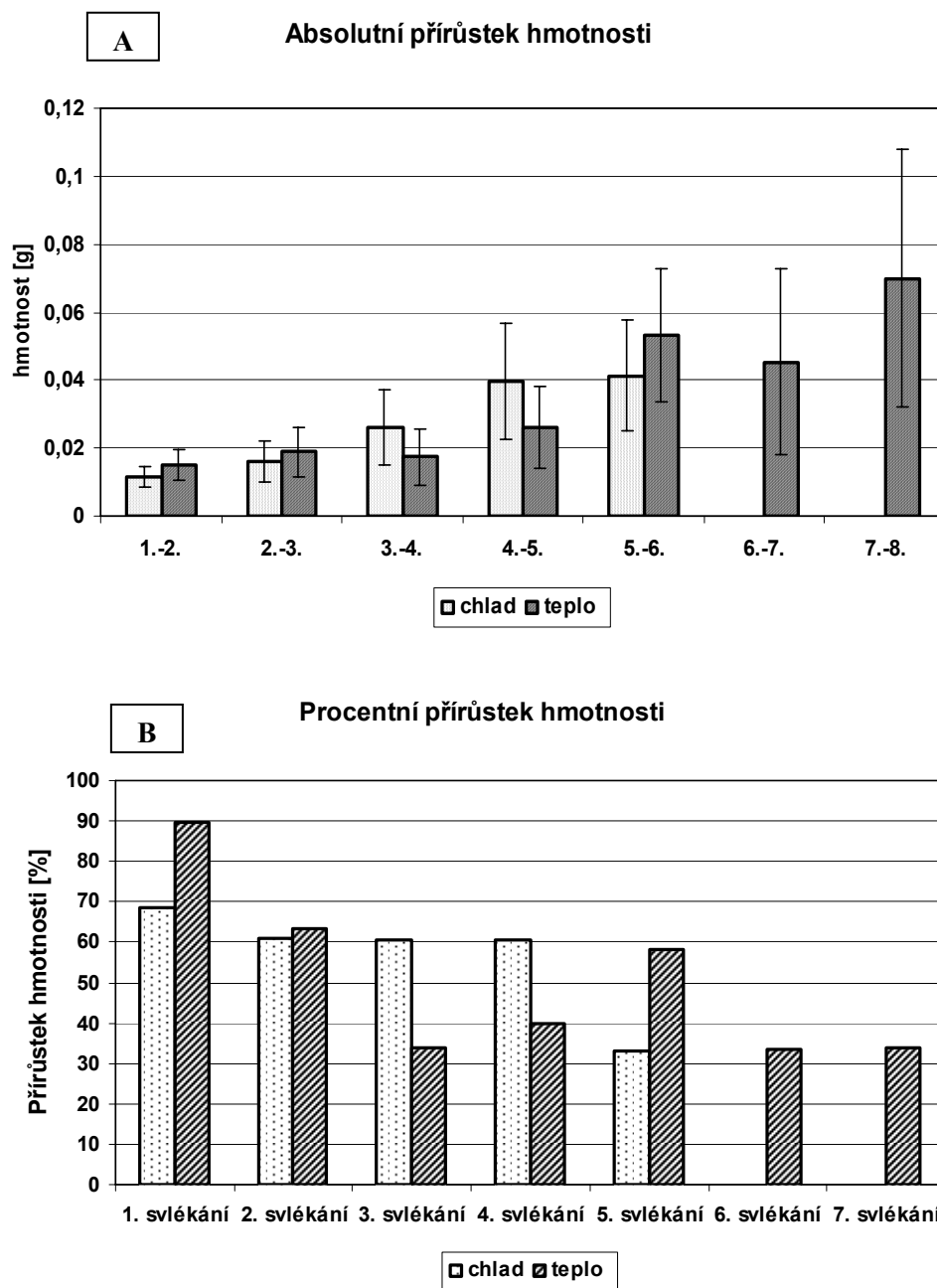
LITERATURA

- Aiken D. E., Waddy S. L. 1992. The growth process in crayfish. *Reviews of Aquatic Sciences* 6: 335-381.
- Ackefors H., Gydemo R., Keyser P. 1995. Growth and moulting in confined juvenile noble crayfish *Astacus astacus* (L.) (Decapoda, Astacidae). *Freshwater crayfish* 10. Geddes M. C., Fiedler D. R. & Richardson A. M. M. (eds): 396-409.
- Brewis J. M., Bowler K. 1982. Growth of the freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* in Northumbria. *Freshwater biology* 12: 187-200.
- Hamr P. 2002. *Orconectes. Biology of Freshwater Crayfish*. Holdich D.M.(ed): 585-608. Blackwell Science Ltd., London.
- Holdich D. M., Haffner P., Noël P., Carral J., Füderer L., Gherardi F., Machino Y., Madec J., Pöckl M., Šmietana P., Taugbol T., Vigneux E. 2006. Species files. *Atlas of Crayfish in Europe*. Souty-Groset C., Holdich M., Noël P., Reynolds J. D., Haffner P. (eds): 49 – 130. Publications Scientifiques du MNHN, Paris.
- Jussila J., Evans L. H. 1996. On the factors affecting marron, *Cherax tenuimanus*, growth in intensive culture. *Freshwater crayfish* 11. Momot W. T.(ed): 428-440.
- Lewis S. D. 2002. *Pacifastacus. Biology of Freshwater Crayfish*. Holdich D. M. (ed): 511-540. Blackwell Science Ltd., London.
- Lowery R. S. 1988. Growth, Moulting and Reproduction. *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*. Holdich D. M. & Lowery R. S. (eds): 83-113. Croom Helm, London.
- Lowery R. S., Holdich D. M. 1988. *Pacifastacus leniusculus* in North America and Europe, with details of the distribution of introduced and native crayfish species in Europe. *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*. Holdich D. M. & Lowery R. S. (eds): 283-308. Croom Helm, London.
- Price J. O., Payne J. F. 1984. Postembryonic to adult growth and development in the crayfish *Orconectes neglectus chaenodactylus* Williams, 1952 (Decapoda, Astacidea). *Crustaceana* 46 (2). Brill E. J. (ed): 177-194. Leiden.
- Reynolds J. D. 2002. Growth and reproduction. *Biology of Freshwater Crayfish*. Holdich D. M. (ed): 152-191. Blackwell Science Ltd., London.
- 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.
- Shimizu S. J., Goldman C. R. 1983. *Pacifastacus leniusculus* (Dana) production on the Sacramento river. *Freshwater crayfish* 5: 210-228.
- Skurdal J., Taugbøl T. 2002. *Astacus. Biology of Freshwater Crayfish*. Holdich D. M. (ed): 467-510. Blackwell Science Ltd., London.
- Stucki T. P. 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater crayfish* 13: 463-476.
- Tamkevičienė E. A. 1988. Growth and development of juveniles of the native and introduced species of freshwater crayfish. *Freshwater crayfish* 7: 396-400.
- Tulonen J., Erkamo E., Kirjavainen J. 1995. Growth rate, survival and reproduction of noble crayfish (*Astacus astacus* (L.)) and signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana). *Freshwater crayfish* 10. Geddes M. C., Fiedler D. R. & Richardson A. M. M. (eds): 623-629.



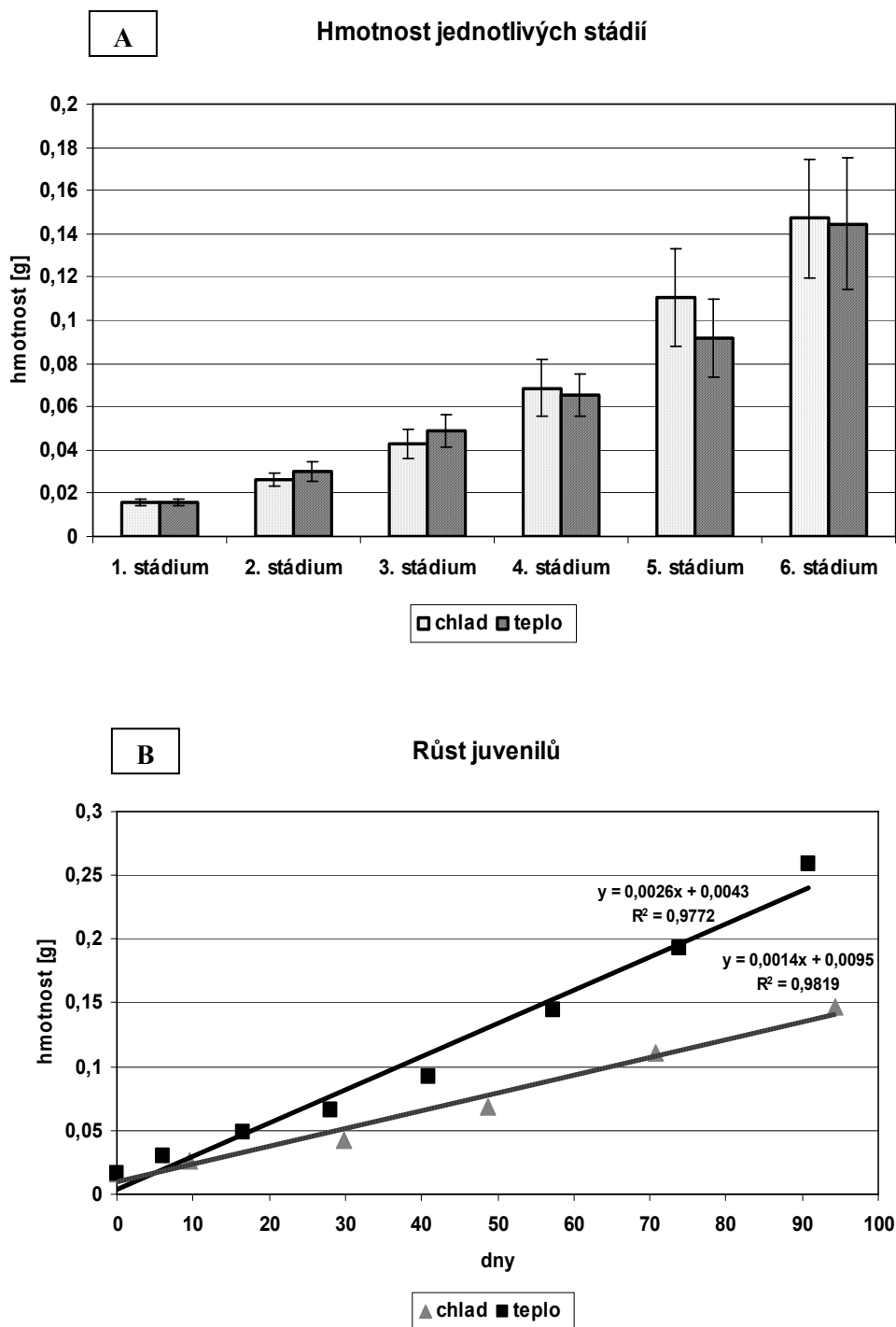
Obr. 1: Doba do dosažení jednotlivých vývojových stádií ve dnech od vylíhnutí (A) a délka trvání jednotlivých svlékání (B) pro ráčata raka signálního. V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty se směrodatnou odchylkou.

*Time from hatching to reach of consecutive developmental stages (A) and intermoult periods (B) for *P. leniusculus* juveniles in their first 3 months of life. Average values and standard deviation are shown.*



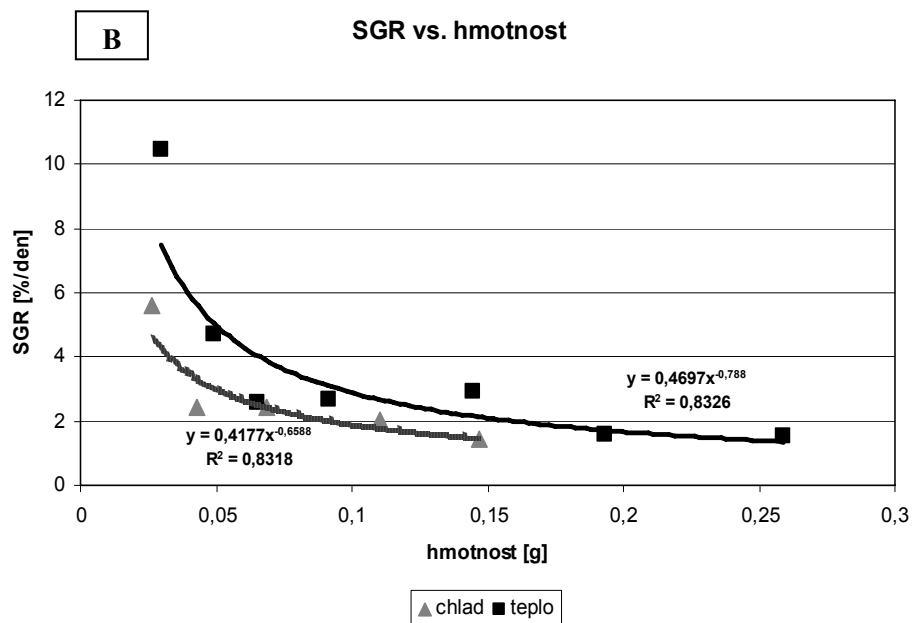
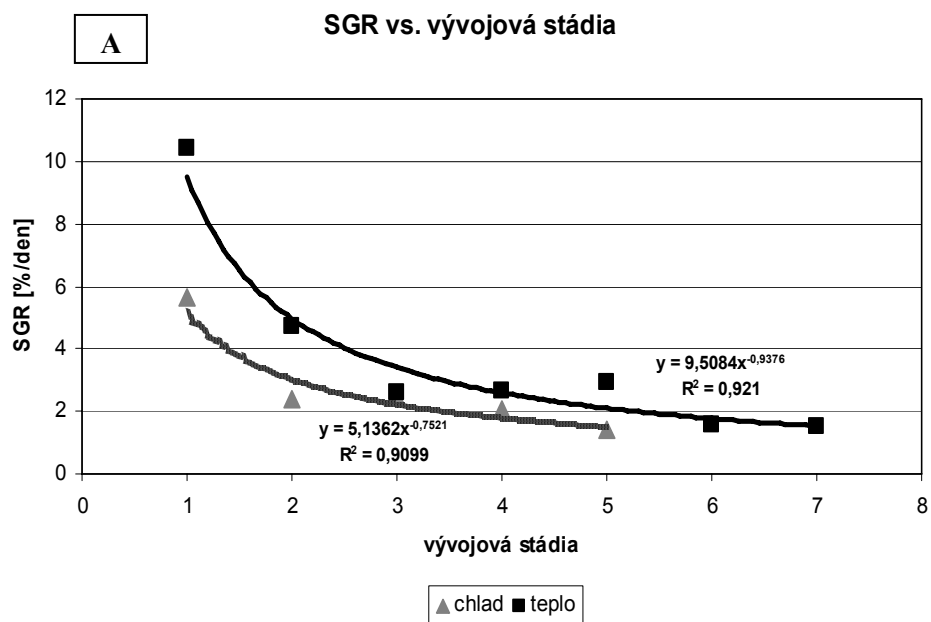
Obr. 2: Absolutní přírůstky hmotnosti (A) a procentní přírůstky hmotnosti (B) v jednotlivých vývojových stádiích juvenilů raka signálního. Zobrazeny jsou průměrné hodnoty a směrodatné odchylky.

*The absolute body wet weight increments (A) and percent weight increments (B) in individual developmental stages for *P. leniusculus* juveniles. Average values and standard deviation are shown.*



Obr. 3: Průměrná hmotnost jednotlivých vývojových stádií raka signálního s uvedením směrodatných odchylek (A). Hmotnostní růst juvenilů raka signálního odchovávaných ve dvou různých teplotách s uvedením rovnic lineární korelace (B).

*The average body wet weight in individual developmental stages of juveniles *Pacifastacus leniusculus*. Average values and standard deviation are shown (A). The growth of *P. leniusculus* juveniles reared at two different temperatures. The equations of linear correlation are shown (B).*



Obr. 4: Závislost specifické rychlosti růstu (SGR) na počtu svlékání (A) a hmotnosti ráčat (B) raka signálního odchovávaného ve dvou různých teplotách. Z grafů je patrná významná mocninná korelace s uvedením regresních rovnic.

*The relationship of specific growth rate and number of moults (A) and weight (B) of the *P. leniusculus* juveniles reared at two different temperatures. The equations of power function correlation are shown.*