

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Laboratoř sladkovodních ekosystémů

Bakalářská práce

**Porovnání přežívání a růstu raka červeného a
raka mramorovaného v teplotně suboptimálních
podmínkách**

Jméno autora: Jaroslav David

Jméno vedoucího: Ing. Antonín Kouba, Ph.D.

Studijní program a obor: Zootechnika, Rybářství

Forma studia: Prezenční

Ročník studia: 3.

V Českých Budějovicích, 2021

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, případně v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných FROV JU. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum:

Podpis studenta:

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Antonínu Koubovi, Ph.D., a konzultantovi Ing. Martinu Musilovi za metodické vedení, odbornou pomoc, poskytnuté rady a cenné připomínky při vypracování této bakalářské práce.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybářství a ochrany vod

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jaroslav DAVID
Osobní číslo: V18B005P
Studijní program: B4103 Zootechnika
Studijní obor: Rybářství
Téma práce: Porovnání přežívání a růstu raka červeného a raka mramorovaného v teplotně suboptimálních podmínkách
Zadávající katedra: Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Zásady pro vypracování

Populace původních druhů raků v Evropě byly velkou měrou zdevastovány. Jedním z hlavních důvodů bylo zavlečení řady „úspěšnějších“ (agresivnějších, dříve dospívajících, plodnějších, rychleji rostoucích atd.) severoamerických druhů raků. Tito jsou chronickými přenašeči račího moru, vůči němuž jsou raci nepocházející ze Severní Ameriky velmi citliví. Rak mramorovaný *Procambarus virginalis* je novým, v Evropských vodách stále častěji se vyskytujícím se druhem, jenž se nezdědka dostává do kontaktu s jinými, již dříve etablovanými nepůvodními raky. Kdo však bude mít při takovém setkání navrch? Rak mramorovaný totiž také pochází ze Severní Ameriky a račí mor tak nebude hrát žádnou, popř. jen minimální roli. V nedávné době jsme porovnávali přežívání, růst a dospívání ráčat (od přechodu na vnější výživu) raka mramorovaného se čtyřmi dalšími nepůvodními raky. Ve sledovaných parametrech dominoval rak mramorovaný nad rakem signálním *Pacifastacus leniusculus* a rakem pruhovaným *Faxonius limosus*, rostl však pomaleji v porovnání s rakem ničivým *Cherax destructor* a rakem červeným *Procambarus clarkii*. Ráčata byla držena v jednodruhových nebo smíšených obsádkách a v pravidelných intervalech bylo zjišťováno jejich přežití, růst a případné dozrávání (tvorba žláz, ovulace vajíček). Zmiňovaní raci se však mohou setkat i na chladnějších lokalitách.

Cílem této bakalářské práce bude vypracování literárního přehledu na téma rozšíření, růstu, dospívání a reprodukce raka mramorovaného a raka červeného. Experimentální část bude zaměřena na porovnání přežívání, růstu a dozrávání zvolených druhů držených v jednodruhových, popř. smíšených obsádkách. Odchov bude probíhat při teplotě vody 16 °C. Tato teplota je pro raka mramorovaného považována za suboptimální, stále se však nachází v rozmezí, kdy by měl být schopný úspěšné reprodukce.

Rozsah pracovní zprávy: 30-50 stran

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

HOLDICH, D. M. REYNOLDS, J. D. SOUTY-GROSSET, C., SIBLEY P. J. (2009). A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 394-395: 11.

HOSSAIN, M.S., PATOKA, J., KOUBA, A., BUŘIČ, M. (2018). Clonal crayfish as biological model: a review on marbled crayfish. *Biología*. 73: 841-855.

KOUBA, A., PETRUSEK, A., KOZÁK, P. (2014). Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 413: 5.

KOZÁK, P. a kol. (2013). *Biologie a chov raků* (ed. KOZÁK, P.). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta Rybářství a ochrany vod, Vodňany

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Kouba, Ph.D.
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Musil
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Datum zadání bakalářské práce: 3. února 2020
Termín odevzdání bakalářské práce: 3. května 2021



prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan

L.S.



prof. Ing. Tomáš Randák, Ph.D.
ředitel

1. Obsah

1.	Obsah	6
2.	Úvod	8
3.	Cíl práce	10
4.	Literární přehled	11
4.1.	Introdukce invazivních druhů do nepůvodních areálů	11
4.1.1.	Historický vývoj introdukce nepůvodních druhů	11
4.1.2.	Hlavní důvody a hybatelé introdukce nepůvodních druhů	12
4.1.3.	Obchod s mazlíčky	12
4.2.	Nebezpečí skýtající invazivní druhy raků	13
4.2.1.	Dopad na prostředí	13
4.3.	Račí mor	16
4.4.	Rak červený	17
4.4.1.	Popis druhu	17
4.4.2.	Ekologie a biologie	18
4.4.3.	Rozšíření	19
4.5.	Rak mramorovaný	21
4.5.1.	Popis druhu	21
4.5.2.	Ekologie a biologie	22
4.5.3.	Rozšíření	24
4.6.	Vliv teploty na život raků	27
5.	Metodika práce	29
6.	Výsledky	32
6.1.	Růst	32
6.2.	Přežívání	34
6.3.	Poškození klepet a dozrávání	35
7.	Diskuze	38

8.	Závěr.....	41
9.	Přehled použité literatury.....	43
9.1.	Internetové zdroje:.....	43
9.2.	Odborné publikace:.....	43
10.	Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	54
10.1.	Seznam obrázků	54
10.2.	Seznam tabulek	54
10.3.	Seznam grafů.....	55
11.	Abstrakt.....	56
12.	Abstract (English).....	57

2. Úvod

Raci jsou důležitou součástí vodních ekosystémů. Svou činností se zapojují do rozsáhlého a velmi komplexního souboru interakcí mezi jednotlivými organismy i prostředím. Raci jsou všežravci a zasahují tak do více trofických úrovní. Jejich jídelníček se skládá z rostlin, živočichů i detritu. Sami pak mohou být potravou pro jiné predátory (především ryby, savce a ptáky), ale běžný je u nich i kanibalismus.

Vedle jejich důležitosti pro biodiverzitu a zdravý ekosystém je nezbytné říci, že se objevují i na lidském jídelníčku. Celosvětově vznikají odchovy raků a probíhá jejich odlov, za účelem uspokojení poptávky po jejich mase. Jsou ale i významnými druhy v akvaristice. Jsou tedy významní i z ekonomického pohledu.

Já jsem se ve své bakalářské práci zaměřil na zkoumání dvou severoamerických raků, a to na raka červeného *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) a na raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko, 2017. Tyto druhy raků se z areálu svého původního výskytu několika způsoby velice rychle šíří do různých lokalit po celém světě. Naneštěstí jsou schopni adaptace na nové prostředí a vytvářejí nové stabilní populace. V oblastech nepůvodního výskytu představují riziko pro místní druhy raků a jejich prostředí.

Zástupci výše jmenovaných druhů raků se tak začínají ve volnosti setkávat. Prozatím se jedná o spíše oteplené lokality, v budoucnu však lze očekávat jejich přítomnost i na chladnějších místech tak, jak budou stále rozšířenější. V tomto experimentu jsme si dali za cíl otestovat, který z raků bude v takovém případě pravděpodobně více prosperovat. Abychom to mohli zjistit, zaměřili jsme se na porovnání jejich růstu, mortality, poškození klepet a dozrávání.

Tyto druhy raků byly vybrány z více důvodů. Oba raci byli především v minulosti snadno dostupní v různých akvaristických obchodech, a tak k nim měl přístup prakticky každý. I dnes jsou mezi chovateli běžní. Jak už to ale bývá, ne všichni chovatelé se chovají zodpovědně, nebo nejsou o dané problematice dostatečně poučeni. Hrozí tedy zavlečení a etablování nového druhu v nových, ne zřídka překvapivých oblastech. Severoamerické druhy jsou navíc chronickými přenašeči tzv. račího moru (včetně jedinců držených pro

okrasné účely), a tak vzniká riziko zavlečení této nemoci do volných vod. V konečném důsledku vlastně „záchrana“ jednoho raka může zabít mnohonásobně více jiných, původních raků. Problematické není jen možné zapříčinění vyhlazení původních populací, ale i širší ekologické dopady v celém povodí, o čemž je blíže pojednáno v dalších kapitolách.

3. Cíl práce

1. Vypracování rešerše o invazivních druzích raků, s důrazem na raka červeného a raka mramorovaného včetně jejich rozšíření, růstu, dospívání a reprodukce.

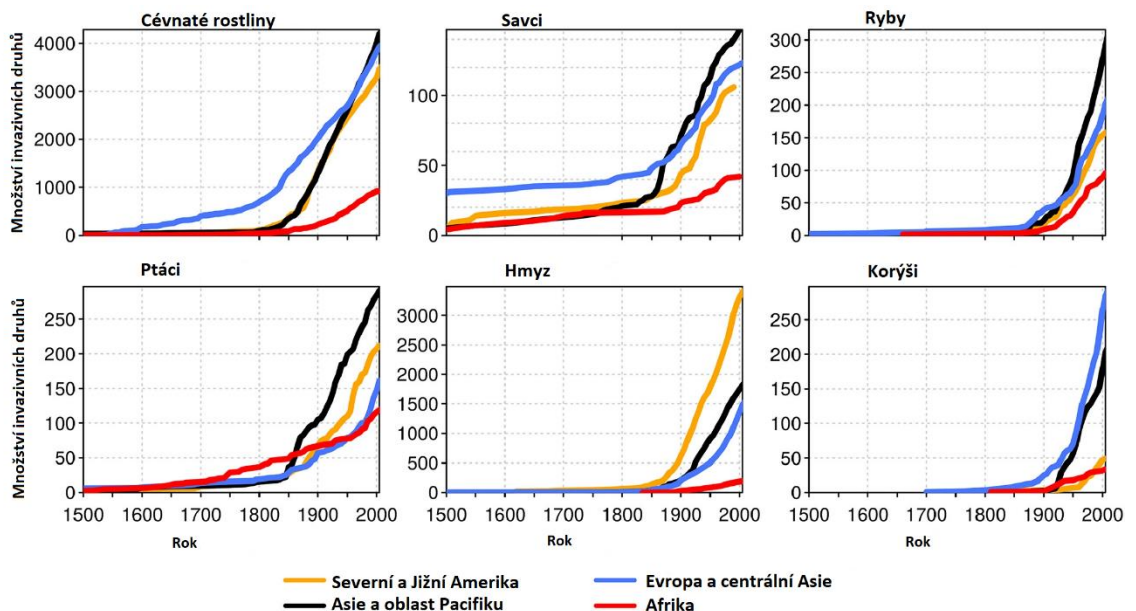
2. Provedení experimentu v suboptimální teplotě (16 °C) zaměřeného na porovnání růstu, přežívání, poškození klepet a dozrání zvolených druhů držných v jednodruhových popř. smíšených obsádkách.

4. Literární přehled

4.1. Introdukce invazivních druhů do nepůvodních areálů

4.1.1. Historický vývoj introdukce nepůvodních druhů

Lidé odjakživa přepravovali různé druhy zvířat a rostlin, ať už záměrně, nebo nevědomky. Díky omezeným možnostem cestování se ale jednalo o méně častý jev, a to především na kratší vzdálenosti. První masová introdukce nepůvodních druhů se rozbíhá v 15. a 16. století v návaznosti na evropské znovuobjevení Ameriky (Preston a kol., 2004). Dalším milníkem introdukce je pak průmyslová revoluce. Vynález parního stroje urychlil a usnadnil dopravu (Hulme, 2009). Třetím a zároveň posledním historickým milníkem je nástup globalizace na začátku druhé poloviny dvacátého století. Obchod a zároveň transport zboží (i organismů) roste společně s rychle rostoucí ekonomikou, a tedy i větším objemem transportu zboží i lidské mobility obecně. Jak můžeme vidět na obrázku č. 1, v dnešní době počet invazivních druhů roste exponenciální křivkou a předpokladem je, že tento trend bude pokračovat (Pyšek a kol., 2020).



Obrázek č. 1: Globální růst celkového počtu invazivních druhů (Pyšek a kol., 2020; upraveno)

4.1.2. Hlavní důvody a hybatelé introdukce nepůvodních druhů

Hulme a kol., (2008) uvádí, že způsoby, jak se nový potenciálně invazivní druh dostane do nového prostředí, by se daly rozdělit do šesti hlavních kategorií. A to úmyslným vypuštěním (např. mazlíčci, lovná zvěř, ryby pro sportovní rybolov), nechtěným únikem ze „zajetí“ (např. mazlíčci, hospodářská zvířata, užitkové a okrasné rostliny), nechtěnou kontaminací komoditou (např. semínka trav, hmyzí škůdci, mikrobiální patogeny), jako černí pasažéři na dopravních prostředcích (např. živočichové a rostliny na trupech lodí nebo v balastní vodě), dalšími antropogenními koridory (např. Panamský a Suezský průplav), nebo samovolným šířením, z již dříve napadených oblastí.

Všechny způsoby popisované výše souvisejí do nějaké míry s komerčním obchodem. Je několik důvodů, proč s organismy obchodovat (Meyerson a Mooney, 2007). Poměrně častým důvodem je využívání nových organismů k produkci potravin, čímž dochází k nasycení populace. Je důležité zdůraznit i způsob introdukce, který dnes hraje velkou roli při zavlečení značného množství nepůvodních živočichů (obchod s „mazlíčky“), ale i rostlin (Karesh a kol., 2005).

4.1.3. Obchod s mazlíčky

Obchod s „mazlíčky“, anglicky „*pet trade*“, je velice rychle rostoucí odvětví, které nabízí velké množství různých živočichů. Bylo zjištěno, že z celého objemu obchodu se zvířaty byla jedna pětina živočichů prodána právě jako domácí mazlíčci (Baker a kol., 2013). Většina těchto živočichů a rostlin skutečně zůstane u zákazníků a zavlečení nehrozí, ale při tak velkém objemu těchto organismů se bohužel jen těžko dá zamezit příležitostným únikům, nebo úmyslnému vypuštění nezodpovědným chovatelem. Důkazem nám mohou být nálezy různých organismů napříč taxony a kontinenty. Příkladem jsou invazivní druhy ptáků na Taiwanu (Su a kol., 2016) nebo invazivní druhy obojživelníků v USA (Mohanty a Measey, 2019).

Když se zaměříme na vodní prostředí, zjistíme, že situace je velice obdobná. Jako příklad lze uvést studii, která na Novém Zélandu potvrdila riziko zavlečení velkého množství nepůvodních organismů, jenž pramení z jejich hojného výskytu v tamních akváriích (Duggan, 2010). Česká republika je na světové špičce v akvaristice, a to nejen

co se týče produkce, ale i přepravy organismů (Ploeg, 2013; Kalous a kol., 2015). Z toho vyplývá, že do našich vod může teoreticky proniknout velké množství různých vodních organismů. Patoka a kol., (2014) říkají, že v roce 2013 bylo na českém trhu volně dostupné velké množství různých nepůvodních druhů včetně ryb a želv. Mimo jiné bylo také nalezeno 27 druhů raků. Nálezy vysoce invazivních druhů jako jsou rak červený nebo rak mramorovaný byly běžné. Tito raci se již dle evropské legislativy nesmí chovat, avšak je možné si je ponechat tzv. na „dožití“. Problémem ale je, že jak je pojednáno níže, se rak mramorovaný rozmnožuje partenogeneticky, tudíž je za těchto podmínek zastavení jeho chovu těžko proveditelné (EU, 2014; EU, 2016) a aktivní zásah ze strany chovatele je tedy nutný.

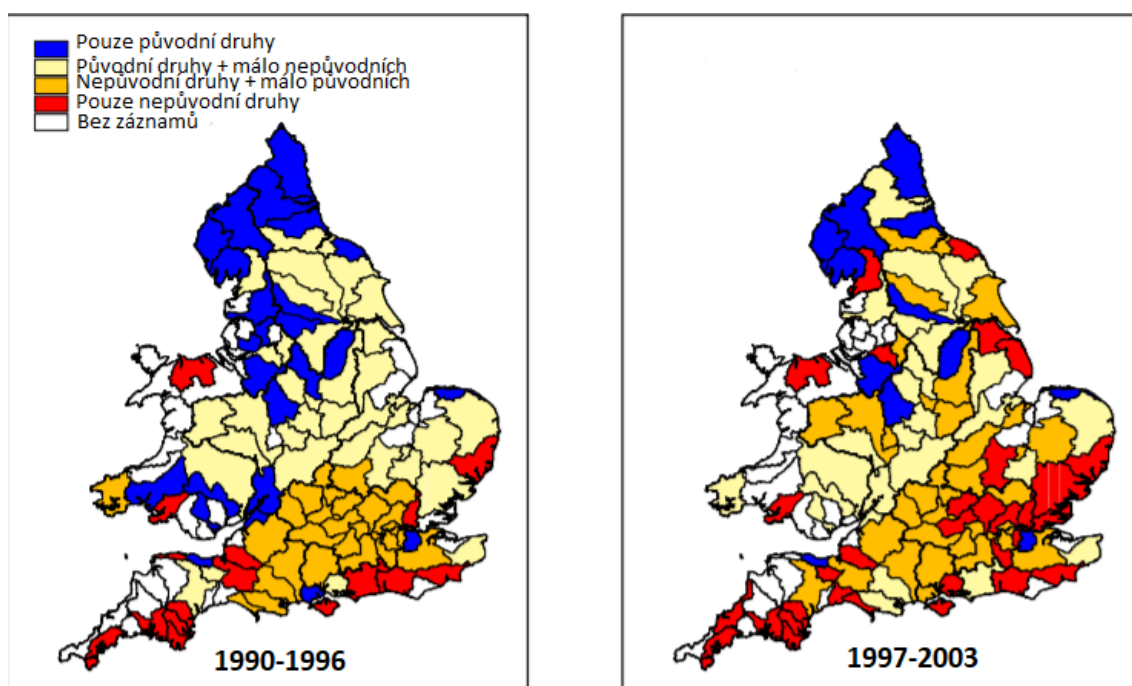
4.2. Nebezpečí skýtající invazivní druhy raků

4.2.1. Dopad na prostředí

Jak již bylo nastíněno v úvodu, různé organismy se projevují různým chováním v ekosystému. Liší se od sebe potravními návyky, tolerancí vůči prostředí, rychlostí rozmnožování a s tím související abundancí, ale i dalšími aspekty. Invazivní druhy raků mohou vyvíjet enormní vyžírací tlak na některé druhy organismů. Výzkum v Italském jezeře zaměřený na ovlivnění organismů v litorálu rakem červeným prokázal vysokou míru konzumace makrofyt i bezobratlých živočichů jako např. vodního hlemýždě *Haitia acuta* (Draparnaud, 1805) (Gherardi a Acquistapace, 2007). Raci však mohou významně ovlivnit i obratlovce, jak prokázal výzkum s raky signálními *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852), kteří jsou schopni konkurovat bentickým druhům ryb nejen potravně, ale i v kompetenci o úkryty. Bentické ryby se také vyskytují na jejich jídelníčku (Guan a Willes, 1997). Tím mohou některé organismy z dané lokality prakticky vytlačit (Souty-Grosset a kol., 2016). Jak už bylo naznačeno výše, raci svou činností také ovlivňují stanoviště, která jsou využívána rybami a obojživelníky k odpočinku a reprodukci (Yamamoto, 2010). Především rak červený se vyznačuje značným norovacím chováním, kdy vybudované nory využívá jako úkryty. Tento efekt může způsobit erozi břehů, zákal vody a zvýšení průsaku (Anastácio a Marques, 1997). Uvolnění živin do vody, nejen ze zvířeného sedimentu, ale i ze zkonsumovaných organismů, ve kterých byli živiny vázány, má za následek rozvoj sinic, který společně s aerobním rozkladem organických látek

způsobí zhoršení kyslíkových poměrů na dané lokalitě (Yamamoto, 2010; Anastácio a Marques, 1997).

Invazivní druhy raků v oblastech svého výskytu v Evropě vytlačují populace původních raků. Pokud nebudou podniknuty kroky k ochraně původních druhů raků, tak se přepokládá, že v několika následujících desetiletích mohou invazivní druhy zcela dominovat. V mnoha zemích můžeme pozorovat klesající křivku počtu populací původních druhů v závislosti na šíření nepůvodních druhů raků (Holdich a kol., 2009). Na obrázku č. 2 můžeme vidět porovnání výskytu původních a nepůvodních druhů raků v Anglii v letech 1990-1996 a 1997-2003.



Obrázek č. 2: Porovnání výskytu původních a nepůvodních druhů raků v Anglii v letech 1990-1996 a 1997-2003 (Holdich a Sibley, 2003; upraveno).

V životech raků hrají velkou roli úkryty. Tato role je tak velká, že jejich nedostatek může zapříčinit vymizení populace z dané lokality. Invazivní raci patří mezi velmi agresivní druhy, a tak v kompetenci o úkryty, ale i o potravu nad původními druhy dominují (Hale a kol., 2016). Když se zaměříme na porovnání agresivity invazivního raka signálního s raky původními v České republice, zjistíme, že jsou přibližně stejně agresivní, avšak rak signální se vyznačuje rychlejším růstem a tedy většími rozměry, což

dává tomuto druhu v přímé konfrontaci výhodu (Vorburger a Ribí, 1999). V USA byla provedena studie porovnávající úspěšnost raka červeného s rakem signálním v kompetenci o úkryty. Studie prokázala, že rak červený je v tomto souboji mnohem úspěšnější. Byl početnější ve všech druzích úkrytů a převyšoval raka signálního i v celkové abundanci (Hanshew a Garcia, 2012).

V rámci porovnání raka červeného a raka mramorovaného byly v experimentálních podmínkách sledovány interakce nedospělých a dospělých jedinců. Jimenez a Faulkes, (2010) říkají, že mezi juvenilními jedinci raka mramorovaného a raka červeného je stejná míra agresivity, a zároveň i stejná úspěšnost ve vzájemných soubojích. Hossain a kol., (2019) ve svém pokusu dokonce zjistili, že v absolutních číslech při interakci stejně velkých jedinců dominoval rak mramorovaný a to v 75% ze všech interakcí. Avšak co se týče kompetice v přírodních podmínkách, předpokládá se, že výsledek nebude tak silně ve prospěch raka mramorovaného, jelikož se nebudou potkávat pouze jedinci podobných rozměrů. Výhodou raka červeného je rychlejší růst a větší rozměry v dospělosti (Kozák a kol., 2015; Kouba a kol., 2018). Pozorování z Maďarska také naznačuje, že rak červený je více agresivní při získávání potravy, kdy se živý spíše karnivorním způsobem a preduje na rybách a racích ostatních nepůvodních druhů (Veselý a kol., 2021).

V tabulce č. 1 můžeme vidět porovnání vlastností raka červeného a raka mramorovaného oproti evropským druhům raků – raku říčnímu *Astacus astacus* (Linnaeus 1758), raku bahennímu *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholdz 1823) a raku kamenáči *Austropotamobius torrentium* (von Paula Schrank 1803). Důležité je také říci, že rak červený i rak mramorovaný snáší lépe prostředí zatížené znečištěním, což jim dává možnost obývat širší spektrum lokalit (Reynolds a kol., 2013). Nesmíme rovněž zapomínat, že severoameričtí raci jsou přenašeči račího moru, o kterém je pojednáno v další kapitole.

Tabulka č. 1: Porovnání vlastností vybraných druhů raků.

Druh	Agresivita	Pohlavní dospělost (let)	Počet vajíček (ks)	Doba inkubace (Měsíc)	Reference
Rak říční	Nizká	3-5	40-280	7-8	Holdich a kol., 2006; Skurdal a Taugbøl, 2002; Stucki, 2002
Rak bahenní	Nizká	3-5	200-400	7-8	Holdich a kol., 2006; Pöckl a kol., 2006
Rak kamenáč	Nizká	3-5	50-100	7-8	Holdich a kol., 2006; Pöckl a kol., 2006
Rak červený	Vysoká	<1	200-700	0,75	Oluoch, 1990; Huner a Barr, 1991; Huner, 2002; Holdich a kol., 2006; Pöckl a kol., 2006; McClain a Romaine, 2007
Rak mramorovaný	Vysoká	<1	50-700	0,75	Seitz a kol., 2005; Holdich a kol., 2006; Lipták a kol., 2016

4.3. Račí mor

Račí mor je onemocnění způsobené parazitem hnilečkem račím *Aphanomyces astaci* Schikora ze skupiny Oomycetes (Söderhäll a Cerenius, 1999). Zmiňovaný český název se však v praxi obvykle nepoužívá. Račí mor se rozmnožuje pouze nepohlavně pomocí zoospor (Cerenius a kol., 1988). Zoospory mají dva bičíky, s jejichž pomocí jsou schopny pohybu na krátkou vzdálenost (Cerenius a Söderhäll, 1984). Při nalezení vhodného hostitele nastává tzv. encystace. Tento jev spočívá v tom, že se zoospora přichytí na povrch těla, odvrhne se bičíky, zakulatí se a vytvoří buněčnou stěnu. Poté cysta klíčí a prorůstá do račí kutikuly za tvorby nového mycelia. Ze sporangií vzniklých na konci hyf, které vyrůstají zpět do vody, se uvolní další zoospory, jenž si hledají nového hostitele (Cerenius a Söderhäll, 1984).

Je velký rozdíl v prorůstání tohoto parazita do těla raka mezi severoamerickými zástupci a druhy z ostatních částí světa. Díky dlouhodobé koexistenci parazita a severoamerických raků ve společném prostředí si dokázali vytvořit imunitní reakci, která je v případě dobré kondice raka schopna nákazu zastavit a rak přežije bez vážnějšího poškození (Unestam, 1969). Imunitní reakce spočívá v tom, že prorůstání račího moru napadený rak zastaví v kutikule a dále se významněji nerozvíjí (Cerenius a kol., 2003). Imunitní reakce parazita nezabije, ten zůstává živý a je schopen produkce nových zoospor. Tudíž je takto napadený rak chronickým přenašečem a je schopný nakazit další hostitele (Svoboda, 2011).

4.4. Rak červený

4.4.1. Popis druhu

Dospělci mají obvykle zbarvení do tmavě červené. Mezi akvaristy však probíhá obchod i s jedinci, kteří mají zcela odlišné zbarvení. Je možné pozorovat bílé, černé, modré, oranžové nebo žluté variace. Můžeme se setkat i s pestrobarevně barevnými jedinci přezdívanými „ghosts“ (Pöckl a kol., 2006). Jak můžeme vidět na obrázku č. 3, rak červený se vyznačuje poměrně úzkou, na povrchu zrnitou hlavohrudí. Jedním z poznávacích znaků je jeden pár postorbitálních lišt. Hlavohrud' má typicky sblížené branchio-kardinální brázdy, což má za následek vymizení aeroly (pruhu hlavohrudí mezi těmito brázdami). Rostrum se postupně zužuje až k zakončení do krátké špičky. Na rostru nenajdeme střední rýhu. Esovitě prohnutá klepeta jsou pokryta velkým počtem výrůstků (Kozák a kol., 2013). Rak červený je středně velkým druhem raka, délka těla dospělého jedince se pohybuje okolo 10-12 cm. Patří mezi rychle rostoucí druhy raků (McClain a Romaine, 2004).



Obrázek č. 3: Rak červený (zdroj: home.czu.cz, 2021)

4.4.2. Ekologie a biologie

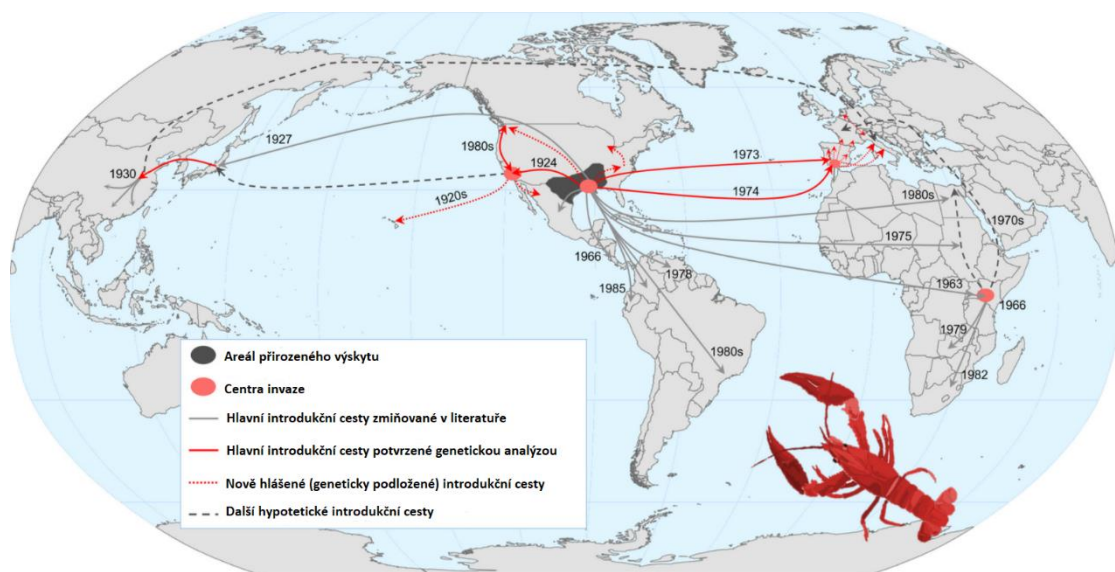
Rak červený pohlavně dospívá již při délce těla menší než 45 mm, ale také až při celkové délce 125 mm (Kouba a kol., 2013). Plodnost je 200-300 vajíček na jednu samici, jsou známy ale i případy samic nesoucí až 700 vajíček (Olouch, 1990; Huner, 2002). Dospělosti dosahuje ve věku 5 měsíců (Huner a Barr, 1991). Životní cyklus se mění v závislosti na prostředí. Páření probíhá většinou na jaře, ale není to pravidlem. V teplejších oblastech je rak červený schopen se rozmnožit i dvakrát ročně (Holdich a kol., 2006).

Tento druh je velice adaptabilní a je schopen prosperovat v nespočtu různých lokalit. Ve vodě se špatnými kyslíkovými podmínkami je schopen dobře přijímat i vzdušný kyslík (McMahon a Stuart, 1999). Je adaptován na periodické vysoušení prostředí. Toto „nepříznivé“ období přečkává v krátkých a jednoduchých norách. Tyto nory však ve výjimečných případech mohou dosahovat hloubky až několik metrů (Haubrock a kol., 2019). Prokazuje také značnou odolnost vůči velké řadě dalších

parametrů prostředí jako je salinita, pH, koncentrace dusitanů, nebo obsah těžkých kovů (McMahon, 2002; Holdich a kol., 2006; Piscia a kol., 2011).

4.4.3. Rozšíření

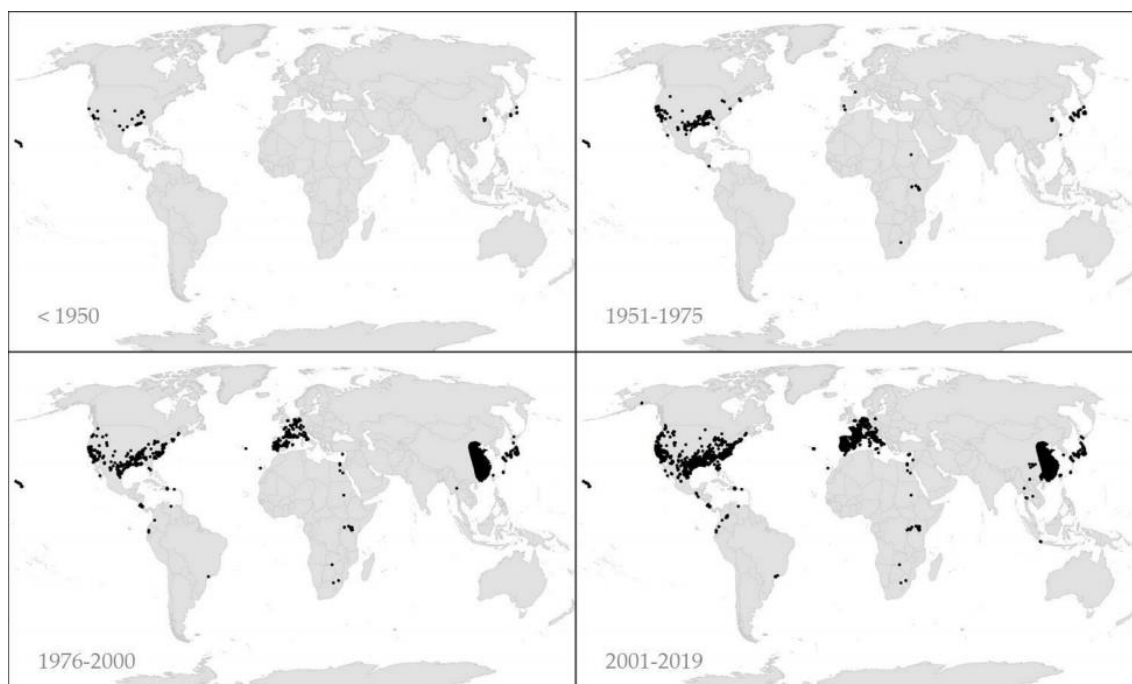
Rak červený je původním druhem ze Severní Ameriky. Jeho původní areál se vyskytuje na území pokrývající severovýchod Mexika, ohraničen je pak Texasem na západě a státy Illinois a Indiana na severu. Východní hranici jeho přirozeného výskytu tvoří Florida (Holdich a kol., 2006). Později se ale rak červený různými způsoby rozšířil do mnoha dalších oblastí. Jeden z prvních výskytů mimo Severní Ameriku byl na počátku 20. století v Japonsku, kam byl dovezen jako potravní druh pro skokana volského *Lithobates catesbeianus* (Penn, 1954), odtud se ve třicátých letech minulého století dostal s japonskými okupačními silami do Číny (Xingyong, 1995). Obrázek č. 4 znázorňuje původní areál výskytu a hlavní introdukční cesty raka červeného včetně datace.



Obrázek č. 4: Hlavní introdukční cesty raka červeného (Oficialdegui a kol., 2019; upraveno).

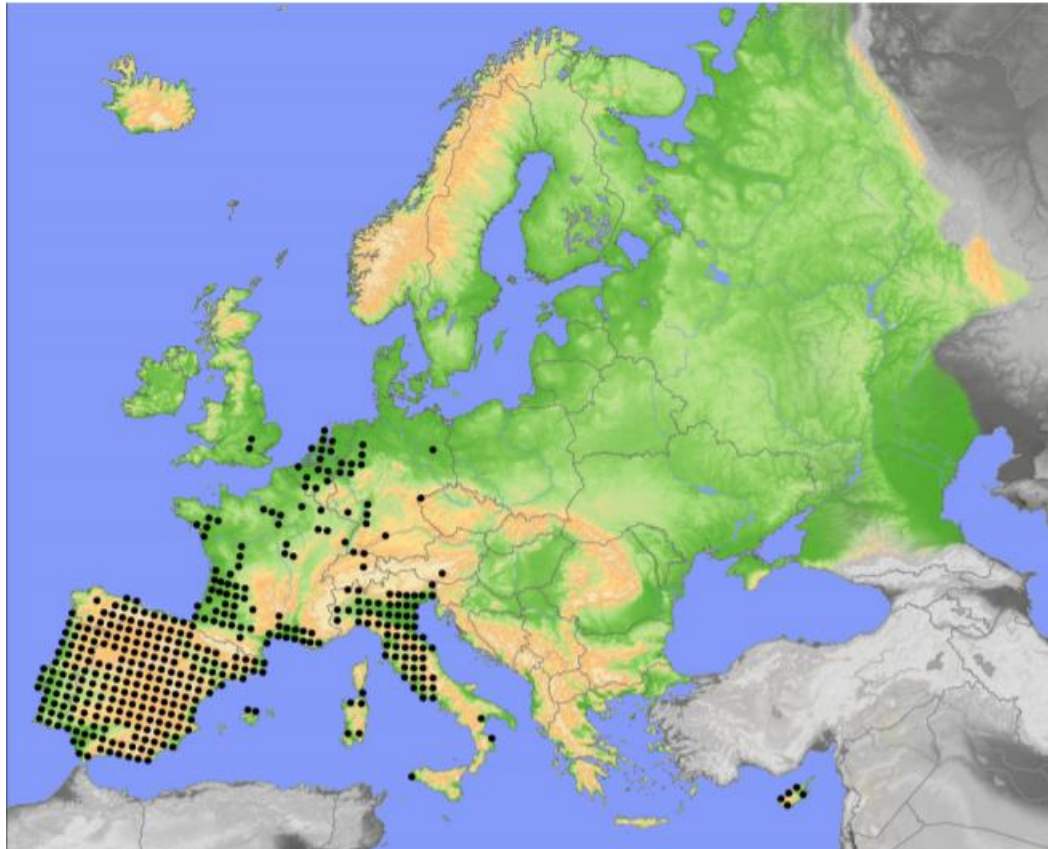
V Louisianě je tradičně chován v duokultuře s rýží. Jelikož se jednalo o úspěšný a velmi výnosný model produkce, byla snaha tento systém napodobit i v jiných oblastech (Huner, 2002). V druhé polovině 20. století tedy začal transkontinentální transport do Evropy, Afriky a Asie. Na obrázku č. 5 je znázorněn výskyt raka červeného ve světě

v průběhu času. Postupně byl introdukován na všechny kontinenty kromě Antarktidy. Nyní je považován za nejvíce kosmopolitní druh raka na světě (Lindqvist a Huner, 1999).



Obrázek č. 5: Globální výskyt raka červeného v průběhu času (Oficialdegui a kol., 2019)

Do Evropy byl poprvé vysazen v červnu 1973 na farmu ve Španělsku, a to v množství 100 kg. Další rok byla populace podpořena dalšími 400 kg nových raků (Habsburgo-Lorena, 1986). Bohužel se některým jedincům podařilo uniknout a kolonizovat nejbližší okolí. Za podpory místních zemědělců a rybářů se jim podařilo expandovat do celého národního parku Doñana a do řeky Guadalquivir (Gherardi, 2006). Kvůli akvakultuře následovaly další introdukce do dalších evropských zemí jako do Francie a Itálie v letech 1974-1977. V roce 1979 se dostal přirozenou cestou do řeky Caia v Portugalsku. V osmdesátých letech byl rak červený kvůli lidské spotřebě dovezen i do Belgie a Nizozemí a v roce 1991 do Anglie (Oficialdegui, 2019). Bohužel tím tento výčet nekončí a rak červený se stále šíří dál pomocí přirozených cest, vysazením chovatelů, nebo úniky z chovů. Výskyt raka červeného na území České republiky zatím není potvrzen, ale stále přetrvává velké riziko, že do českých vod pronikne (Kouba a kol., 2014). Na obrázku č. 6 je znázorněn výskyt raka červeného v Evropě k roku 2014. Od té doby byl však objeven i na dalších lokalitách jako v Polsku na lokalitách ve Varšavě a v Krakově, nebo v Maďarsku v Dunaji. Další nálezy byly zaznamenány na Maltě v údolí Fiddien a v Chadvických jezerech (Maciaszek a kol., 2019; Gál a kol., 2018; Vella kol., 2017)



Obrázek č. 6: Výskyt raka červeného v Evropě (Kouba a kol., 2014). Poslední distribuční změny viz text výše.

Jak už bylo zmíněno, rak červený je velmi tolerantní vůči prostředí, a tak se s ním můžeme setkat jak v pstruhových tocích, tak i v dolních částech pomalu tekoucích řek. Vyskytuje se také v jezerech, přehradách, rybnících, mokřadech, brakických vodách, zavlažovacích kanálech, rýžových polích a dokonce také v jeskyních (Huner, 2002; Mazza a kol., 2014).

4.5. Rak mramorovaný

4.5.1. Popis druhu

Zbarvení tohoto druhu je hnědavé až tmavě nazelenalé s typickým mramorováním patrném hlavně na bocích hlavohrudi. Na hlavohrudi můžeme najít jeden pár postorbitálních lišt, a několik trnů za týlní brázdou. Jinak je hlavohruď hladká. Rostrum postrádá střední rýhu. Klepeta jsou malá, na povrchu slabě zrnitá (Holdich a kol., 2006). Rak mramorovaný je zástupcem menších, avšak poměrně rychle rostoucích druhů raků.

Délka dospělého jedince obvykle nedosahuje 10 cm, avšak můžou se objevit i jedinci o délce 13 cm (Pöckl a kol., 2006). Rak mramorovaný je k vidění na obrázku č. 7.



Obrázek č. 7: Rak mramorovaný (zdroj: irozhlas.cz, 2021)

Momentálně je rak mramorovaný často předmětem diskuzí. Mohl by poskytnout potravu hladovějícím obyvatelům rozvojových zemí (Jurmaliētis a kol., 2019). Jeho chov i reprodukce jsou poměrně snadné, na druhou stranu tento rak dorůstá pouze malých rozměrů a je s ním spojeno velké riziko úniku do volných vod a jeho následné etablování na dané lokalitě (Vogt, 2020), což by mohlo potravinovou bezpečnost ještě zhoršit.

4.5.2. Ekologie a biologie

Rak mramorovaný je zajímavý svou reprodukcí. Jako jediný desetinožec se rozmnožuje prostřednictvím apomiktické partenogeneze a vyskytují se u něj pouze samice. Samice tedy vytváří své vlastní geneticky identické klony (Lukhaup, 2001). Byl proveden pokus, při kterém byla vajíčka i ráčata vystavena působení samčímu pohlavnímu hormonu 17-methyl testosteronu, ale ani tak se zvrátit pohlaví nepodařilo a všichni jedinci zůstali samicemi (Vogt, 2007). Samčí hormony ale na raka mramorovaného přesto mají vliv, byli zjištěni jedinci, u kterých se nacházely některé samčí sexuální znaky. Jednalo se ale pouze o znaky externí, jako například částečně vyvinuté gonopody (pářící nožky samců). Na vajíčkách byla pozorována jediná změna,

a tou bylo jejich mírné zšednutí. Na rozmnožování to však nemělo žádný vliv a stále se jednalo o normálně se rozmnožující geneticky identické samice (Kato a kol., 2015).

V minulosti byl rak mramorovaný považovaný za partenogeneticky se rozmnožující formu raka klamavého *Procambarus fallax* (Hagen, 1870). Dnes je již však považován za samostatný druh. Morfologicky si jsou tyto dva druhy velice podobní, ale nejsou schopni se spolu rozmnožovat a mají mezi sebou značné genetické rozdíly (Lyko, 2017). Rak mramorovaný je navíc oproti raku klamavému triploidním organismem (Martin a kol., 2010).

Samice pohlavně dospívají poměrně rychle. Rychlost dospívání se odvíjí podle teploty vody, a tak při ideálních podmínkách (přibližně 25 °C) jsou dle dostupné literatury schopné reprodukce již ve věku 25-35 týdnů. V této době se jejich celková délka těla pohybuje přibližně okolo 4 cm. Reprodukce jsou za předpokladu vhodných podmínek schopni v průběhu celého roku. Rozmezí mezi jednotlivými cykly při chovatelských podmínkách může být dlouhé jen 8 týdnů (Hossain a kol., 2018). Frekvence rozmnožování v přírodě se však liší v závislosti na dalších faktorech, jako je například teplota. Při klesajících teplotách se cyklus zpomaluje, při teplotách nižších než 15 °C se rozmnožování zastavuje (Seitz a kol., 2005). Proto u populací v chladnějších podmínkách pozorujeme rozmnožování převážně v letních a podzimních měsících, kdy je voda dostatečně prohřátá (Lipták a kol., 2016)

Rak mramorovaný je velice nenáročným druhem co se typu prostředí týče (Jimenez a Faulkes, 2010). Dokáže přežít v teplotách klesajících pod 8 °C, avšak při pokusu simulujícím zimní podmínky, kdy byli drženi po dlouhou dobu v teplotě 2-3 °C byla mortalita již poměrně vysoká. Do konce pokusu přežil pouze jeden rak z patnácti. Jak je ale zmíněno výše, i jeden rak je schopen založit novou populaci, a tak problém s etablováním zůstává aktuální (Veselý a kol., 2015). Nejrychlejší růst nastává při teplotách nad 30 °C, avšak v těchto podmínkách již stoupá mortalita. Ta je nejnižší při teplotách okolo 20 °C (Seitz a kol., 2005). Výskyt tohoto raka byl prokázán i v lokalitách, které zamrzají, například lokality s přirozeným teplotním režimem na Slovensku (Lipták a kol., 2016; Lipták a kol., 2017).

Kaldre a kol., (2016) provedly studii porovnávající přežívání raka mramorovaného ve dvou venkovních nádržích v zimním období v závislosti na velikosti těla. Raci byli rozděleni na dvě skupiny podle velikosti, a to na skupiny s průměrnými hmotnostmi 2,1 g a 0,9 g. Experiment probíhal od 9. září 2011 do 18. dubna 2012. Výsledky prokázali výrazně nižší odolnost vůči nízkým teplotám u menších jedinců, u kterých dramaticky stoupla úmrtnost v teplotách klesajících pod 2°C. Přežití na konci experimentu v nádrži s většími jedinci bylo 60 %, zatímco v nádrži s jedinci menšími pouhých 8 %.

4.5.3. Rozšíření

Blízce příbuzný rak klamavý je rak původem ze Severní Ameriky, a to ze států Florida a Georgia (Taylor a kol., 2007). Samotný rak mramorovaný však byl poprvé objeven v Německu, kde byl dostupný v akvaristických obchodech. Zajímavostí je, že na území jeho původního výskytu tato forma není známa (Lukhaup, 2001; Vogt, 2019) a pouze s ohledem na areál nejbližšího příbuzného druhu je uvažováno, že by rovněž měl pocházet z této či blízké oblasti.

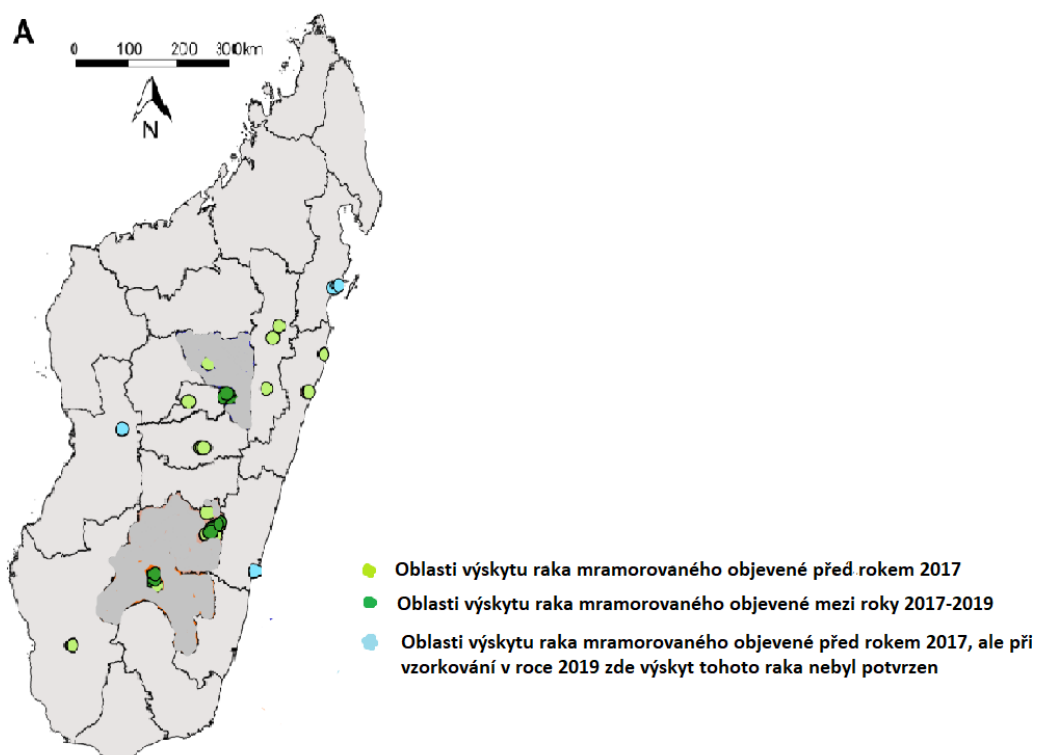
Poprvé byl rak mramorovaný nalezen ve volné přírodě v roce 2003 v Německu (Marten a kol., 2004). Další nález byl následující rok potvrzen v kanálech v Nizozemí (Soes a van Eekelen, 2006) a v roce 2008 v Toskánsku v Itálii (Marzano a kol., 2009). V roce 2009 začaly přibývat další nálezy nejen jedinců, ale i etablovaných populací v Německu (Martin a kol., 2010) a na Slovensku (Janský a Mutkovič, 2010). Nálezy v Německu se dále množily. Výskyt byl dále potvrzen ve Švédsku, Chorvatsku a Maďarsku (Kouba a kol., 2014; Bohman a kol., 2013; Samardžić a kol., 2014; Lökkös a kol., 2016). Naneštěstí následovalo objevení raka mramorovaného i na dvou lokalitách v České republice, a to v pražském Parku přátelství a v Radovesické výsypce v tůni na severu Čech (Patoka a kol., 2016). Od té doby byl u nás zachycen na minimálně dvou dalších lokalitách – opět na Radovesické výsypce a v Praze. V průběhu let byly další populace nalezeny na dvou lokalitách na Ukrajině, v Rumunsku v rybníce Băile Felix, ve dvou rybnících v Rakousku poblíž měst Vídeň a Salzburg, na pěti lokalitách v Belgii poblíž měst Leuven a Antverpy, na jedné lokalitě v Estonsku u elektrárny Narva, v potoce Karup v Dánsku, ve Francii v komplexu Moselle a dokonce na pěti lokalitách na Maltě. (Novitsky a Son, 2016; Pârvulescu a kol., 2017; Latzer a Pekny, 2018; Estonian Research

Council, 2018; Grandjean a kol., 2021; Deidun a kol., 2018). Rak mramorovaný byl také zachycen v Nizozemí, avšak nebyly pozorovány další známky výskytu, přesto je pravděpodobné, že se v této zemi opět objeví (van Kuijk a kol., 2021). V současné době se předpokládá, že za každou potvrzenou populaci v Evropě stojí hobby chovatelé (Chucholl, 2012). Výskyt raka mramorovaného v Evropě je znázorněn na obrázku č. 8.



Obrázek č. 8: Výskyt raka mramorovaného v Evropě (Marmocrebs. org, 2020; upraveno).

Ve světě byl výskyt raka mramorovaného potvrzen například na Madagaskaru a v Japonsku (Jones a kol., 2009; Kawai a Takahata, 2010;). Na Madagaskaru byl rak mramorovaný objeven v roce 2007 na místním tržišti (Jones a kol., 2009). Je zde využíván jako zdroj kvalitní bílkoviny pro místní obyvatele. Ti si sice jsou vědomi možných ekologických následků, avšak kvůli nízké životní úrovni se část populace tohoto zdroje obživy nechce vzdát a dá se očekávat jeho další šíření (Andriantsoa a kol., 2020). Obrázek č. 9 zobrazuje výskyt raka mramorovaného na Madagaskaru k roku 2019.



Obrázek č. 9: Výskyt raka mramorovaného na Madagaskaru k roku 2019 (Andriantsoa a kol., 2020; upraveno).

Výskyt tohoto druhu raka na Madagaskaru je po ekologické stránce velice bolestivý, jelikož Madagaskar je díky své ostrovní izolaci typický výskytem velkého množství endemických druhů a raci nejsou výjimkou. Můžeme zde nalézt raky z čeledi Parastacidae, jako např. rak trnitý *Astacoides betsileoensis* Petit, 1923, rak calldwellův *A. caldwelli* (Spence Bate in Sclater, 1865), rak madagaskarský *A. madagascarensis* (Milne Edwards a Audouin, 1839) a další druhy. Jak již bylo zmíněno výše, rak mramorovaný má potenciál ovlivňovat původní ekosystémy. Výzkum sice prokázal velice nízkou promořenost tamních populací račím morem, tudíž se prakticky neobjevují ohniska hromadných úmrtí původních druhů raků. Bohužel se ale populace raka mramorovaného může rychle promořit a račí mor se může začít šířit mezi vnímavé původní druhy. Rak mramorovaný disponuje dalšími vlastnostmi, jako je např. rychlá reprodukce a vysoká agresivita, pomocí kterých je schopen vytlačovat původní druhy raků. Navíc byl prokázán silný predanční tlak na místního sladkovodního hlemýždě *Biomphalaria pfeifferi* (Krauss, 1848) (Andriantsoa kol., 2019).

4.6. Vliv teploty na život raků

Teplota je jedním ze základních abiotických faktorů, který ovlivňuje veškerý život na zemi. Raci samozřejmě nejsou výjimkou, tím spíše, že se jedná o poikilotermní živočichy. Různým rakům prospívají různé teploty, máme tedy raky, kterým vyhovují spíše chladná stanoviště a raky, kteří se vyskytují na teplejších stanovištích. Tato skutečnost nás vede k rozdělení na chladnomilné a teplomilné druhy raků. Někteří teplomilní raci, jako jsou rak červený a rak mramorovaný, jsou však schopni se do určité míry na chladnější podnebí adaptovat a v nepříznivých podmínkách přezimovat (Veselý a kol., 2015). Tabulka č. 2 s optimálními teplotami vybraných druhů raků je k nahlédnutí níže.

Tabulka č. 2: Optimální růstová teplota u vybraných druhů raků.

Druh raka	Optimální růstová teplota v (°C)	Reference
Rak říční	15-25	Cukerzis, 1973
Rak bahenní	17-27	Cukerzis, 1973
Rak červený	22-30	Huner, 1988
Rak mramorovaný	25	Hossain a kol., 2018

Při simulaci zimního období, kdy byly zkoumány čtyři teplomilné druhy raků, a to rak ničivý *Cherax destructor* (Clark, 1936), rak červenoklepetý *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) rak červený a rak mramorovaný, kdy nejtvrďší podmínky trvaly při teplotách 2-3 °C 51 dní, bylo prokázáno, že rak červený je v našich podmínkách schopen přezimovat poměrně snadno. Důkazem je, že konce pokusu se dožilo 13 z původních 15 jedinců. Druhým nejúspěšnějším byl v přežití rak ničivý, kdy se konce pokusu dožilo 7 jedinců. Rak mramorovaný byl méně úspěšný. Simulaci přežil pouze jeden rak, avšak většina uhynula až v nejchladnějším období experimentu. S klesající teplotou klesá a někdy se až zastaví příjem potravy. Při nejchladnějších podmínkách většina raků mramorovaných potravu vůbec nepřijímala, až na jednoho jedince, který nakonec přežil až do konce experimentu. Oproti tomu raci červení potravu částečně přijímali. Nejméně odolný byl rak červenoklepetý, jelikož zemřeli všichni jedinci ještě před dosažením nejnižší teploty. Tato studie je důkazem, že oba v této bakalářské práci zkoumané druhy raků jsou schopni přezimovat v chladných podmínkách. Souvislost mezi úspěšným přezimováním a velikostí raků nebyla pozorována (Veselý a kol., 2015).

Haubrock a kol., (2019) provedli pokus, jenž měl simulovat vysazení raků červených a raků mramorovaných chovateli z pokojové teploty (20 °C) do chladné vody o teplotách 6, 4 a 2 °C, kdy bylo vždy od každého druhu vysazeno dvacet jedinců do každé z teplot. U raka mramorovaného byla po vysazení do 6 °C sledována smrt jednoho jedince po 21 dnech a dalších dvou jedinců do 63 dní po vysazení. Při vysazení do teploty 4 °C zemřeli všichni jedinci do 49 dní a při vysazení do 2 °C zemřeli již do dvou týdnů. Rak červený byl o něco úspěšnější. Při vysazení do teploty 6 °C zemřel pouze jediný rak a při vysazení do 4 °C se podařilo přežít do konce pokusu 8 jedincům. V případě vysazení do 2 °C zemřeli všichni raci do 42 dní.

Byl proveden výzkum na raku červeném, který ukazuje, jak zvládají život v nižších teplotách v přírodě. Po dobu dvou let byly sledovány populace v Německu a bylo zjištěno, že tamní raci si „upravili“ životní cyklus dle nových podmínek prostředí. Oproti populacím v teplejších lokalitách, které se prakticky rozmnožují po celý rok, se populace v Německu reprodukovala převážně v pozdním létě a na podzim. Dále se zpomalil, až zastavil jejich růst v zimních měsících a prodloužila se délka jejich života (Chucholl, 2011).

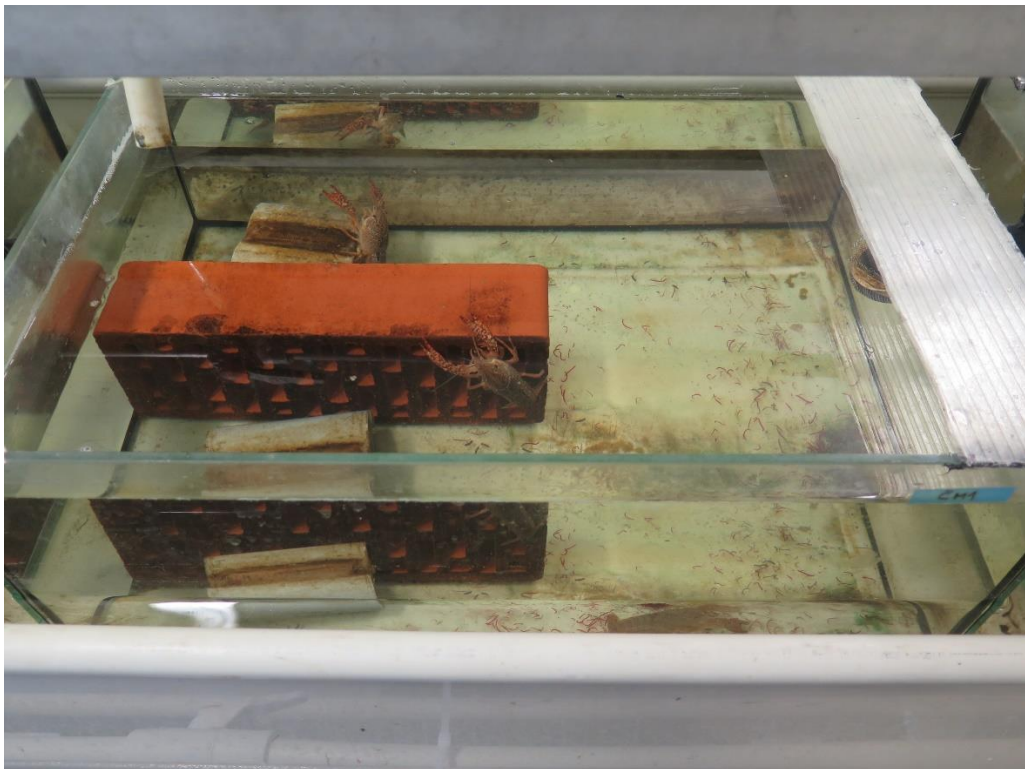
5. Metodika práce

Abychom lépe porozuměli tomu, který z dvojice druhů rak červený a rak mramorovaný, bude v suboptimálních teplotních podmínkách úspěšnější, provedli jsme laboratorní experiment porovnávající tyto druhy na základě pozorování růstu, mortality, poškození klepet a přítomnosti bílkovinných žláz u zralých samic, popř. úrovně vývoje gonopodů u samců (v případě raka červeného). Pro experiment byla užita stejně stará ráčata ve třetím vývojovém stádiu, která se osamostatňují a začínají přijímat potravu. Byly ustanoveny tři experimentální skupiny, a to monokultura raka červeného, monokultura raka mramorovaného a smíšená obsádka obou druhů v poměru jedinců 1:1, přičemž každá skupina byla držena v pěti nezávislých opakováních. V každém opakování bylo celkem přítomno vždy 16 rácat.

Ráčata byla nasazena do patnácti skleněných akvárií (37 cm šířka × 55 cm délka × 31,5 cm výška, užitný objem 55 litrů), která byla umístěna v systému žlabů, jenž byly součástí recirkulačního systému (obr. č. 10). Za účelem minimalizace agresivity a kanibalismu byl do každého akvária přidán úkryt v podobě jedné hliněné pálené cihly o rozměrech 6,5 × 28,5 × 13,5 cm. V každé cihle bylo 39 děr (26 o rozměrech 1 × 3 cm a 13 o rozměrech 1 × 1 cm). Počet dostupných úkrytů byl oproti počátečnímu počtu juvenilních rácat více než dvojnásobný. Když raci vyrostli natolik, že se poměrně malé úkryty uvnitř cihel staly nedostačujícími (6. týden), byly k cihlám přidány dva bloky z pěti spojených polypropylenových trubek o celkové délce 10 cm a vnitřním průměrem 35 mm. Tyto bloky byly tvořeny třemi podélně spojenými trubkami v základně, na nichž byly ve druhé vrstvě pyramidálně připevněny další dvě trubky. Detailní pohled na akvárium s úkryty je zobrazen na obrázku č. 11 (Veselý a kol., 2017).



Obrázek č. 10: Systém akvárií (zdroj: autor).



Obrázek č. 11: Detailní pohled na akvárium s úkryty shora (zdroj: autor).

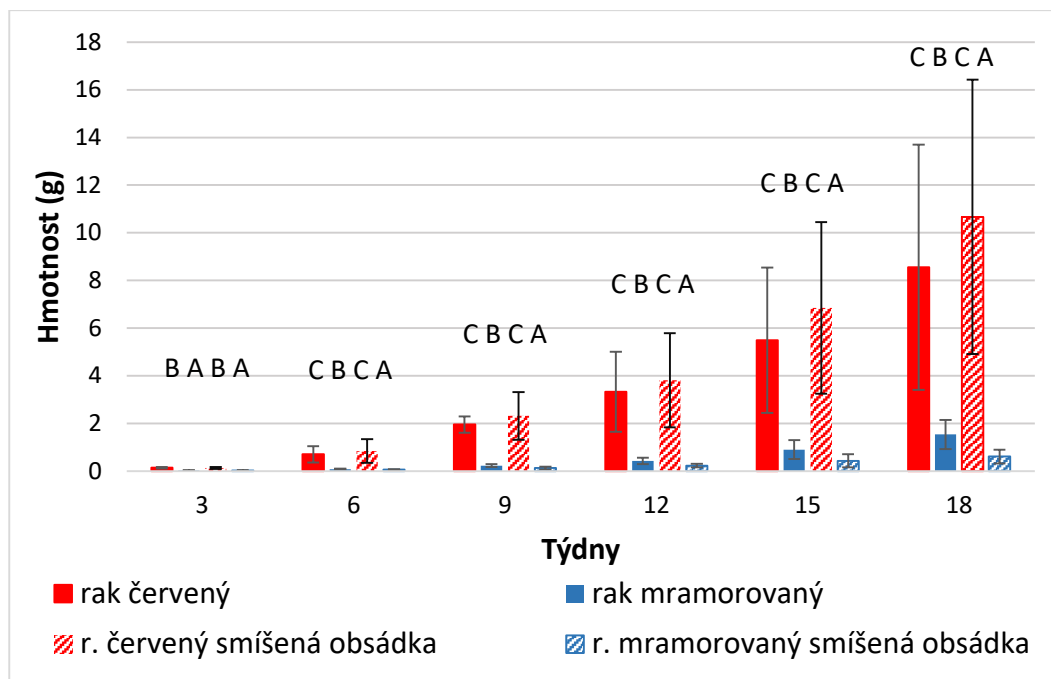
Raci byli po dobu šesti týdnů krmeni denně nadbytkem rozmrazených pakomářích larev a nauplií žábřonožky solné. Po šesti týdnech byla nauplia žábřonožky solné zaměněna za granulované krmivo Granugreen (Sera, Heinsberg, Německo), jež bylo společně s larvami pakomárů také denně podáváno v nadbytku. Vážení raků probíhalo každé 3 týdny pomocí analytických vah (Kern & Sohn GmbH, Balingen, Německo) s přesností na 0,001 g. K odstranění přebytečné vody byli raci před vážením položeni na savé papírové ubrousky. Při této příležitosti bylo sledováno poškození klepet a vývoj bílkovinných žláz u samic a formování gonopodů u samců. Průměrná teplota vody, jež byla ručně měřena každý den, byla $16,2 \pm 0,6$ °C. Koncentrace ve vodě rozpuštěného kyslíku (stejně jako teplota měřen oxymetrem Oxi 315i, WTW GmbH, Weilheim, Německo) byla $9,7 \pm 0,4$ mg.l⁻¹. Denně sledované pH (měřeno pomocí pH-metru 315i, WTW GmbH, Weilheim, Německo), bylo $7,4 \pm 0,3$.

Všechna data byla nejprve hodnocena na normalitu a homoscedasticitu pomocí Kolmogorov-Smirnovových, resp. Levenových testů. Hmotnost iniciálně nasazených ráčat obou druhů byla porovnána Mann-Whitneyovým U-testem. Vzhledem k nedostatku testovacích předpokladů pro užití návazných parametrických testů v několika skupinách byly hmotnosti v jednodruhových a smíšených obsádkách porovnány pomocí neparametrických Kruskal-Wallisových testů, následovaných vícenásobným porovnáním průměrného pořadí všech skupin (post hoc test). Rozdíly v hmotnostech u raků červených v daném čase a typu obsádky (jednodruhová vs. smíšená) v závislosti na pohlaví byly hodnoceny pomocí Studentových t-testů. Míra přežití byla vypočtena jako procento přežití z počátečního stavu po arcsin-transformaci dat a testováno obdobně. U všech statistických testů byly za statisticky významné považovány hodnoty $p < 0,05$. Analýzy byly prováděny v programu Statistica software 12.0 pro Windows (StatSoft, Praha, Česká republika).

6. Výsledky

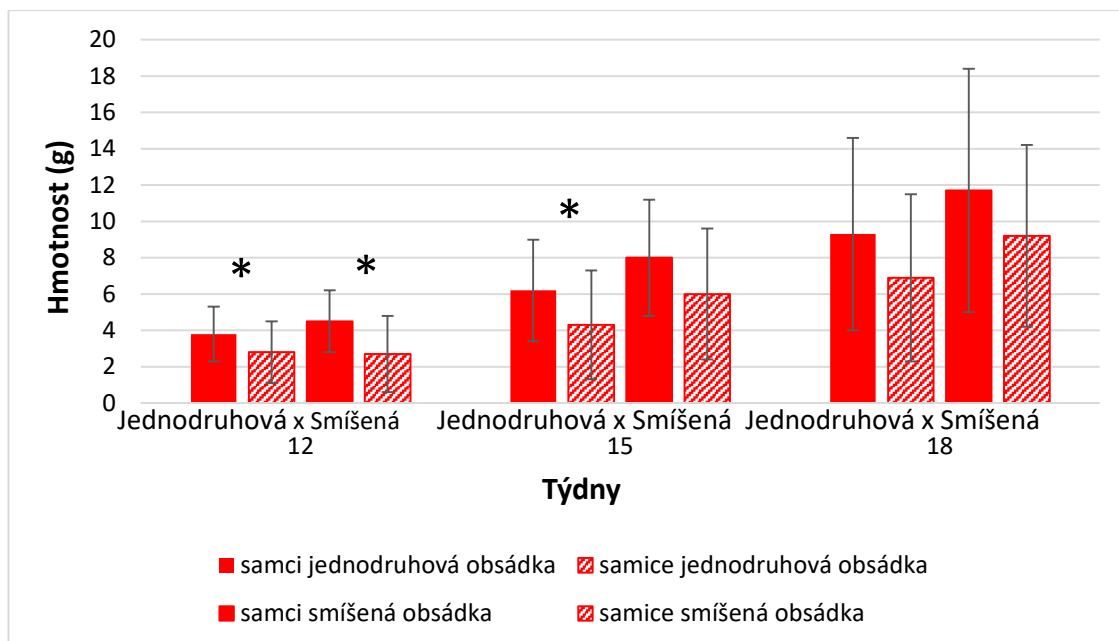
6.1. Růst

Již při nasazení ráčat ve třetím vývojovém stádiu byl zaznamenán statisticky významný rozdíl v hmotnosti obou druhů, kdy ráčata raka červeného ($11,8 \pm 1,3$ mg, zástupný vzorek 10 jedinců) byla prakticky dvakrát větší, než u raka mramorovaného ($5,1 \pm 0,3$ mg, $n=10$). Rozdíl se v průběhu pokusu postupně zvětšoval, ve smíšených obsádkách v osmnáctém týdnu (konec experimentu) dokonce až přibližně na sedmnáctinásobek. Zajímavé je porovnání průměrných hmotností v rámci jednotlivých obsádek. Na grafu č. 1 můžeme poměrně zřetelně vidět trend, kdy raci červení ze smíšených obsádek mají vyšší průměrnou hmotnost než raci z jednodruhových obsádek. Tento rozdíl však v průběhu celého experimentu nebyl statisticky významný. U raka mramorovaného byl trend již od začátku opačný. Raci ze smíšených obsádek dosahovali nižší hmotnosti než raci z obsádek jednodruhových. Při prvním vážení ve třetím týdnu tento rozdíl nebyl ještě statisticky významný, ale od šestého týdne až do konce experimentu již statisticky významný byl. Z těchto dat lze usuzovat, že ve smíšených obsádkách rak červený prosperuje na úkor raka mramorovaného, který v těchto obsádkách naopak strádá.



Graf č. 1: Hmotnost (g; průměr±směrodatná odchylka) raka červeného a raka mramorovaného v testovaných obsádkách (jednoduché obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně). Statisticky významné rozdíly v daném čase jsou indikovány lišícími se písmennými indexy. Kruskal-Wallisův test, Vícenásobné porovnáním průměrného pořadí všech skupin, $p < 0,05$.

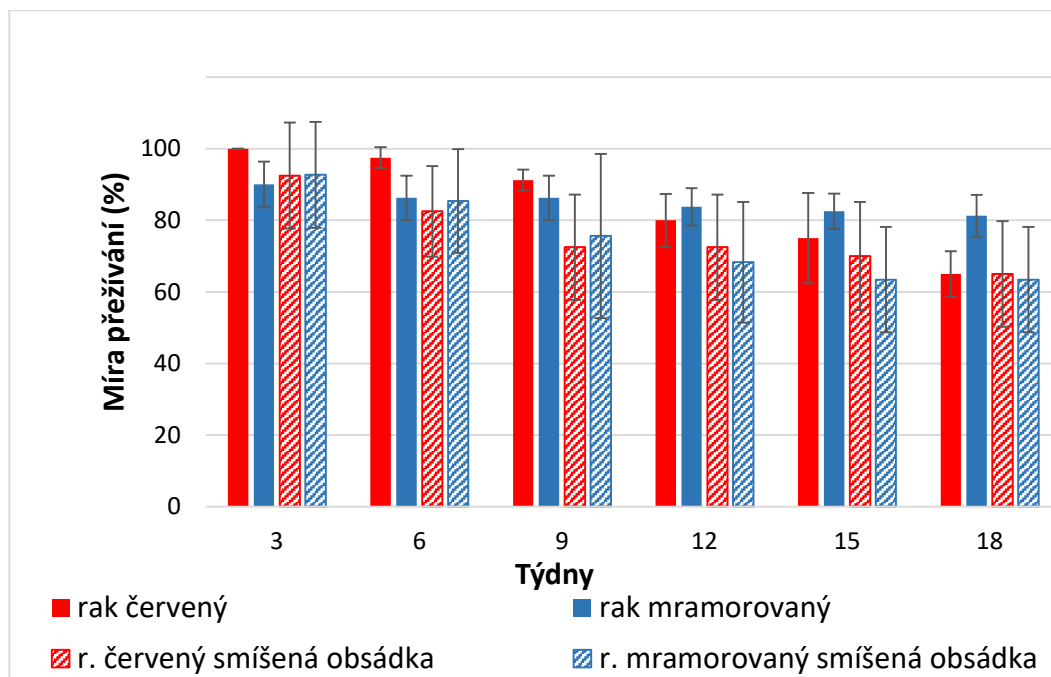
Ve vztahu k pohlaví lze obecně říci, že samci raka červeného v jednoduchých i smíšených obsádkách dosahovali větších hmotností než samice. Toto bylo statisticky významné v obou typech obsádek ve dvanáctém týdnu experimentu, kdy bylo pohlaví poprvé determinováno. I postupným růstem velikosti jedinců za daných chovných podmínek, s jejich klesající početností a rostoucí variabilitou hmotnosti byly tyto rozdíly mezi pohlavími stále patrné, statisticky významný rozdíl však byl znovu zaznamenán pouze jednou, konkrétně v patnáctém týdnu u jednoduché obsádky. Porovnání rozdílů v hmotnosti pohlaví v testovaných obsádkách je zobrazeno v grafu č. 2.



Graf č. 2: Hmotnost v závislosti na pohlaví (g; průměr±směrodatná odchylka) u samců a samic raka červeného v testovaných obsádkách (jednodruhové obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně). Statisticky významné rozdíly mezi pohlavími v daném čase a typu obsádky jsou indikovány hvězdičkou. Studentův t-test, $p < 0,05$.

6.2. Přežívání

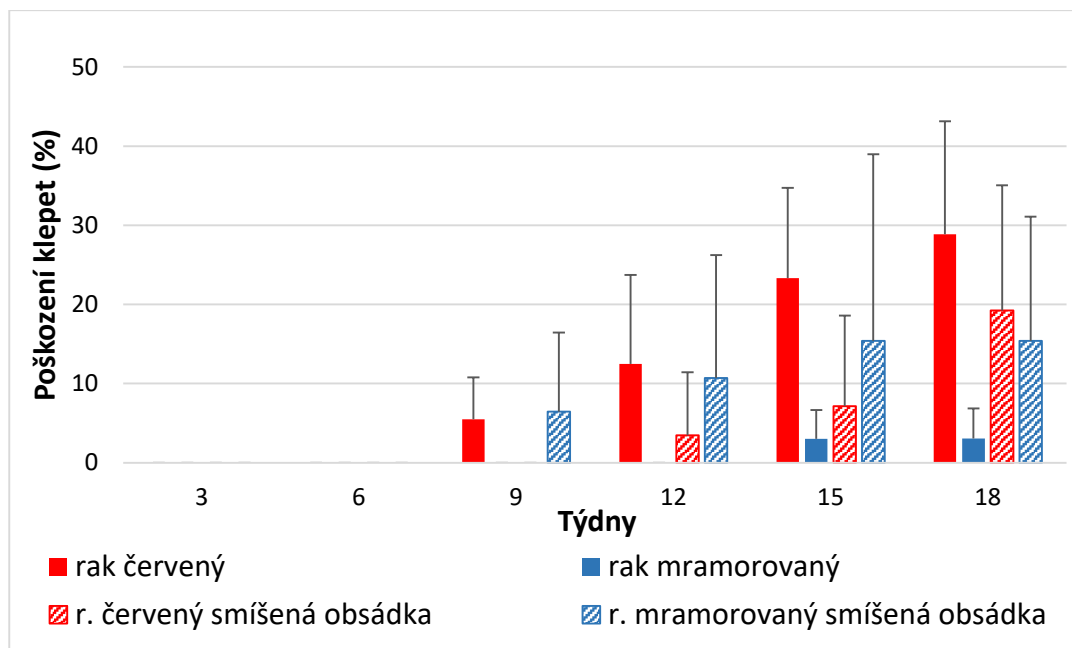
Na začátku experimentu si drželi vysokou míru přežívání raci červení z jednodruhových obsádek. V průběhu experimentu se však začali s ostatními skupinami vyrovnávat. Oproti tomu raci mramorovaní z jednodruhových obsádek zaznamenali vysokou mortalitu na začátku experimentu, ale v průběhu se stali nejlépe přežívající skupinou, kdy v osmnáctém týdnu přežívali o 18 % lépe než raci mramorovaní ze smíšených obsádek. Jak můžeme vidět na grafu č. 3, přežívání v jednotlivých skupinách se vyjma jednodruhové obsádky raka mramorovaného příliš nelišilo a rozdíly z první poloviny experimentu se v druhé polovině vyrovnaly. Z důvodu přirozené variability však nebyly tyto rozdíly i navzdory realizaci pokusu v pěti opakováních statisticky významné.



Graf č. 3: Přežívání (%; průměr±směrodatná odchylka) raka červeného a raka mramorovaného v testovaných obsádkách (jednoduché obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně). Statisticky významné rozdíly nenalezeny. Míra přežití vypočtena jako procento přežití z počátečního stavu po arcin-transformaci dat, Tukeyovi post hoc testy, $p < 0,05$.

6.3. Poškození klepet a dozrávání

Zaznamenáváno bylo také poškození klepet (absence či přítomnost regenerátů). V prvních šesti týdnech nebyl tento typ poškození zaznamenán. V devátém týdnu se poškození klepet objevilo u dvou sledovaných skupin, u raků červených v jednoduchých obsádkách (5 % z přeživších jedinců) a raků mramorovaných ve smíšených obsádkách (6 % z přeživších jedinců). V těchto skupinách byl pozorován nárůst poškození klepet i v dalším měření (dvanáctý týden), kdy bylo zaznamenáno u raka červeného ve smíšené obsádce (3 % z přeživších jedinců). Poškození klepet v těchto třech skupinách až do konce experimentu nadále narůstalo (raci červení z jednoduchých obsádek 29 % z přeživších jedinců; raci červení ze smíšených obsádek 19 % z přeživších jedinců a raci mramorovaní ze smíšených obsádek 15 % z přeživších jedinců), zatímco u raků mramorovaných z jednoduchých obsádek zůstávalo minimální (max. 3 % z přeživších jedinců).

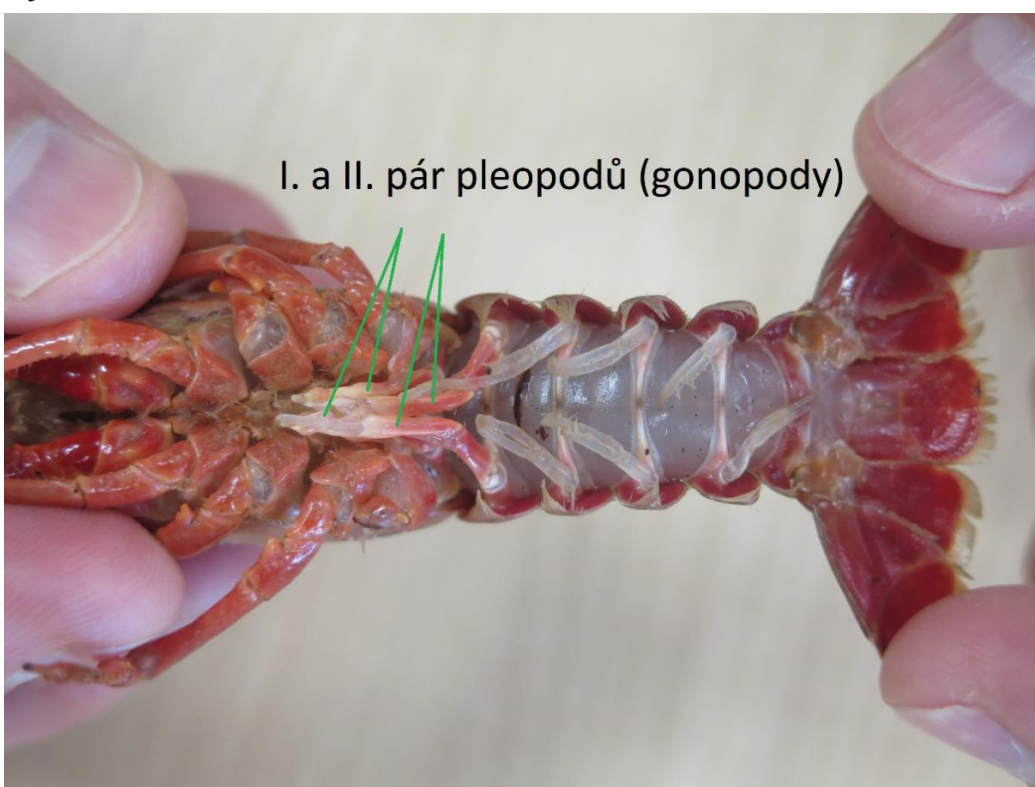


Graf č. 4: Poškození klepet (%) průměr+směrodatná odchylka) přeživších jedinců raka červeného a raka mramorovaného v testovaných obsádkách (jednodruhové obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně).

V osmnáctém týdnu byli také poprvé zaznamenáni raci červení, kteří i v testované teplotě vody úspěšně dospěli. U samic byly pozorovány bílkovinné žlázy svědčící o možnosti brzké ovulace vajíček (obr. č. 12). U samců se pak jednalo o rozvinuté gonopody umožňující úspěšné páření (sexuálně aktivní F I forma; obr. č. 13). Tito jedinci se objevili jak ve smíšených obsádkách, kde byla nalezena jedna samice a jeden samec, tak i v jednodruhových obsádkách, kde byli nalezeni dva samci.



Obrázek č. 12: Samice raka červeného s vyvinutými bílkovinnými sekrečními žlázami (zdroj:autor).



Obrázek č. 13: Samec raka červeného s plně vyvinutými gonopody (zdroj: autor).

7. Diskuze

Raci červení a raci mramorovaní byli v této studii porovnání proto, že se jedná o druhy s vysokým invazivním potenciálem, což dokazují studie, které hlásí jejich šíření po celém světě. Oba tyto zástupci jsou považováni za teplomilné druhy, ale bylo provedeno mnoho studií, které dokazují, že tolerují i nižší teploty, a to v případě raka červeného velmi dobře (Veselý a kol., 2015). S tím, jak osidlují stále nová místa, je pravděpodobné, že se budou ve volnosti častěji setkávat, a to i na chladnějších lokalitách. Již bylo provedeno několik experimentů, zabývajících se schopností adaptace těchto dvou druhů na chladné prostředí (Haubrock a kol., 2019; Hudec, 2015; Veselý a kol., 2015). Tyto experimenty potvrdily, že rak červený je vůči nízkým teplotám odolnějším druhem. Když porovnáme výsledky mé bakalářské práce s těmito studiemi, zjistíme, že jsou ve shodě, jelikož se i v našem experimentu rak červený projevoval mnohem rychlejším růstem (viz graf č. 1) a z počátku také nižší mortalitou. Na konci experimentu se však patrně z důvodu nižší agresivity a nižšího počtu svlékání stala nejlépe přežívající skupinou jednodruhová obsádka raka mramorovaného (viz graf č. 2).

Rak mramorovaný běžně dorůstá do velikosti 4-8 cm a hmotnosti 1,5-15 g. Jsou známi ale i jedinci dorůstající délky až 12 cm a hmotnosti více než 25 g (Vogt, 2011). Jedinci s vyšší hmotností jsou velmi vzácní (Vogt, 2020). Raci červení jsou o něco větším druhem, jelikož obvykle dorůstají délky okolo 10-12 cm, ale jsou známi jedinci dosahující až 20 cm (Holdich a kol., 2006). Weiperth a kol., (2020) pozorovali velikostní dominanci raka červeného vůči raku mramorovanému na lokalitě v Maďarsku. Náš experiment potvrzuje růstovou převahu raka červeného také v chladnější vodě, jelikož raci červení rostli mnohem rychleji a dosahovali větších hmotností než raci mramorovaní. Ukázalo se také, že ve smíšených obsádkách raci červení dosahovali větších rozměrů než v jednodruhových obsádkách. U raků mramorovaných byl tento jev přesně opačný (viz graf č. 1). Tuto situaci vysvětluje Holdich (2002) tím, že ve smíšených obsádkách s menším druhem je více prostoru pro rozvoj druhu rychleji rostoucího (nižší vnitrodruhová kompetice). Jejich úspěch je však na úkor menšího druhu, který trpí pomalejším růstem, nižší mírou přežívání, vyšším poškozením a pomalejším dozráváním než ve své jednodruhové obsádce.

Vogt, (2020) provedl porovnání těchto dvou druhů pro jejich vhodnost ke komerčnímu chovu v rozvojových zemích a zhodnotil, že vhodnějším rakem je díky lepším růstovým vlastnostem rak červený. Chov raka mramorovaného by byl rentabilní pouze v chovu v přírodních nádržích s velkým podílem přirozené potravy, avšak zde hrozí enormní riziko úniku do volných vod.

Ve vztahu k pohlaví lze obecně říci, že samci raka červeného v jednodruhových i smíšených obsádkách dosahovali větších hmotností než samice. Toto bylo statisticky významné v obou typech obsádek ve dvanáctém týdnu experimentu, kdy bylo pohlaví poprvé determinováno. I postupným růstem velikosti jedinců za daných chovných podmínek, s jejich klesající početností a rostoucí variabilitou hmotnosti byly tyto rozdíly mezi pohlavími stále patrné, statisticky významný rozdíl však byl znovu zaznamenán pouze jednou, konkrétně v patnáctém týdnu u jednodruhové obsádky.

Pro parametry přežívání a poškození klepet je důležité si představit, co nám vlastně říkají a čím vším jsou ovlivněny. Nejde totiž pouze o to, že rak, který je odolnější vůči danému prostředí, bude mít vyšší úroveň přežívání a nižší poškození klepet. V těchto parametrech hraje velkou roli proces svlékání, které s sebou vždy nese riziko poškození či dokonce úmrtí. Raci jsou totiž v období těsně před a po svlékání měkčí a zranitelní, a tak jim hrozí napadení jiným rakem, které často končí zraněním a někdy dokonce i smrtí. K poškození klepet dochází často tak, že čerstvě svlečený rak je přidržen za klepeto jiným rakem. Než aby riskoval vážnější poranění, utrhne si klepeto a pokusí se o útěk. Proto může paradoxně nižšího přežívání a většího poškození klepet dosahovat rychleji rostoucí skupina, jelikož se svléká častěji. Na druhou stranu raci mohou svá dřívější poškození především díky svlékání částečně kompenzovat regenerací. Důvodem, proč raci mramorovaní ve smíšených obsádkách nedosahují tak vysokého přežívání jako raci v jednodruhových obsádkách, může být to, že jsou menším druhem a v soubojích s většími raky červenými prohrávají.

Díky parametru poškození klepet lze do jisté míry odhadnout agresivitu, která je také jedním z důležitých faktorů rozhodující na ne/úspěchu jednotlivých druhů ve vzájemných interakcích (Hale a kol., 2016). V této studii se jasně projevila vysoká agresivita raka červeného, jelikož v jednodruhových obsádkách bylo poškození klepet nejvyšší. Svou agresivitu směřovali i na menší raky mramorované, kteří ve smíšených

obsádkách měli po většinu experimentu druhé nejvyšší poškození. Až v osmnáctém týdnu projeví vyšší poškození (více než 10 % přežívajících jedinců) i raci červení ze smíšených obsádek. Oproti tomu raci mramorovaní se projevovali nízkou agresivitou, což dokazuje přibližně pětkrát nižší úroveň poškození klepet v jednodruhových obsádkách (viz graf č. 3). Tento výsledek je podpořen studií, která také poukazuje na nižší agresivitu raka mramorovaného jak ve vnitrodruhových interakcích, tak v porovnání s dalšími invazivními druhy, v tomto případě s rakem signálním a rakem ničivým (Fořt a kol., 2019).

Huner a Barr, (1991) uvádějí, že rak červený běžně pohlavně dospívá ve věku 5 měsíců, což je přibližně 21 týdnů. V našem experimentu jsme první pohlavně dospělé jedince pozorovali v osmnáctém týdnu, ale jednalo se zatím pouze o čtyři jedince (tři samci a jedna samice). V rámci trvání experimentu jsme však nepozorovali kladení vajíček a jejich úspěšný vývoj ukončený líhnutím. Přesto lze tvrdit, že pozorovaný progres indikuje vysokou pravděpodobnost rychlého dospívání (a možná i reprodukce) i v nízkých teplotách vody. Raci mramorovaní jsou také poměrně rychle dospívajícím druhem, při teplotě 20-25 °C dospívají ve věku 25-35 týdnů (Holdich a kol., 2006). V našem experimentu jsme v osmnáctém týdnu žádné pohlavně dospělé jedince zatím nepozorovali, což není v kontextu výše uvedených informací překvapivé. V obdobném pokusu při pokojové teplotě však byla první ovulující samice raka mramorovaného zaznamenána již ve věku patnácti týdnů (A. Kouba, nepublikováno).

Rak červený se tedy projevuje rychlejším růstem a dosahuje větších rozměrů. Rovněž dospívá velmi záhy a je značně plodný. Využívá svého vzrůstu a pomocí agresivity prosperuje na úkor raka mramorovaného, který se ve smíšených obsádkách projevuje pomalejším růstem, vyšším poškozením klepet a také vyšší mortalitou. Veselý a kol., (2021) uvádějí, že rak červený na raku mramorovaném dokonce úspěšně preduje. Na případných sdílených lokalitách se tedy dá pravděpodobně očekávat dominance raka červeného, jak nastiňuje Weiperth a kol., (2020).

8. Závěr

V této bakalářské práci bylo vedle vypracování literárního přehledu cílem provést experiment v suboptimální teplotě (16 °C) zaměřený na porovnání růstu, přežívání, poškození klepet a dozrávání raka červeného a raka mramorovaného v jednodruhových, popř. smíšených obsádkách. Oba druhy jsou poměrně rozšířeny mezi chovateli a šíří se i ve volných vodách nejen v Evropě, kde jsou považováni za invazivní. Vzhledem k jejich šíření lze očekávat, že se budou častěji setkávat i v chladnějších lokalitách, než jsme byli dosud zvyklí. Ve své bakalářské práci jsem se snažil zjistit, kdo v takovémto případě bude pravděpodobně dominantním druhem.

Tento experiment přinesl výsledky, které prokázaly, že rak červený se vyznačuje oproti raku mramorovanému mnohonásobně rychlejším růstem. Ukázalo se také, že ve smíšených obsádkách je tento rozdíl ještě více zřetelný, jelikož byly zaznamenány vyšší průměrné hmotnosti u raka červeného, než v jeho jednodruhových obsádkách. Oproti tomu raci mramorovaní ze smíšených obsádek byli menší než raci z jednodruhových obsádek. Byl také zaznamenán rozdíl v hmotnostech v závislosti na pohlaví, kdy samci raka červeného byli obecně větší než samice.

Raci mramorovaní z jednodruhových obsádek se vyznačovali nejnižší mortalitou ze všech skupin, oproti tomu ve smíšených obsádkách byla mortalita raků mramorovaných naopak nejvyšší. Pozorování poškození klepet potvrdilo, že se raci červení vyznačovali agresivnějším chováním než mramorovaní. Nejvyšší počet poškozených klepet byl zaznamenán v jednodruhových obsádkách raka červeného. Za povšimnutí ale stojí velký rozdíl mezi jednodruhovou obsádkou a smíšenou obsádkou raků mramorovaných, kdy poškození klepet ve smíšených obsádkách bylo několikanásobně vyšší.

Na konci experimentu (týden 18) byla objevena jedna samice raka červeného s vyvinutými bílkovinnými žlázami a tři samci s vyvinutými gonopody. Tato skutečnost naznačuje, že v daných teplotních podmínkách mohou být raci červení schopni reprodukce.

Tyto výsledky nás vedou k tomu, že by na případných sdílených lokalitách měl být dominantním druhem rak červený, protože se projevuje rychlejším růstem, vyšší agresivitou a také dřívějším dozráváním. Navíc ve smíšených obsádkách prosperuje na úkor menšího raka mramorovaného, který v těchto obsádkách strádá.

Zkoumat schopnosti a potenciál invazivních druhů je jistě důležité pro odhadnutí jejich budoucího rozšíření a možného vlivu na ekosystém. Avšak tyto studie jsou většinou přístupné pouze vědecké komunitě a široká veřejnost se bez vlastní snahy nemá o problémech jak dozvědět. Osobně si myslím, že je to velká škoda, protože osvěta v této problematice by mohla posloužit jako prevence před jejich vniknutím na nové lokality, jelikož právě chovatelé z řad široké veřejnosti jsou nezdědka zodpovědní za vysazení velkého množství invazivních živočichů, kdy si často ani neuvědomují problémy s tím spojené. V dnešní době, kdy si společnost začíná uvědomovat, že lidská činnost má značné a obvykle nevratné dopady na životní prostředí, je k takovéto osvětě konečně prostor. Vždyť zdravý a prosperující ekosystém je v zájmu každého z nás.

9. Přehled použité literatury

9.1. Internetové zdroje:

Home.czu.cz, 2021. Dostupné na: <https://home.czu.cz/patoka/rak-cerveny-procambarus-clarkii?editmode=0#gallery-1>

Irozhlas.cz, 2021. Rak mramorovaný dokáže extrémní sucho nejen přežít, ale i se při něm rozmnožovat, zjistili vědci. Dostupné na: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/priroda/rak-mramorovany-jihoceska-univerzita-sucho_1911031002_pj

Marmokrebs.org, 2020. Advancing marbled crayfish research, Dostupné na: Marmokrebs.org and MarbledCrayfish.org – Advancing marbled crayfish research (utrgv.edu)

9.2. Odborné publikace:

Anastácio, P.M., Marques, J.C., 1997. Crayfish, *Procambarus clarkii*, effects on initial stages of rice growth in the lower Mondego River valley (Portugal). *Freshw. Crayfish* 11, 608–617.

Andriantsoa, R., Jones, J. P., Achimescu, V., Randrianarison, H., Raselimanana, M., Andriatsitohaina, M., Rasamy, J., Lyko, F., 2020. Perceived socio-economic impacts of the marbled crayfish invasion in Madagascar. *PloS one*, 15(4), e0231773.

Andriantsoa, R., Tönges, S., Panteleit, J., Theissinger, K., Carneiro, V. C., Rasamy, J., Lyko, F., 2019. Ecological plasticity and commercial impact of invasive marbled crayfish populations in Madagascar. *BMC ecology*, 19(1), 1-10.

Baker, S. E., Cain, R., van Kesteren, F., Zommers, Z., d’Cruze, N., MacDonald, D.W., 2013. Rough trade: animal welfare in the global wildlife trade. *BioScience* 63:928–938.

Bohman, P., Edsman, L., Martin, P., Scholtz, G., 2013. The first Marmorkrebs (Decapoda: Astacida: Cambaridae) in Scandinavia.

Cerenius, L., Bangyeekhun, E., Keyser, P., Söderhäll, I., Söderhäll, K., 2003. Host phenoloxidase expression in freshwater crayfish is linked to increased resistance to the crayfish plague fungus, *Aphanomyces astaci*. *Cellular Microbiology* 5:353-357

Cerenius, L., Söderhäll, K., 1984. Chemotaxis in *Aphanomyces astaci*, an arthropod parasitic fungus. *Journal of Invertebrate Pathology* 43: 278- 281.

Cerenius, L., Söderhäll, K., Persson, M., Axojon, R., 1988. The crayfish plague fungus *Aphanomyces astaci* diagnosis, isolation and pathobiology. *Freshwater Crayfish* 7: 131-144.

Cukerzis, J., 1973. Biologische grundlagen der method der kunstlichen aufzucht der brut *Astacus astacus* L. *Freshw Crayfish* 1:187–202

Deidun, A., Sciberras, A., Formosa, J., Zava, B., Insacco, G., Corsini-Foka, M., Crandall, K. A., 2018. Invasion by non-indigenous freshwater decapods of Malta and Sicily, central Mediterranean Sea. *Journal of Crustacean Biology*, 38, 748-753.

Duggan, I.C., 2010. The freshwater aquarium trade as a vector for incidental invertebrate fauna. DOI 10.1007/s10530-010-9768-x

Estonian Research Council. 2018. Invasive marbled crayfish found in Narva power plant cooling canal. Posted at June 8, 2018 at <https://phys.org/news/2018-06-invasive-marbledcrayfish-narva-power.html>

EU. 2014. Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. *Official Journal of the European Union*, 57(317), 35.

EU. 2016. Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1141 of 13 July 2016 adopting a list of invasive alien species of Union concern pursuant to Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, 189(4), 4-8.

Fořt, M., Hossain, S., Kouba, A., Buřič, M., Kozák, P., 2019. Agonistic interactions and dominance establishment in three crayfish species non-native to Europe. *Limnologia*, 74, 73-79.

Gál, B., Kuřiková, P., Bláha, M., Kouba, A., Patoka, J., Danyik, T., Farkas, A., Farkas, J., Weiperth, A., 2018. Distribution of Decapoda in Hungary and the impacts of the invasive red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard 1852) to the native ecosystem. 5th European Congress of Conservation Biology. doi: 10.17011/conference/eccb2018/107373

Gherardi, F., 2006. Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 39(3), 175–191. doi:10.1080/10236240600869702

Gherardi, F., Acquistapace, P., 2007. Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake. *Freshwater Biology*, 52(7), 1249–1259. doi:10.1111/j.1365-2427.2007.01760.x

Grandjean, F., Collas, M., Uriarte, M., Rousset, M., 2021. First record of a marbled crayfish *Procambarus virginalis* (Lyko, 2017) population in France. *BioInvasions Records*, 10.

Guan, R. Z., Wiles, P. R., 1997. Ecological Impact of Introduced Crayfish on Benthic Fishes in a British Lowland River: Impacto Ecológico de un Langostino de Río Introducido en Poblaciones de Peces Bentónicos de un Río de las Tierras Bajas Británicas. *Conservation Biology*, 11, 641-647.

Habsburgo-Lorena A. S., 1986. The status of the *Procambarus clarkii* population in Spain. *Freshw. Crayfish* 6:131–136

Hale, P., Wilson, J., Loughman, Z., Henkanaththegedara, S., 2016. Potential impacts of invasive crayfish on native crayfish: insights from laboratory experiments. *Aquatic Invasions*, 11.

Hanshew, B.A., Garcia, T.S., 2012. Fresh water biology. Invasion of the shelter snatchers: behavioural plasticity in invasive red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*.

Haubrock, P. J., Inghilesi, A. F., Mazza, G., Bondoni, M., Solari, L., Tricarico, E., 2019. Burrowing activity of *Procambarus clarkii* on levees: analysing behaviour and burrow structure. *Wetlands Ecology and Management*, 27(4), 497-511.

Haubrock, P. J., Kubec, J., Veselý, L., Buřič, M., Tricarico, E., Kouba, A., 2019. Water temperature as a hindrance, but not limiting factor for the survival of warm water invasive crayfish introduced in cold periods. *Journal of Great Lakes Research*. doi:10.1016/j.jglr.2019.05.006

Holdich, D. M., Reynolds, J. D., Souty-Grosset, C., Sibley, P. J., 2009. A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (394-395), 11. doi:10.1051/kmae/2009025

Holdich, D., Haffner, P., Noël, P., Carral, J., Füreder, L., Gherardi, F., Machino, Y., Madec, J., Pöckl, M., Šmíetana, P., Taugbøl, T., Vigneux, E., 2006. Species files. In: SoutyGrosset, C.,

Holdich, D., Noël, P., Reynolds, J. D., Haffner, P. Atlas of Crayfish in Europe. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 49-130.

Holdich, D.M., Sibley, P.J., 2003. Management & Conservation of Crayfish Proceedings of a conference held on 7th November 2002 at the Nottingham Forest Football Club, Nottingham, UK

Hossain, M. S., Kubec, J., Kouba, A., Kozák, P., Buřič, M., 2019. Still waters run deep: marbled crayfish dominates over red swamp crayfish in agonistic interactions. *Aquatic Ecology*, 53, 97-107.

Hossain, M. S., Patoka, J., Kouba, A., Buřič, M., 2018. Clonal crayfish as biological model: a review on marbled crayfish. *Biologia*. doi:10.2478/s11756-018-0098-2

Hudec, O., 2015. Tolerance exotických druhů raků vůči nízkým teplotám. Diplomová práce, Jihočeská univerzita, Fakulta rybářství a ochrany vod.

Hulme, P. E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., Pyšek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W., Vilà, M., 2008. Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology* 45, 403–414.

Hulme, P.E., 2009. *Journal of applied ecology*. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization.

Huner, J. V., 1988. *Procambarus* in North America and elsewhere. In: Holdich DM, Lowery RS (eds) *Freshwater crayfish: biology, management and exploitation*. Croom Helm, London

Huner, J. V., Barr, J. E., 1991. *Red Swamp Crawfish: Biology and Exploitation*; Louisiana Sea Grant College Program. Center for Wetland Resources, Louisiana State University, Louisiana, 128 pp.

Huner, J.V., 2002. *Procambarus*. In: Holdich, D.M. (Ed.), *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science Ltd., Oxford, pp. 541-584.

Chucholl, C., 2011. Population ecology of an alien “warm water” crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat

Chucholl, Ch., 2012. New alien crayfish species in central Europe. Introduction pathways, life histories, and ecological impacts. Ulm. Dissertation. Universität Ulm. Fakultät für Naturwissenschaften.

Janský, V., Mutkovic, A., 2010. Rak *Procambarus* sp.(Crustacea: Decapoda: Cambaridae) – Prvý Nález na Slovensku. Zborník Slovenského Národného Múzea (Acta rerum naturalium Musei Nationalis Slovaci Bratislava), 56, 64–67.

Jimenez, S. A., Faulkes, Z., 2010. Can the parthenogenetic marbled crayfish Marmorkrebs compete with other crayfish species in fights? *Journal of Ethology*, 29(1), 115–120. doi:10.1007/s10164-010-0232-2

Jimenez, S.A., Faulkes, Z., 2010. Establishment and care of a laboratory colony of parthenogenetic marbled crayfish, Marmokrebs. *Invertebrate Rearing* 1: 10-18.

Jones, J. P. G., Rasamy, J. R., Harvey, A., Toon, A., Oidtmann, B., Randrianarison, M. H., Raminosoa N. & Ravoahangimalala, O. R., 2009. The perfect invader: a parthenogenic crayfish poses a new threat to Madagascar's freshwater biodiversity. *Biological Invasions*, 1-8.

Jurmaliētis, R., Grickus, A., Elstina, A., 2019. Marbled Crayfish (*Procambarus Virginalis*) as a Promising Object for Aquaculture Industry. *Environment. Technology. Resources*. Rezekne, Latvia Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference. Volume I, 92-95.

Kaldre, K., Meženin, A., Paaver, T., Kawai, T., 2016. A Preliminary Study on the Tolerance of Marble Crayfish *Procambarus fallax f. virginalis* to low Temperature in Nordic Climate in: *Freshwater Crayfish: A Global Overview* 54-62.

Kalous, L., Patoka, J., Kopecký, O., 2015. European hub for invaders: risk assessment of freshwater aquarium fishes exported from the Czech Republic. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 15.

Karesh, W.B., Cook, R.A., Bennett, E.L., Newcomb, J., 2005. *Wildlife Trade and Global Disease Emergence*, doi: 10.3201/eid1107.050194

Kato, M., Hiruta, Ch., Tochinai, S., 2015. Androgenic Gland Implantation Induces Partial Masculinization in Marmorkrebs *Procambarus fallax f. virginalis*. *Zoological Science*, 32(5):459-464 (2015). <https://doi.org/10.2108/zs150028>

Kawai, T., Takahata, M., 2010. Biology of crayfish. Sapporo, Japan: Hokkaido University Press, Japan.

Kouba, A., Buřič, M., Petrusek, A., 2013. Druhy raků v Evropě. In: Kozák, P., Ďuriš, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková, E., Policar, T. (2013): Biologie a chov raků. JČU v ČB, FROV, 418 s.

Kouba, A., Lipták, B., Kubec, J., Bláha, M., Veselý, L., Niksirat, H., Patoka, J., Buřič, M., 2018. Survival, growth and speed of maturation: Comparison of marbled crayfish with four prominent crayfish invaders. NEOBIOOTA 2018, 10th International Conference on Biological Invasions: New Directions in Invasion Biology, Dún Laoghaire, Dublin, Ireland, 3–7 September 2018, p. 68.

Kouba, A., Petrusek, A., Kozák P., 2014. Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 413 (05): 1-31.

Kozák, P., Ďuriš, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková, E., Policar, T., 2013. Biologie a chov raků. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod. ISBN isbn978-80-7514-001-2.

Kozák, P., Ďuriš, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková-Balcarová, E., Policar, T., 2015. Biologie a chov raků. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod.

Kozák, P., Ďuriš, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková-Balcarová, E., Policar, T., 2015. Biologie a chov raků. 2., aktualizované vydání. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, . ISBN 978-80-7514-032-6.

Latzer, D., Pekny, R., 2018. Erstnachweis des Marmorkrebses für Österreich in Salzburg. Salzburgs Fischerei, 24-31

Lindqvist, O.V., Huner, J.V., 1999. Life history characteristics of crayfish: What makes some of them good colonizers? p. 23-30. In: F. Gherardi and D.M. Holdich (eds), Crayfish in Europe as alien species: How to make the best of a bad situation? Rotterdam, A.A. Balkema.

Lipták, B., Mojžišová, M., Gruľa, D., Christophoryová, J., Jablonski, D., Bláha, M., Petrusek, A., Kouba, A., 2017. Slovak section of the Danube has its well-established breeding

ground of marbled crayfish *Procambarus fallax f. virginalis*. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 418, 40.

Lipták, B., Mrugała, A., Pekárik, L., Mutkovič, A., Gruľa, D., Petrussek, A., Kouba, A., 2016. Expansion of the marbled crayfish in Slovakia: beginning of an invasion in the Danube catchment? *J Limnol* 75: 305–312. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1313>

Lókkös, A., Müller, T., Kovács, K., Várkonyi, L., Specziár, A., Martin, P., 2016. The alien, parthenogenetic marbled crayfish (Decapoda: Cambaridae) is entering Kis-Balaton (Hungary), one of Europe's most important wetland biotopes. <https://doi.org/10.1051/kmae/2016003>

Lukhaup, C., 2001. *Procambarus* sp. - Der Marmorkrebs. *Aquaristik Aktuell* 7-8: 48–51

Lyko, F., 2017. The marbled crayfish (Decapoda: Cambaridae) represents an independent new species

Maciaszek, R., Bonk, M., Strużyński, W., 2019. New records of the invasive red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) from Poland. [doi:10.1051/kmae/2019033](https://doi.org/10.1051/kmae/2019033)

Marten, M., Werth, C., Marten, D., 2004. Der Marmorkrebs (Cambaridae, Decapoda) in Deutschland – ein weiteres Neozoon im Einzugsgebiet des Rheins. *Lauterbornia* 50: 17-23.

Martin, P., Dorn, N.J., Kawai, T., van der Heiden, C., Scholtz, G., 2010. The enigmatic Marmorkrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870).

Martin, P., Shen, H., Füllner, G., Scholtz, G., 2010. The first record of the parthenogenetic Marmorkrebs (Decapoda, Astacida, Cambaridae) in the wild in Saxony (Germany) raises the question of its actual threat to European freshwater ecosystems. *Aquatic Invasions*, 5, 397-403.

Marzano, F.N., Scalici, M., Chiesa, S., Gherardi, F., Piccinini, A., Gibertiny, G., 2009. The first record of the marbled crayfish adds further threats to fresh waters in Italy. *Aquatic Invasion* 4: 401-404.

Mazza, G., Reboleira, A. S. P. S., Goncalves, F., Aquiloni, L., Inghilesi, A. F., Spigoli, D., Tricarico, E., 2014. A new threat to groundwater ecosystems: first occurrences of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in European caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76(1), 62-65.

McClain, W. R., Romaine, R. P., 2007. Procambarid crawfish: life history and biology. Southern Regional Aquaculture Center, 2403.

McClain, W. R., Romaine, R.P., 2004. Crawfish culture: a Louisiana aquaculture success story. *World Aquaculture* 35: 31–34 and 60–61.

McMahon B.R., 2002. Physiological adaptation to environment. In: Holdich, D.M. (Ed.), *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science Ltd., Oxford, pp. 327-376

McMahon, B.R., Stuart, S.A., 1999. Haemolymph gas exchange and ionic and acid-based regulation during long-term air exposure and aquatic recovery in *Procambarus clarkii*, *Freshwater Crayfish* 12: 134-153

Meyerson, L.A., Mooney, H.A., 2007. *Frontiers in ecology and the environment.*, Invasive alien species in an era of globalization.

Mohanty, N.P., Measey, J., 2019. The global pet trade in amphibians: species traits, taxonomic bias, and future directions.

Novitsky, R. A., Son, M. O., 2016. The first records of Marmorkrebs [*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*](Crustacea, Decapoda, Cambaridae) in Ukraine. *Ecologica Montenegrina*, 5, 44-46.

Oficialdegui, F. J., 2019. The invasion of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*): introductions, impacts and management. PhD Thesis. Universidad de Sevilla, Seville, Spain

Oficialdegui, F. J., Clavero, M., Sánchez, M. I., Green, A. J., Boyero, L., Michot, T. C., Lejeune, C., 2019. Unravelling the global invasion routes of a worldwide invader, the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Freshwater Biology*. doi:10.1111/fwb.13312

Olouch, A. O., 1990. Breeding biology of the Louisiana red swamp crayfish *Procambarus clarkii* Girard in Lake Naivasha, Kenya. *Hydrobiologia*, 208, 85-92.

Pârvulescu, L., Togor, A., Lele, S. F., Scheu, S., Șinca, D., Panteleit, J., 2017. First established population of marbled crayfish *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* (Decapoda, Cambaridae) in Romania. *BioInvasions Record*, 6.

Patoka, J., Buřič, M., Kolář, V., Bláha, M., Petrůl, M., Franta, P., Tropek, R., Kalous, L., Petrusek, A., Kouba, A., 2016. Predictions of marbled crayfish establishment in conurbations fulfilled: evidences from the Czech Republic. *Biologia*, 71, 1380-1385.

Patoka, J., Kalous, L. Kopecký, O., 2014. Risk assessment of the crayfish pet trade based on data from the Czech Republic. *Biol Invasions* 16, 2489–2494. <https://doi.org/10.1007/s10530-014-0682-5>

Penn, G.H., 1954. Introductions of American crawfishes into foreign lands. *Ecology* 35:296.

Piscia, R., Volta, P., Boggero, A., Manca, M., 2011. The invasion of lake Orta (Italy) by the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852): a new threat to an unstable environment. *Aquatic Invasions* 6: S45-S48.

Ploeg, A., 2013. Trade – the status of the ornamental aquatic industry. *Ornamental Fish Int. J.*, 72, 11–13..

Pöckl, M., Holdich, D.M., Pennerstorfer, J., 2006. Identifying native and alien crayfish species in Europe. European Project CRAYNET, 47pp.

Preston, C.D., Pearman, D.A., Hall, A.R., 2004. Archaeophytes in Britain. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 145, 257–294.

Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H.E., Seebens, H., van Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M.J., Richardson, D.M., 2020. Biological reviews: Scientists' warning on invasive alien species, <https://doi.org/10.1111/brv.12627>

Reynolds, J., Souty-Grosset, C., Richardson, A., 2013. Ecological roles of crayfish in freshwater and terrestrial habitats. *Freshwater Crayfish*, 19, 197-218.

Samardžić, M., Lucić, A., Maguire, I., Hudina, S., 2014. The first record of the marbled crayfish (*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginialis*) in Croatia. *Crayfish News*, 36, 4- 4.

Seitz, R., Vilpoux, K., Hopp, U., Harzsch, S., Maier, G., 2005. Ontogeny of the Marmorkrebs (marbled crayfish): a parthenogenetic crayfish with unknown origin and phylogenetic position. *Journal of Experimental Zoology A*, 303(5):393-405.

Skurdal, J., Taugbøl, T., 2002. *Astacus*. *Biology of Freshwater Crayfish*, 467-510.

Söderhäll, K., Cerenius, L., 1999. The crayfish plague fungus: History and recent advances. *Freshwater Crayfish* 12: 11-35.

Soes, D. M., van Eekelen, R., 2006. Rivierkreeften, een oprukkend probleem?. De Levende Natuur, 107, 56-59.

Souty-Grosset, C., Anastácio, P. M., Aquiloni, L., Banha, F., Choquer, J., Chucholl, C., Tricarico, E., 2016. The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: Impacts on aquatic ecosystems and human well-being. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 58, 78–93. doi:10.1016/j.limno.2016.03.003

Stucki, T. P., 2002. Differences in live history of native and introduced crayfish species in Switzerland. *Freshwater Crayfish*, 13, 463-476.

Su, S., Cassey, P., Blackburn, T.M., 2016. The wildlife pet trade as a driver of introduction and establishment in alien birds in Taiwan. *Biol Invasions* (2016) 18:215–229, DOI 10.1007/s10530-015-1003-3

Svoboda, J., 2011. Přenos a detekce račího moru v experimentálních podmínkách. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, 78s.

Taylor, C. A., Schuster, G. A., Cooper, J.E., DiStefano, R.J., Eversole, A. G., Hamr, P., Hobbs, H.H., Robinson, H. W., Skelto, C. E., Thoma, R. F., 2007. A reassessment of the conservation status of crayfishes of the United States and Canada after 10+ years of increased awareness. *Fisheries* 32: 372-389.

Unestam, T., 1969. Resistance to the crayfish plague in some American, Japanese and European crayfishes. *Report of the Institute of the Freshwater Research Drottningholm* 49: 202-209.

van Kuijk, T., Biesmeijer, J.C., van der Hoorn, B.B., 2021. Functional traits explain crayfish invasive success in the Netherlands. *Sci Rep* 11, 2772. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82302-4>

Vella, N., Vella, A., Marie Mifsud, C.M., 2017. First Scientific Records of the Invasive Red Swamp Crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Crustacea: Cambaridae) in Malta, a Threat to Fragile Freshwater Habitats. *NEsciences*, 2017, 2(2): 58-66

Veselý, L., Buřič, M., Kouba, A., 2015. Hardy exotics species in temperate zone: can “warm water” crayfish invaders establish regardless of low temperatures? *Scientific Reports*, 5(1). doi:10.1038/srep16340

Veselý, L., Hrbek, V., Kozák, P., Buřič, M., Sousa, R., & Kouba, A. (2017). Salinity tolerance of marbled crayfish *Procambarus fallax f. virginalis*. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, (418), 21.

Veselý, L., Ruokonen, T. J., Weiperth, A., Kubec, J., Szajbert, B., Guo, W., Ercoli, F., Bláha, M., Buřič, M., Hämäläinen, H., Kouba, A., 2021. Trophic niches of three sympatric invasive crayfish of EU concern. *Hydrobiologia*, 848(3), 727-737.

Vogt, G., 2007. Exposure of the eggs to 17 α -methyl testosterone reduced hatching success and growth and elicited teratogenic effects in postembryonic life stages of crayfish. *Aquatic Toxicology* 85: 291-296

Vogt, G., 2011. Marmorkrebs: Natural crayfish clone as emerging model for various biological disciplines. *Academy of science*, 36 (2): 377-382.

Vogt, G., 2019. Estimating the young evolutionary age of marbled crayfish from museum samples. *Journal of Natural History*, 53(39-40), 2353-2363.

Vogt, G., 2020. Evaluation of the suitability of the parthenogenetic marbled crayfish for aquaculture: potential benefits versus conservation concerns. *Hydrobiologia* 848, 285–298. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04395-8>

Vorbürger, C., Ribí, G., 1999. Aggression and competition for shelter between a native and an introduced crayfish in Europe. *Freshwater biology*, 42(1), 111-119.

Weiperth, A., Bláha, M., Szajbert, B., Seprős, R., Bányai, Z., Patoka, J., Kouba, A., 2020. Hungary: a European hotspot of non-native crayfish biodiversity. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, (421), 43.

Xingyong, W., 1995. Report on red crayfish (*Procambarus clarkii*) from Nanjing, Jiangsu Province People's Republic of China. *Freshwater Crayfish* 8: 145-147.

Yamamoto, Y., 2010. Contribution of bioturbation by the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* to the recruitment of bloom-forming cyanobacteria from sediment. *J. Limnol.* 69 (1), 102–111.

10. Seznam obrázků, tabulek a grafů

10.1. Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Globální růst celkového počtu invazivních druhů (Pyšek a kol., 2020; upraveno)	11
Obrázek č. 2: Porovnání výskytu původních a nepůvodních druhů raků v Anglii v letech 1990-1996 a 1997-2003 (Holdich a Sibley, 2003; upraveno).	14
Obrázek č. 3: Rak červený (zdroj: home.czu.cz, 2021)	18
Obrázek č. 4: Hlavní introdukční cesty raka červeného (Oficialdegui a kol., 2019; upraveno).	19
Obrázek č. 5: Globální výskyt raka červeného v průběhu času (Oficialdegui a kol., 2019)..	20
Obrázek č. 6: Výskyt raka červeného v Evropě (Kouba a kol., 2014). Poslední distribuční změny viz text výše.....	21
Obrázek č. 7: Rak mramorovaný (zdroj: irozhlas.cz, 2021)	22
Obrázek č. 8: Výskyt raka mramorovaného v Evropě (Marmocrebs. org, 2020; upraveno). 25	
Obrázek č. 9: Výskyt raka mramorovaného na Madagaskaru k roku 2019 (Andriantsoa a kol., 2020; upraveno).	26
Obrázek č. 10: Systém akvárií (zdroj: autor).	30
Obrázek č. 11: Detailní pohled na akvárium s úkryty shora (zdroj: autor).....	30
Obrázek č. 12: Samice raka červeného s vyvinutými bílkovinnými sekrečními žlázami (zdroj: autor).	37
Obrázek č. 13: Samec raka červeného s plně vyvinutými gonopody (zdroj: autor).	37

10.2. Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Porovnání vlastností vybraných druhů raků.....	16
Tabulka č. 2: Optimální růstová teplota u vybraných druhů raků.....	27

10.3. Seznam grafů

Graf č. 1: Hmotnost (g; průměr±směrodatná odchylka) raka červeného a raka mramorovaného v testovaných obsádkách (jednodruhové obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně). Statisticky významné rozdíly v daném čase jsou indikovány lišícími se písmennými indexy. Kruskal-Wallisův test, Vícenásobné porovnáním průměrného pořadí všech skupin, $p < 0,05$ 33

Graf č. 2: Hmotnost v závislosti na pohlaví (g; průměr±směrodatná odchylka) u samců a samic raka červeného v testovaných obsádkách (jednodruhové obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně). Statisticky významné rozdíly mezi pohlavími v daném čase a typu obsádky jsou indikovány hvězdičkou. Studentův t-test, $p < 0,05$ 34

Graf č. 3: Přežívání (%; průměr±směrodatná odchylka) raka červeného a raka mramorovaného v testovaných obsádkách (jednodruhové obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně). Statisticky významné rozdíly nenalezeny. Míra přežití vypočtena jako procento přežití z počátečního stavu po arcin-transformaci dat, Tukeyovi post hoc testy, $p < 0,05$ 35

Graf č. 4: Poškození klepet (%; průměr±směrodatná odchylka) přeživších jedinců raka červeného a raka mramorovaného v testovaných obsádkách (jednodruhové obsádky znázorněny plnobarevně, smíšené obsádky žíhaně). 36

11. Abstrakt

Biologické invaze jsou stále významnějšími biologickými i ekonomickými hrozbami. Počty těchto invazí v čase stále stoupají a narušují tím původní biodiverzitu. V tomto experimentu jsme se zaměřili na dva druhy raků původem ze Severní Ameriky, a to na raka červeného a na raka mramorovaného, kteří patří mezi nejvýznamnější invazivní raky. Abychom zjistili, který z těchto druhů by měl být dominantní v trvale suboptimálních teplotních podmínkách (teplota vody 16 °C), provedli jsme experiment hodnotící jejich růst, mortalitu, poškození klepet a dozrávání v jednodruhových i smíšených obsádkách. Ukázalo se, že rychleji rostoucím druhem byl jednoznačně rak červený, který rostl nejrychleji ve smíšených obsádkách na úkor raka mramorovaného, který v těchto obsádkách naopak rostl pomaleji než v jednodruhových obsádkách. V přežívání v jednotlivých skupinách nebyly zaznamenány velké rozdíly, jednodruhová obsádka raka mramorovaného však přežívala přibližně o 15 % lépe, než ostatní skupiny. Poškození klepet bylo vyšší u raků červených, velký rozdíl byl zaznamenán mezi obsádkami raků mramorovaných, kdy ve smíšených obsádkách bylo poškození přibližně pětikrát vyšší. Na konci experimentu (týden 18) byli mezi raky červenými nalezeni tři pohlavně dospělí samci a jedna samice s bílkovinnými žlázami.

Klíčová slova: biologická invaze, obchod s mazlíčky, vodní prostředí, mezidruhová kompetice

12. Abstract (English)

Biological invasions are increasingly recognized as biological and economic threats. The numbers of these invasions continue to rise over time, disrupting the original biodiversity. In this experiment, we focused on two species of crayfish native to North America, the red swamp crayfish and the marbled crayfish, which are among the most important invasive crayfish worldwide. To determine which of these species should be dominant in permanently suboptimal temperature conditions (water temperature of 16 °C), we conducted an experiment evaluating growth, mortality, claws damage, and maturation in single-species and mixed stocks. It turned out that the faster-growing species was the red swamp crayfish, which grew the fastest in mixed stocks, at the expense of marbled crayfish, which, on the contrary, grew more slowly in these stocks than in single-species stocks. There were no large differences in survival in the individual groups, except single-species marbled crayfish stocks, for which the survival rate was about 15% higher than in other groups. The incidence of individuals with damaged claws was higher for red swamp crayfish, a large difference was recorded between marble crayfish groups, when in mixed stocks the damage was circa five times higher contrary to the single-species setup. At the end of the experiment (week 18), three mature males with gonopods and one female with glair glands were found in the red swamp crayfish.

Key words: biological invasion, pet trade, aquatic environment, interspecies competition