

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Bakalářská práce

**Jsou parmy obecné v době výtěru „jedovaté“ pro
ostatní vodní organismy?**

Autor:	Pavel Švejda
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Lukáš Veselý, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce:	Ing. Antonín Kouba, Ph.D.
Studijní program a obor:	Zootechnika, Rybářství
Forma studia:	Prezenční
Ročník:	4.

České Budějovice, 2020

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 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.

V Českých Budějovicích

Podpis studenta

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Veselému Ph.D., dále konzultantovi Ing. Antonínu Koubovi Ph.D. a i dalším pracovníkům VÚRH ve Vodňanech za odborné vedení a pomoc při vypracování této práce a za trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovali.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel ŠVEJDA**

Osobní číslo: **V16B024P**

Studijní program: **B4103 Zootechnika**

Studijní obor: **Rybářství**

Název tématu: **Jsou parmy obecné v době výtěru "jedovaté" pro ostatní vodní organismy?**

Zadávací katedra: **Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický**

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

Parma obecná *Barbus barbus* (L.) je reofilní kaprovitá ryba mající nezastupitelný význam pro sportovní rybářství. V porovnání s ostatními zástupci naší ichtyofauny je především u ní zmiňována jedna poměrně neobvyklá vlastnost, kterou je její jedovatost (druhou takto běžněji označovanou rybou bývá u nás snad už jen úhoř říční (L.)). Tato jedovatost parmy obecné je uváděna ve vztahu k člověku a váže se především na období reprodukce (obvykle květen až červenec). Dostupné informace o této otravě, tzv. parmové choleře, jsou poměrně neucelené a bývají dávány do souvislosti s toxinem cypridinem (či též cyprinidinem). Má se jednat o termostabilní protein (je uváděna i lipoproteinová povaha) vyskytující se v jikrách a gonádách ryb. Některé studie referují i o jeho přítomnosti ve svalovině. Jindy zase bývá poukazováno na skutečnost, že toxický efekt je vyvolán výhradně přítomnými polynenasycenými mastnými kyselinami. Jen velmi málo se ví o tom, zda jsou reprodukcující se parmy obecné a jejich jikry jedovaté i pro ostatní vodní živočichy (rybí predátory a konzumenty jiker).

Cílem této bakalářské práce bude vypracování literárního přehledu o problematice toxicity ryb s důrazem na tzv. parmovou choleru. Rovněž budou provedeny jednoduché laboratorní experimenty (krmné a preferenční krmné testy) nepřímo hodnotící jedovatost pohlavních produktů a svaloviny reprodukcujících se parem pro ostatní vodní živočichy.

Práce bude podpořena projektem CENAKVA II (LO1205 v rámci programu NPU I).

Rozsah grafických prací: dle potřeby (do 10 stran)

Rozsah pracovní zprávy: 30-50 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

ARAS, N.M., HASILOGLU, M.A., HALILOGLU, H.I., BAYIR, A., SIRKECIOGLU, A.N. (2009). Comparison of fatty acid composition of some tissues and conversion ratios of stomach containing fatty acids to tissue fatty acids in *Barbus capito capito* Guldenstaed, 1773. *Asian Journal of Chemistry*, 21: 6969-6974.

FUHRMAN, F.A., FUHRMAN, G.J., DULL, D.L., MOSHER, H.S. (1969). Toxins from eggs of fishes and amphibia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 17: 417-424.

JAWAD, L.A. (2018). *Dangerous Fishes of the Eastern and Southern Arabian Peninsula*. Springer International Publishing AG.

NAJAFPOUR, N., COAD, B.W. (2002). Ichthyootoxism in *Barbus luteus* from Iran (Actinopterygii: Cyprinidae). *Zoology in the Middle East*, 26: 129-131.

MANCINI, I., DEFANT, A., MESARIČ, T., POTOČNIK, F., BATISTA, U., GUELLA, G., TURK, T., SEPČIĆ, K. (2011). Fatty acid composition of common barbel (*Barbus barbus*) roe and evaluation of its haemolytic and cytotoxic activities. *Toxicon*, 57: 1017-1022.

SYSOVÁ, J. (2001). Parmová cholera - onemocnění u člověka. *Klinická mikrobiologie a infekční lékařství*, 7: 259-260.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lukáš Veselý, Ph.D.

Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Konzultant bakalářské práce: Ing. Antonín Kouba, Ph.D.


Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Datum zadání bakalářské práce: 5. ledna 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. května 2019


prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
E.S.
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Zatiší 728/II
389 25 Vodňany (2)


doc. Ing. Tomáš Randák, Ph.D.
ředitel

V Českých Budějovicích dne 10. ledna 2018

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Literární přehled.....	5
2.1	Toxicita ryb.....	5
2.1.1	Toxiny aktivně jedovatých ryb.....	6
2.1.2	Toxiny pasivně jedovatých ryb.....	13
2.2	Parma obecná.....	19
2.2.1	Systematické zařazení.....	19
2.2.2	Popis druhu.....	19
2.2.3	Rozšíření.....	20
2.2.4	Biologie a potrava.....	21
2.2.5	Rozmnožování.....	22
2.2.6	Ohrožení a ochrana.....	23
2.2.7	Toxicita.....	24
3	Materiál a metodika.....	27
3.1	Experimentální organismy.....	27
3.1.1	Parma obecná.....	27
3.1.2	Blešivec ježatý.....	27
3.1.3	Rak mramorovaný.....	29
3.1.4	Hlaváč černoústý.....	30
3.2	Design testu.....	32
3.2.1	Testy „toxicity“.....	33
3.2.2	Behaviorální test výběrovosti svaloviny parmy obecné.....	36
4	Výsledky.....	42
4.1	Testy „toxicity“.....	42

4.1.1	Toxicita palem obecných chovaných v RAS	42
4.1.2	Toxicita palem obecných chovaných v experimentálních rybnických podmínkách	43
4.2	Výsledky behaviorálního testu výběrovosti svaloviny parmy obecné	44
5	Diskuze	51
6	Závěr	58
7	Seznam odborné literatury	60
8	Přílohy	79
9	Abstrakt	83
10	Abstract	84

1 Úvod

Během evolučního vývoje se schopnost „jedovatosti“ stala klíčem pro přežití mnoha druhů organismů od jednobuněčných až po savce a ptáky. Přestože těmi nejproslulejšími z živočišné říše se stali bezpochyby hadi a pavouci, velká pozornost je věnována také rybám. K únoru 2020 bylo registrováno více než 32 500 druhů paprskoploutvých ryb (Actinopterygii) (Roskov a kol., 2020). Podíl jedovatých ryb je značný, avšak přesné číslo zůstává neznámé. Toxicita u ryb, stejně jako u jiných živočichů, nabývá různých forem, intenzity i způsobu jejího sdílení mezi kořistí a predátorem. Zvláštností je, že přes sebevětší rozmanitost ryb je toxin využíván k ulovení kořisti pouze v ojedinělých případech. Mnoho druhů ryb, mezi nimi například mořské ropušnice (Scorpaenidae) či odranci (Synanceiidae), disponují trny s jedovými žlázami, kterými se v případě bezprostředního ohrožení predátorem aktivně brání. Je však známo i mnoho druhů ryb, které specializovaný aparát ke sdílení jedu postrádají. Jejich toxicita bývá vázána pouze na určitý orgán nebo roční období. Takový typ jedovatosti je znám například u některých druhů čtverzubců (Tetraodontiformes). Jejich játra, ledviny, ovaria, oči a někdy i kůže obsahují jed tetrodotoxin, zatímco maso jed obsahuje pouze ve velmi malém množství a je pro mnohé strážníky vyhlášenou delikatesou (Kao, 1966; cit. dle Russell 1969). Mimo jiné i známí a hojně sledí nebo makrely mohou ve svém těle obsahovat jeden i více toxinů, které se u nich vyskytují sezónně a pochází z toxických obrněnek (White, 1977; Lewis a Endean, 1983).

Do stejné skupiny jedovatých ryb lze mimo jiné zařadit parmu obecnou *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758), jejíž toxicita je obvykle vázána na období reprodukce (Kornalík, 1967). Její jed je nazýván cypridin (či též cyprinidin). Údaje o chemické povaze toxinu jsou neúplné a do jisté míry rozličné. Člověku způsobuje otravu známou jako „parmová cholera“, a to především po požití jiker. Tyto skutečnosti by mohly souviset s užitím cypridinu jako obranného nástroje embryí parmy proti přirozeným predátorům. Takové účinky však prozatím nebyly nikdy studovány.

Cílem této práce bylo vytvořit literární přehled o problematice týkající se toxicity ryb s důrazem na parmu obecnou. Dalším záměrem bylo experimentálně zhodnotit možnou jedovatost svaloviny a vnitřností (včetně gonád), dále jiker a vajíčkového plůdku parmy obecné pro ostatní vodní organismy, jež by byla manifestována jejich úhynem. K pokusu

byli vybráni predátoři různých taxonomických skupin, jež mohou být predátory jiker a plůdku parmy, potažmo dekompozitoři ryb.

2 Literární přehled

2.1 Toxicita ryb

Toxikologii u ryb lze obecně popsat jako velmi pestrou, a to nejen díky velké rozmanitosti jedovatých druhů ryb, ale i samotných toxinů. Rensch a Murphy-Lavo (2018) uvádí, že více než polovina jedovatých obratlovců náleží k rybám a Sivan (2009) odhaduje tento podíl na dvě třetiny. S jedovatými rybami se setkáme v pevninských vodách i oceánech, přičemž mezi nimi najdeme druhy ekonomicky významné nebo druhy důležité v obživě tammích obyvatel. Jedovatost ryb je lidem známa již velmi dlouho, o čem svědčí nástěnné malby ryb rodu *Tetraodon* v Egyptské hrobce z období kolem 2500 př. n. l. (Kůrka a Pflieger, 1984). Avšak přes neustálý rozvoj v této oblasti vědy, velké množství informací zůstává prozatím skryto.

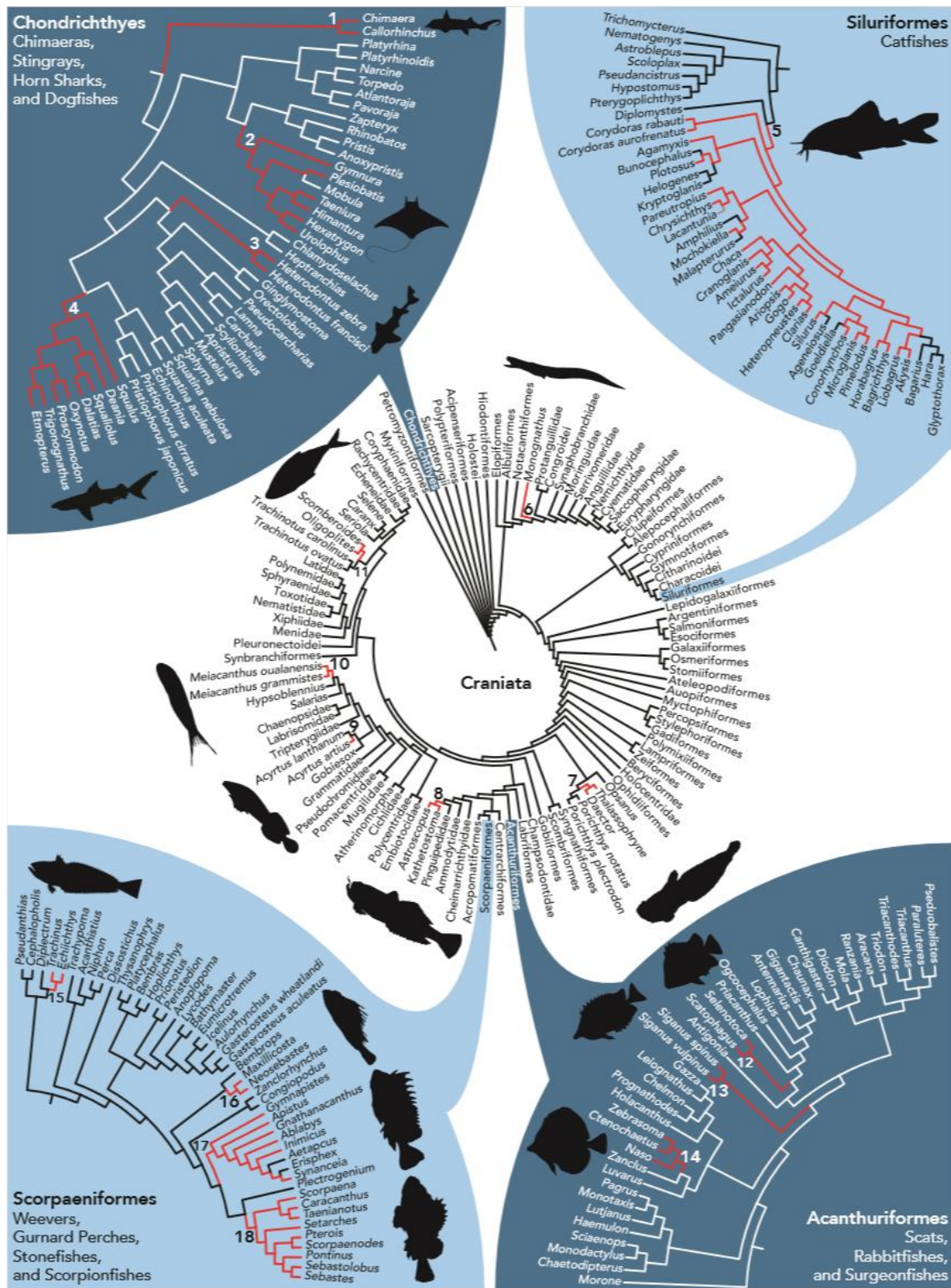
Z hlediska jedovatosti lze živočichy dělit do různých skupin. Jako primárně toxický se označuje živočich, v jehož těle je jed produkován, tedy nově vzniká během fyziologických pochodů. Pokud je toxická látka jakkoliv přijímána, ať už potravou nebo z okolního prostředí, nazývá se zmíněný organismus jako sekundárně toxický (Kornalík, 1967). Russell (1969) popisuje rozdělení z hlediska původu, distribuce a sdílení toxinu organismy fanerotoxické a kryptotoxické. Fanerotoxičtí živočichové produkují toxin v jedové žláze, jež je napojena na sdělný aparát umožňující vpravení jedu do jiného organismu (recipientu). Příkladem takového aparátu jsou u ryb nejčastěji ostny, zřídka jimi mohou být i zuby. Fanerotoxické organismy se označují jako aktivně jedovaté a u recipientu vyvolávají tzv. ichthyocanthotoxismus (Farlex a Partners, 2009). Pokud sdělný aparát toxické organismy postrádají, označují se jako pasivně jedovaté (Kornalík, 1967).

Součástí pasivně jedovatých jsou kryptotoxičtí živočichové, kteří se vyznačují absencí jedové žlázy. Toxiny v nich mohou vznikat činností metabolismu a bývají tak vázány k určitým orgánům (Kůrka a Pflieger, 1984; Velíšek a kol., 2014). Člověku či jiným organismům pak způsobují intoxikaci po pozření jedovatého masa či viscerální tkáně a otrava tohoto typu je nazývána ichthyosarcotoxismus (Kornalík, 1967). Jako mezistupeň lze chápat ichthyokrinotoxismus, v jehož případě je toxin produkován v kožních jedových žlázách, které však nejsou napojené na sdělný aparát a jed má varovnou a odpuzující funkci (Russell, 1969; Bagnis a kol., 1970). Z obecného hlediska jsou toxiny ryb až na výjimky využívány k vlastní ochraně (Russell, 1969).

2.1.1 Toxiny aktivně jedovatých ryb

Více než 100 000 ročně, tolik případů poranění spojených s otravou způsobenou aktivně jedovatými rybami odhaduje Wright (2015). Jedovaté ryby se dle Church a Hodgson (2002) v současnosti stávají předmětem výzkumu, a to především za účelem získání nových léčiv či protijedů. Nicméně i přes velkou rozmanitost a široké geografické rozšíření aktivně jedovatých ryb je množství známých informací ve srovnání terestrickými zvířaty v oblasti toxicity poněkud nedostačující (Wright, 2015; Ziegman a Alewood, 2015). Příčinou tohoto nedostatku je fakt, že fanerotoxismus byl u velkého množství druhů ryb prokázán teprve v nedávné době (Smith a Wheeler, 2006). Zatímco Church a Hodgson (2002) referovali o přibližně 200 druzích aktivně jedovatých mořských ryb či paryb, Wright (2009) odhaduje tento počet včetně sladkovodních druhů přibližně na 2 500.

Evolučním vývojem fanerotoxicity ryb a paryb se zabývali Smith a kol. (2016), kteří uvažují o jeho nezávislém vzniku v 18 taxonomických skupinách (Obrázek 1). Z důvodu velkého množství jedovatých ryb jsou zde zmíněni pouze nejvýznamnější skupiny a představitelé aktivně jedovatých ryb.



Obrázek 1: Převzato z: Smith a kol., (2016). Výsledky nejpravděpodobnější distribuce jedů aktivně jedovatých ryb a paryb z hlediska jejich fylogeneze. Aktivně jedovaté ryby (červená barva), Neaktivně jedovaté (černá barva, případně bílá na tmavém podkladu). Neznámé fylogenetické vztahy (přerušovaná čára). 1 – Chimaeriformes; 2 – Myliobatoidea; 3 – Heterodontidae; 4 – Squaliformes; 5 – Siluriformes; 6 – Monognathidae; 7 – Batrachoididae; 8 – Uranoscopidae; 9 - Gobiesocidae; 10 – Blennidae; 11 – Carangidae; 12 – Scatophagidae; 13 – Siganidae; 14 – Acanthuridae; 15 – Trachinidae; 16 – Neosebastidae; 17 – Tetrarogidae, Apistidae, Gnathanacanthidae, Synanceiidae; 18 – Scorpaenidae, Sebastidae, Setarchidae.

Paryby (Chondrichthyes)

Jedové žlázy, napojené na sdělný aparát, se hojně vyskytují už u evolučně starších chimér (Holocephali). Jed syntetizující žláza, napojená na vztyčitelný trn první hřbetní ploutve, se nachází u druhů všech tří recentních čeledí. Do první zmiňované čeledi patří i chiméra běloskvrnná *Hydrolagus colliei* (Lay & Bennett, 1839), která při nešetrné manipulaci může způsobit nepříjemnou otékající ránu působící bolest přibližně jeden týden (Tozer a Didier, 2004). Hayes a Sim (2011) uvádějí pět případů otrav následkem bodnutí trnem chiméry podivné *Chimaera monstrosa* Linnaeus, 1758. Castex (1967) zmiňuje jedovatost stejného typu u chimérovky obecné *Callorhynchus callorhynchus* (Linnaeus, 1758).

Žraloci (Selachii), ač často velmi obávaní mořští predátoři, představují velmi málo početnou skupinu jedovatých živočichů. Jedním z mála zástupců je ostroun obecný *Squalus acanthias* Linnaeus, 1758, v jehož obou hřbetních ploutvích se nacházejí jedové trny. Případů konfliktů s člověkem je zaznamenáno jen velmi málo (Halstead, 1970; cit. dle Castro, 2010). Smith a kol. (2016) dále zmiňuje jedovatost u různozubce pruhovaného *Heterodontus zebra* (Gray, 1831) a různozubce Francisova *Heterodontus francisci* (Girard, 1855).

Nejvíce aktivně jedovatých druhů paryb náleží k rejnokům (Batoidei), respektive ke známým „trnuchám“ (myšlen taxon Myliobatoidei, ang. „stingrays“). Aktivně jedovatá je většina druhů této linie, která čítá celkem okolo 280 druhů v osmi čeledích (Zicha, 1999 – 2019; Nelson a kol., 2016). Sdělným aparátem toxinu těchto paryb je jedový trn, nacházející se na začátku, ve střední části, či nedaleko konce ocasu. Trn může být jeden, dva nebo dokonce tři, je kostěné struktury (modifikovaná plakoidní šupina) zpravidla se zpětnými hroty a může v případě siby býci *Aetomylaeus bovinus* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817) měřit až 20 centimetrů (Charnigo a kol., 2019; Layton, 2008).

Jak uvádí Oldfield (2007), trn samotný není jedem napuštěn a přítomna není ani jedová žláza. Galektin, cystatiny a peroxidoxin-6, jenž jed obsahuje, jsou sekretem specializovaných, rozptýlených kožních buněk pokrývajících trn. K uvolnění do rány predátora dochází poškozením těchto buněk během obranného napadení trnuchou (Da Silva a kol., 2015; Charnigo a kol., 2019). Toxin je termolabilní, a tak se k jeho eliminaci uplatňují mj. ponory postiženého místa do horké vody (Clark a kol., 2007). Komplikace

při léčbě, která trvá dle závažnosti přibližně 3 měsíce, způsobují především nekrózy a bakteriální infekce (Haddad a kol., 2004; Charnigo a kol., 2019)

Diaz (2008) uvádí, že jen v USA je každoročně evidováno 750 až 2000 případů zranění člověka způsobených jedovatými rejnoky. Autor dodává, že fatálně napříč oběma americkými kontinenty ale končí osm až deset případů ročně. Dle O'Connell a kol. (2019) představují nebezpečí zejména druhy s trnem umístěným ve střední až koncové části ocasu a taktéž druhy sladkovodní, jejichž typickým příkladem je čeled' Potamotrygonidae.

Sumci (Siluriformes)

Jedovatost, která se u řádu sumců evolučně vyvinula, je druhově nejpočetnějších u ryb. U mnoha druhů byla jedovatost zjištěna až v nedávné době. Zatímco historické údaje referují o 158 jedovatých druzích, v současné době se tento počet odhaduje mezi 1250 až 1625+ druhy obývajícími sladké i slané vody (Wright, 2009).

Jedovaté druhy jsou nejčastěji vybaveny erektilním, kostěným trnem (modifikovaný paprsek) ve hřbetní a prsních ploutvích., Jedy sumců náleží do skupiny acanthotoxinů a jsou sekretem nahromaděných buněk lokalizovaných v pokožce trnu a jsou uvolněny do rány predátora v případě bezprostředního ohrožení (Wright, 2015). Mezi významné zástupce patří druhy rodu *Ictalurus* a *Ameiurus*, včetně sumečka amerického *Ameiurus nebulosus* (Lesueur, 1819) a sumečka černého *Ameiurus melas* (Rafinesque, 1820), jež jsou nepůvodními druhy vyskytujícími se na území ČR (Musil a kol., 2008; Lusk a kol., 2010; Barthó a kol., 2018). Mezi běžné symptomy zraněných osob zmiňuje Shepherd a kol. (1994) silnou bolest, erytémii (krevní onemocnění vyznačující se překotnou tvorbou červených krvinek a přítomností jaderných forem erytrocytů v periferní krvi), cyanózu (namodralé zbarvení kůže a sliznic při vyšším obsahu deoxygenovaného hemoglobinu v krvi), otok v okolí rány, pocení, lymfangitidu (zánět lymfatického systému), svalové záškuby a ve výjimečných případech až smrt. Jako součást léčby autor dodává zábaly postižených míst v horké vodě (43 °C) po dobu alespoň 30 minut.

V literatuře je též uváděn i druhý typ toxicity některých druhů, a sice krinotoxicita. Shepherd a kol. (1994) referuje o tomto typu toxicity u mořského křížovce rudomořského *Netuma thalassina* (Rüppell, 1837) a plotose proužkatého *Plotosus lineatus* (Thunberg,

1787). Wright (2015) nicméně upozorňuje, že doposud nebyl prokázán významný odpuzující účinek těchto krinotoxinů na predátory.

Cameron a Endean (1973) zároveň uvažovali o evolučním vzniku acanthotoxinů u sumců modifikací krinotoxinů, což demonstrovali podobným složením acanthotoxinu i krinotoxinu u plotose proužkatého. Whitear a kol. (1991) naopak uvádějí signifikantní rozdíly mezi těmito strukturami v jejich ultrastruktuře a histochemii u keříčkovce dvoupásého *Heteropneustes fossilis* (Bloch, 1792) a vylučují jejich homologii. Acanthotoxiny i krinotoxiny sumců jsou bílkovinné povahy. Konkrétní struktura jedu sumců je druhově specifická a protijed není doposud znám. Závažné případy otrav způsobují především mořské druhy (Auerbach a kol., 1987a; Auerbach a kol., 1987b; cit. dle Blomkalns a Otten, 1999; Shepherd a kol., 1994).

Ropušnicotvaří (Scorpaeniformes)

Jedovatost ropušnicotvarých ryb lze charakterizovat především vysokou diverzitou druhů i linií. Zahrnuje 19 čeledí a více než 400 druhů jedovatých ryb. Mezi druhově nejpočetnější a nejznámější z nich lze uvést zejména čeledi Scorpaenidae (ropušnicovití) (185–200 druhů), Sebastidae (115–130 druhů), Tetrarogidae (42 druhů) či Synanceiidae (odrancovití) (36 druhů) (Smith a Wheeler, 2006).

Jedy ryb tohoto řádu jsou bílkovinné povahy velmi často druhově specifické (Russell, 1969; Araújo, 2019). Jsou syntetizovány žlázami napojenými na vztyčitelné trny, které jsou umístěny na hřbetních, řitních a/nebo břišních ploutvích (Smith a Wheeler, 2006). Typickým symptomem je silná bolest v místě rány, provázená erytrémií, otokem a sníženou citlivostí. Zranění mohou pociťovat bolest v lymfatických uzlinách, nevolnost, zvracení, adenopatii (patologické změny žlázy), průjem, zvýšená tepová frekvence a arytmie (Ngo a kol., 2009; Campos a kol., 2016). K neutralizaci toxinu jsou aplikovány zábaly v horké vodě (45 °C) po dobu 30 minut a protijed, pokud je znám (Church a Hogson, 2003; Darlene a Phee-Kheng, 2013). Následná léčba se soustředí na tlumení symptomů, nekrózy, případně bakteriální infekce.

Jedovatými rybami nejčastěji způsobujícími smrt jsou druhy rodu *Synanceia* (Khoo a kol., 1992; Church a Hogson, 2001; cit. dle Gomes a kol., 2011). Zejména jed stonustoxin odrance příšerného *Synanceia horrida* (Linnaeus, 1766) a verrucotoxin odrance pravého *Synanceia verrucosa* (Bloch & Schneider, 1801) mohou mít pro člověka fatální následky

(Khoo, 2002). Jak uvádí Muller (2006), protijed v případě otravy odranci existuje, nebývá však vždy dostupný v lokálním lékařském zařízení. Oba zmíněné druhy obývají mělké útesy Indického a Tichého oceánu (Froese a Pauly, 2019a)

Nejjedovatějšími rybami Atlantského oceánu jsou podle Carrijo a kol. (2005) ropušnice rodu *Scorpaena*. Druhem způsobujícím velmi častá zranění je ropušnice *Scorpaena plumieri* Bloch 1789. Například lékařské zařízení města Adícora ve Venezuele evidovalo dle Loyo a kol. (2008) 36 případů zranění spojených s otravou touto rybou, a to v pětíměsíčním období od prosince 2005 do ledna 2006.

Jedovatí jsou rovněž perutýn ohnivý *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) a perutýn ďábelský *Pterois miles* (Bennet, 1858), jenž jsou s oblíbeným akvarijním druhem a v současné době jsou považováni za invazní druhy Atlantského oceánu (Halstead a kol., 1955; Golani a Sonin, 1992; Whitfield a kol., 2002).

Ostnoploutví (Perciformes)

Diverzita jedovatých ryb řádu ostnoploutvých je stejně jako u předešlých skupin velmi vysoká. Ze studie Smith a Wheeler (2006) vyplývá, že jedovatost v rámci ostnoploutvých zahrnuje více než 160 druhů a zasahuje do 21 čeledí, mezi nimiž i významné bodlokovité (Acanthuridae) (45–80 druhů), nebehledovité (Uranoscopidae) (49 druhů), králíčkovcovité (Siganidae) (27), slizounovité (Blennidae) (25 druhů) a ostnatcovité (Trachinidae) (9 druhů). Autor dále odhaduje, že linie Acanthomorpha, ke které mimo jiné náleží řády ostnoploutví a ropušnicotvaří, zahrnuje 585–650 aktivně jedovatých druhů ryb.

Jedy ostnoploutvých ryb jsou stejně jako u ropušnicotvarých syntetizovány v jedových žlázách, napojených na ostny nebo trny. Ty mohou být umístěny nejen na hřbetních, řitních a/nebo břišních ploutvích (Acanthuridae, Scatophagidae, Siganidae, Carangidae), může ale také tvořit trnovitý výčnělek kosti *cleithrum* (Uranoscopidae) nebo na okraji střední části skřelového víčka (Trachinidae). V případě slizounů rodu *Meiacanthus* jsou dokonce vytvořeny obranné jedové „tesáky“ (Smith a Wheeler, 2006; Casewell a kol., 2017)

Jed ostnatcovitých (Russell, 1983) a pravděpodobně i ostatních čeledí je bílkovinné povahy. Dle Muller (2006) je toxin ostnoploutvých, stejně jako všech jedovatých druhů

linie Acanthomorpha termolabilní a při léčbě se uplatňují zábaly postiženého místa pomocí horké vody (45–50 °C po 30–90 minut). Účinné protijedy jsou užívány při otravě ostnatcem velkým *Trachinus draco* Linnaeus, 1758 (Matić-Piantanida a kol., 1980).

Žabohlavci podčeledi Thalassiphryinae

Aktivní toxicita druhů této podčeledi zahrnuje 11 druhů ryb. Haddad a kol. (2003) pojednávají o 43 případech jedovatých poranění žabohlavcem Nattererovým *Thalassophryne nattereri* Steindachner, 1876. Příznaky a léčba jsou podobné jako u Scorpaeniformes, avšak případy dle autora nebývají tak závažné.

Zástupci žabohlavců vynikají především konstrukcí jedového aparátu. Ten je u některých zástupců tvořen dutými ostny ve hřbetní ploutvi a taktéž dutým trnem umístěným na dorzálním okraji skřelového víčka s jedovými žlázami uvnitř (Smith a Wheeler, 2006). Tento typ jedového aparátu hodnotí Haddad a kol. (2003) jako nejpokročilejší v rámci ryb.

Čelist'ovky (rod *Monognathus*)

Jedovatost u hlubokomořských čelist'ovek (řád velkotlamky – Saccopharyngiformes) je stejně bizarní, jako jejich celkový vzhled. Kromě druhů rodu *Meiacanthus* jsou jedinými rybami s jedovým „tesákem“ a vůbec jedinou skupinou ryb využívající svou jedovatost k ulovení kořisti (Casewell a kol., 2017). Jedový „tesák“ se nachází v horní čelisti a jeho použití pravděpodobně zvyšuje efektivitu lovu v nehostinném prostředí hlubin oceánu. Stále však chybějí přesné informace o stravě těchto ryb, stejně tak jako o chemickém složení jedu a jak konkrétně je jed čelist'ovkami užíván (Smith a kol., 2016; Harris a Jenner, 2019).

Carounovtí (Gobiesocidae)

V nedávné době byla zjištěna jedovatost druhu *Acyrtus artius* Briggs, 1955 a *Gobiesox nudus* (Linnaeus, 1758). Tyto druhy, obývající dno mělkých vod tropických moří, jsou jedinými rybami s jedovými žlázami na spodní části skřelového víčka (Conway a kol., 2014).

2.1.2 Toxiny pasivně jedovatých ryb

Pasivní toxicita ryb je lidmi známa nejméně několik staletí, snad až z dob starověkých faraónů (Gaillard, 1923; cit. dle Halstead, 1958). Jedy těchto druhů ryb mohou být v těle buď syntetizovány, nebo přejímány v podobě potravy. Z hlediska působení na člověka vyvolávají toxiny pasivně jedovatých ryb ichthyosarcotoxismus zpravidla po požití masa nebo jiných částí těchto ryb. Z pohledu lokalizace toxinu v těle ryb a účinků na člověka lze v rámci ichthyosarcotoxismu dále odlišit ichthyootoxismus, při němž je toxicita omezena na gonády, ichthyohemotoxismus, který vykazují ryby s jedovatou krví nebo ichthyogallotoxismus u ryb s toxiny ve žluči. Zvláštní formou je ichthyallyeinotoxismus, jenž ovlivňuje nervový systém pacientů (Halstead, 1958; Bagnis a kol., 1970).

Russell (1975) odhaduje méně než 20 000 případů otrav po požití toxických ryb ročně, přičemž asi 200 z nich končí fatálně. Autor ale dodává, že pouze u asi 30 % jsou příčiny otravy objasněny. Přestože oproti výše zmíněným 100 000 případům poranění spojených s otravou ročně, způsobenou aktivně jedovatými rybami, tvoří případy otravy pasivně toxickými rybami přibližně jednu pětinu, dle Bagnis a kol., (1970) je to právě ichthyosarcotoxismus, který pro člověka představuje nejzávažnější zdravotní riziko. Níže jsou popsány nejvýznamnější toxiny pasivně jedovatých ryb a otravy jimi způsobené.

Tetrodotoxin

Tetrodotoxin (TTX) je pravděpodobně nejznámějším toxinem vyskytujícím se u ryb. Jeho název je spjat s čeledí čtverzubcovitých (Tetraodontidae), u nichž se v rámci ryb téměř výhradně vyskytuje (Noguchi a Arakawa, 2008). Ti jsou již po mnoho staletí součástí čínské a především japonské kuchyně. Tetrodotoxin čtverzubci však není syntetizován, za jeho produkci totiž stojí zástupci hned několika rodů bakterií různých kmenů. Mezi nimi jsou například *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Bacillus*, *Shewanella* a jiné. V potravním řetězci byl TTX mj. objeven u některých druhů fytoplanktonních i zooplanktonních organismů, pásnic (Nemertea), mlžů (Bivalvia), mořských hvězdic (Asteroidea), ostrorepovitých (Limulidae), krabů (Brachyura), chobotnic (Octopoda). Výjimkou mezi rybami mimo čeleď čtverzubcovitých tvoří někteří zástupci hlaváčovitých (Gobiidae) rodů *Amoya* a *Yongeichthys* (You a kol., 2015; Wei a kol., 2015). Pozoruhodné je, že TTX (či jeho analogy) byl objeven také u některých žab

a mloků (Daly, 2004; Hanifin, 2010). Za presencí TTX u ryb tak stojí složité a stále ne zcela jasné potravní vztahy v potravním řetězci (Magarlamov a kol., 2017).

Tetrodotoxin je u čtverzubců lokalizován v různých částech těla, přičemž míra toxicity je druhově specifická. Noguchi a Arakawa (2008) uvádějí přítomnost TTX v samčích i samičích pohlavních orgánech, kůži, játrech, střevě, mase a krvi, a to včetně přibližného množství TTX v těchto orgánech. Z hlediska chemického složení je TTX termostabilní a nebílkovinné povahy. Jeho cyklická molekula je tvořena guanidinem napojeným na uhlíkový skelet, jenž má 2,4- dioxadamantan, obsahující 5 hydroxylových skupin. Dosud bylo izolováno 30 přirozeně se vyskytujících se analogů s odlišnou mírou toxicity (Chau a Kalaitzis, 2011; cit. dle Bane a kol., 2014)

Tetrodotoxin je neurotoxinem, jehož mechanismus účinku spočívá v blokaci sodíkových pump, nacházejících se na membránách nervových a svalových buněk, které posléze tyto tkáně imobilizují (Narahashi a kol., 1964; Denac a kol., 2000). Mezi hlavními symptomy popisují Noguchi a Ebesu (2001) brnění jazyka a rtů, bolest hlavy, zvracení, ataxii (porucha koordinace pohybů) a svalovou slabost. V těžkých případech dochází k srdečnímu a/ nebo respiračnímu selhání a následné smrti. Přestože je TTX znám velmi dlouho, ani do dnešních dní není znám protijed a léčba sestává pouze z respirační a podpůrné péče až do doby, kdy je ve vodě rozpustný toxin vyloučen močí a symptomy odezní (Kotipoyina a Warrington, 2019).

Až do roku 1960 bylo hlášeno 100 případů úmrtí otravou TTX ročně (Noguchi a Ebesu, 2001). Fatální případy přitom dle Halstead, (1958) tvořily 61 %. V současné době je nicméně počet evidovaných případů otrav TTX nižší a kolísá mezi 30 až 50 ročně, přičemž fatálně končí 11 % (Noguchi a Ebesu, 2001; White a Meier, 2017).

Otrava „ciguatera“

Otrava ciguatera je, i přes menší povědomí u širší veřejnosti, početně nejrozšířenější otravou toxiny vyskytujícími se nejen u ryb, ale u plodů moře obecně a představuje tak největší současnou hrozbu v jejich konzumaci (Bagnis a kol., 1970; Friedman a kol., 2008). Nakada a kol. (2018) referují o 25 000 až 500 000 případech otrav ciguatera každoročně.

Otravu vyvolává směs toxických látek, konkrétně dva typy ciguatoxinu, dále maitotoxin, palytoxin, scaritoxin, gambieroly a specifická kyselina (ang. gambieric acid), produkovaná obrněnkami (Dinoflagellata) rodu *Gambierdiscus*, přirozeně obývajícími dno mělkých, tropických a subtropických vod (Adachi a Fukuyo, 1979; Faust a Gullledge, 2002; Hrdina a kol., 2008; Litaker a kol., 2010; Traylor a Singhal, 2019). Prostřednictvím potravního řetězce se tento toxin posléze dostává až k rybám, a to zejména druhům obývajícím stejné habitaty, jako již zmíněná obrněnka rodu *Gambierdiscus*. Typickými skupinami ryb způsobující otravu ciguatera jsou zástupci murén (Muraenidae), soltýnovití (Sphyaenidae), kanicovití (Serranidae), kranasovití (Carangidae) bodlokovití (Acanthuridae), makrelovití (především rod *Scomberomorus*) a mnoho dalších (U.S. Food and Drug Administration, 2011). Již Bagnis a kol. (1970) uvedli více než 400 druhů ryb způsobujících otravu ciguatera.

Toxiny jsou v rybách jen velmi těžko zjistitelné. Jsou bezbarvé, bez chuti a bez zápachu, nelze je eliminovat zahřátím ani mražením minimálně po dobu šesti měsíců. Maso nelze zbavit toxinů marinováním, uzením sušením ani solením. Domorodci lovící v oblastech s evidencí otrav ciguatera zjišťují nezávadnost masa ryb pomocí rychlého testu, kdy kousek masa vhodí do mraveniště a čekají na reakci mravenců. Konzumace masa ryby mravenci poukazuje na chemickou nezávadnost, jejich nezájem nebo dokonce vzdálení se naopak indikuje přítomnost toxinů (Hrdina a kol., 2008).

Mechanismus účinku otravy ciguatera spočívá v jeho navázání na sodíkové kanály, přítomné v synapsích nervového systému, což způsobuje otevření a následnou depolarizaci těchto kanálů. Otrava je spojena s nervovými, gastrointestinálními a kardiovaskulárními a neuropsychiatrickými symptomy. Mezi ty vážné u pacientů patří srdeční dysfunkce, paralýza svalů, chladná alodynies (bolest po podnětu běžně nebolestivém), dalšími jsou mimo jiné horečka, bolest hlavy a svalů, nevolnost, rozmazané vidění, kovová příchut' v ústech nebo halucinace (Friedman a kol., 2017; Traylor a Singhal, 2019).

Léčba otravy, která může trvat dny až týdny či dokonce měsíce (Friedman a kol., 2008), je pouze podpůrná a ani v současné době není znám protijed. Velmi pozitivní výsledky byly zaznamenány při intravenózním podání mannitolu (Palafox a kol., 1988; Traylor a Singhal, 2019).

Clupeotoxické ryby

Jako clupeotoxismus se označuje otrava způsobená sledřovitými (Clupeidae) a sardelovitými (Engraulidae) rybami. Je široce rozšířený v mořích tropického až subtropického pásma, k otravám však dochází pouze zřídka. Případy, a to i s fatálními následky, byly hlášeny mimo jiné na Madagaskaru a Havajských ostrovech (Melton a kol., 1984; Randall, 2005).

Onuma a kol. (1999) předpokládají, že organismem odpovědným za clupeotoxismus jsou bentické obrněnky *Ostreopsis siamensis* Schmidt, 1901, produkující jed palytoxin. Melton a kol. (1984) nicméně již dříve upozornili, že sledi, sardinky i sardele se žíví pouze planktonními organismy, a není tak vyloučeno, že palytoxin je produkován jinými, pelagiál obývajícími druhy obrněnek (Randall, 2005).

Palytoxin patří mezi nejsilnější mořské jedy, LD₅₀ pro králíky je pouhých 25ng/kg. Jeho mechanismus účinku spočívá v navázání molekuly toxinu na enzym ATPázu a jeho depolarizaci, při které je Na⁺ shromažďován uvnitř buňky, zatímco K⁺ do buňky neprostupuje, ba dokonce ji opouští. (Wu, 2009). Velmi rychle a velmi závažně tak dokáže narušit až zastavit činnost srdce. Příznaky taktéž postihují nervovou a trávicí soustavu a z velké části se podobají příznakům při otravě ciguatera. Smrt pacienta může nastat již 15 minut po požití (Randall, 2005). Při léčbě popisují Vick a Wiles (1975) vysokou efektivitu bezprostředního podání papaverinu a isosorbidu, a to injekčně přímo do srdeční komory.

Ichthyohemotoxické ryby

Již dlouhou dobu známým jedem je ichthyotoxin obsažený v krvi zástupců různých čeledí řádu holobřichých (Anguilliformes), včetně úhoře říčního *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), obývajícího i české vody (Jawad, 2018). Tento jed bílkovinné povahy je termolabilní a při teplotě 58 – 70 °C již nepředstavuje zdravotní riziko. Je však třeba dbát, aby při zpracovávání nedošlo ke kontaktu s očima nebo sliznicí (Wunder, 1936; cit dle Tesch, 2008; Ralls a Halstead, 1955; Lichtenberger, 2007). Bílkovinný toxin byl též objeven ve slizu tří druhů úhořů. Jawad (2018) uvádí, že sliz většiny druhů úhořů může potenciálně obsahovat bílkovinné látky vykazující hemolytickou aktivitu.

Jed vyvolává u strážníka neurotoxické a cytotoxické účinky a v těžkých případech způsobuje svalové křeče, dýchání potíže, ochrnutí, nebo dokonce smrt (Bertin, 1956; cit dle Tesch, 2008; Coad, 2007).

Ichthyotoxické ryby

Mimo parmu obecnou (blíže popsáno v kapitole 2.2.7) byla toxicita jiker dle Fuhrman a kol. (1969) věrohodně popsána či zmíněna u asi 12 druhů ryb. Mezi nejznámější z nich patří kostlíní rodu *Lepisosteus*. Jejich jikry jsou jedovaté pro myši a vyšší obratlovce, vyjma ryb. Byly zaznamenány i případy otrav u člověka (Netsch a Witt, 1962; Fuhrman a kol., 1969). Burns a Stalling (1981) uvádějí letální účinky jiker kostlínů u raků. Ostrand a kol. (1996), kteří sledovali jejich jedovatost u zástupců přirozených predátorů ryb, konkrétně slunečnici zelené *Lepomis cyanellus* Rafinesque, 1819 a sumečku tečkovanému *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818) naopak nezaznamenali žádné toxické účinky. Autoři tak uvažují, že jedovatost jiker kostlínů není součástí evolučně vytvořené ochrany před přirozenými predátory a přisuzují toxické působení jiker kostlínů vedlejším účinkům.

Z ryb obývajících české vody uvádí Fuhrman (1974) s odkazem na hned několik autorů starší literatury jedovatost jiker především u štiky obecné *Esox lucius* Linnaeus, 1758. Toxicita byla zmíněna také u cejna velkého *Abramis brama* Linnaeus, 1758 a lína obecného *Tinca tinca* Linnaeus, 1758.

Toxicita jiker byla rovněž prokázána či zmíněna i u dalších druhů kaprovitých ryb. Fuhrman (1974) uvádí, že jikry parmičky středomořské *Barbus meridionalis* Risso, 1827 vykazují stejné toxické účinky, jako jikry parmy obecné. Berg (1905; cit. dle Fuhrman, 1974) uvádí silné toxické účinky jiker marinky křivočelé *Schizothorax curvifrons* Heckel, 1838 (dříve uváděné jako *Schizothorax intermedius* McClelland, 1842). Starší literatura také zmiňuje toxické účinky jiker marinky stříbřité *Schizothorax argentatus* Kessler, 1874. Zmíněné jikry, uchovávané v alkoholu, přestože byly důkladně omyté, působily letálně na laboratorní myši. (cit. dle Fuhrman, 1974). Kornalík (1967) uvádí u obou druhů rodu *Schizothorax* toxické účinky podobné účinkům popsaným u parmy obecné. Najafpour a Coad (2002) referují o ichthyotoxicitě jiker parmičky žluté *Carasobarbus luteus* (Heckel, 1843) a popisují případy otrav u člověka. Autoři uvádějí, že symptomy pacientů, které nastaly krátce po pozření, sestávaly mimo jiné z bolesti břicha, zvracení,

průjmu, cyanózy a žízně způsobenou dehydratací organismu. V jednom případě byla nutná pumpování žaludku.

Je nutné upozornit, že dle současné klasifikace jsou rody *Barbus*, *Carasobarbus* i *Schizothorax* řazeny do podčeledi Barbinae (Nelson a kol., 2016; Froese a Pauly, 2019b). Spolu s podobností toxických účinků a pozorovaných symptomů lze uvažovat o fylogenetickém původu toxinu a možné distribuci i u jiných druhů „parem“.

Ichthyokrinotoxické ryby

Indumathi a Khora, (2013) referuje o ichthyokrinotoxicitě čeledi havýšovitých (Ostraciidae), která je u této skupiny ryb hojně zastoupena. Havýši této čeledi v případě stresu skrze povrch těla uvolňují do okolí ostracitoxin (též pahutoxin), termostabilní, hemolytický ichthyotoxin. Toxickou látkou v kůži havýšů je cholin chlorid ester kyseliny 3-acetoxypalmitové a podobá se tak toxinům sumýšů (Holothuroidea) (Thomson, 1964; Indumathi a Khora, 2013). Ten má silné repelentní účinky na své predátory.

Krinotoxičtí jsou dále někteří platýsi, zejména jazyky rodu *Pardachirus*. Zástupci tohoto rodu syntetizují bílkovinný toxin, zvaný pardaxin. Tento jed je uložen jedových žlázách, nacházejících se v kůži a vyústujících v řadu pórů v bezprostřední blízkosti hřbetní, břišní a řitní ploutve na obou stranách těla (Jawad, 2018). Pardaxin je jazyky využíván ke dvěma účelům. Jak uvádí Clark (1974, cit. dle Jawad, 2018), pardaxin má odpuzující účinky vůči přirozeným predátorům, zároveň má dle Oren a Shai (1996) toxin funkci antibakteriální.

2.2 Parma obecná

2.2.1 Systematické zařazení

Dle současného taxonomického zařazení je parma obecná zařazena takto (Froese a Pauly, 2019c; Myers a kol., 2020)

Říše: Živočichové Animalia (Linnaeus, 1758)

Kmen: Strunatci Chordata Bateson, 1885

Podkmen: Obratlovci Vertebrata Cuvier, 1812

Třída: Paprskoploutví Actinopterygii Klein, 1885

Řád: Máloostní Cypriniformes Bleeker, 1859

Čeleď: Kaprovití Cyprinidae Rafinesque, 1815

Podčeleď: Barbinae Bleeker, 1859

Rod: *Barbus* Cuvier & Cloquet, 1816

Druh: Parma obecná *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758)

2.2.2 Popis druhu

Tělo parmy obecné má hydrodynamický (torpédovitý) tvar. Je protáhlé, po obvodu oválné s nízkým hřbetem (Obrázek 2). Rypec je protažený a typické je spodní postavení úst. Ústa jsou masitá se dvěma páry vousků. Trojřadé požerákové zuby mají vzorec 2.3.5-5.3.2, (Baruš a kol., 1995). Tělo pokrývají menší cykloidní šupiny a na boku se nachází úplná postranní čára. Počet šupin v postranní čáře je obvykle 58 – 62 (Hanel a Lusk, 2005). Břišní ploutve se nalézají v úrovni hřbetní ploutve, která je poměrně krátká. V prvním roce jsou juvenilní jedinci mramorově skvrnití (Baruš a kol., 1995; Hanel a Lusk, 2005; Polícar a kol., 2009). Zbarvení těla je olivově zelené s kovovým nádechem a světlým břichem, může se však různit podle prostředí obývaného toku či jeho úseku. Mahen (1929 – 1931, cit. dle Baruš a kol., 1995) uvádí parmy „bílé“, „hnědé“, „černé“, „zlaté“, „červené“, či „zelenavé“.



Obrázek 2: Parma obecná *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758). Foto: Lubomír Klátil. Převzato z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id15597/>.

Blízce příbuzným druhem je parmička středomořská, kterou lze odlišit podle delší řitní ploutve a nezesíleného a nezubného třetího paprsku hřbetní ploutve. Rovněž je tento menší druh parmy mramorově skvrnitý po celý život. (Gerstmeier a Romig, 2003).

Pohlavní dimorfismus parmy obecné je nevýrazný. Dubský a kol. (2003) zmiňují třetí vyrážku, která se vyskytuje u samců v období tření. Značné rozdíly se vyskytují v rychlosti růstu, zejména po druhém roce života. Samice disponují rychlejším růstem a tím i vyšší dosahovanou celkovou délkou (Hunt a Jones, 1975; Polícar a kol., 2009).

Dle Baruše a kol. (1995) dorůstá parma obecná až do velikosti 85 cm a hmotnosti vzácně i přes 10 kg. Jako nejstarší parmu zdokumentovanou v ČR uvádí Hanel a Lusk (2005) jedince ve věku 18 let, o délce 63 cm a hmotnosti 2,15 kg, uloveného na řece Moravici.

2.2.3 Rozšíření

Rod *Barbus* se podle Kottelat a Freyhof (2007) sestává z 25 druhů. Evoluční historii tohoto rodu se zabývali Machordom a Doadrio (2001). Sledováním sekvencí mitochondriálních genů zjistili diploidní, tetraploidní a hexaploidní druhy, rozšířené v palearktické, orientální a etiopské oblasti. V současné době jsou známé čtyři odlišné linie, které se od sebe oddělily již v období ve středního až pozdního pleistocénu (Kotlík a kol., 2004). Přibližně před 10 až 11 tisíci lety, tedy po skončení poslední doby ledové,

se pouze jedna z linií rozšířila do oblasti střední a západní Evropy, a to především díky schopnosti přežít ve stojatých vodách. Terofal (1997) uvádí, že v rámci Evropy se parma obecná nevyskytuje ve Skandinávii, Dánsku, Irsku a Skotsku (Obrázek 3). Populace parmy obecné, vyskytující se v různých povodích střední a západní Evropy, se považují za geneticky málo diferencované (Kotlík a Berrebi, 2001).



Obrázek 3: Mapa recentního výskytu parmy obecné *Barbus barbatus* (Linnaeus, 1758). Převzato z: Kottelat a Freyhof (2008).

2.2.4 Biologie a potrava

Parma obecná je bentopelagický reofilní druh, který je původní v ichtyofauně ČR. Obývá proudné úseky řek s kamenitým, šterkovým či písčítým dnem, bahnitým úsekům se vyhýbá. V některých případech se dokáže adaptovat v údolních nádržích, avšak s výtěrovými migracemi do přítoků (Baruš a kol., 1995). Důležité jsou optimální kyslíkové poměry. Juvenilní jedinci se často zdržují v hejnech, odrostlejší jedinci bývají spíše samotářští. Ve dne obývá silné proudy a potravně je aktivní zejména v noci (Müller a Müller, 1987). Je charakteristickým druhem pro tzv. parmové pásmo definované Prof. Dr. A. Fričem v roce 1891. Odtud však podniká protiproudové migrace do lipanového, či naopak cejnového pásma. Důvodem pro změnu stanoviště může být mimo jiné vyhledávání potravy, reprodukce nebo nevyhovující podmínky obývaného prostředí. Vzdálenosti, které během migrace parmy urazí, závisí na velikosti jedince, na přítomnosti výtěrového substrátu a charakteru toku. Tyto mohou být relativně krátké, od několika set

metrů či kilometrů, až po několik desítek kilometrů (Pivnička a kol., 2005). De Leeuw a Winter (2008) zmiňují třecí migrace v rozmezí 10 až 50 km.

Z hlediska potravních nároků lze parmy obecné řadit k oportunním zoobentofágům (Fiala a Spurný, 2001; cit. dle Policara a kol., 2009). Plůdek parem obecných se živí především zooplanktonem a jednobuněčnými řasami (Baruš a kol., 1995). Ve stravě odrostlejších jedinců převažuje živočišná potrava, dále makrofyta a perifyton, nechybí ani malé rybky a jikry ryb. Z živočišné potravy převažují larvy i dospělci hmyzu, zejména larvy chrostíků (Trichoptera), jepic (Ephemeroptera) a pakomárovitých (Chironomidae), menším podílem bývají zastoupeni máloštětinatí červi (Oligochaeta) pijavice (Hirudinea) a další (Adámek a Obrdlík, 1977; Losos a kol., 1980; cit. dle Piria a kol., 2005). Při příjmu bentické potravy efektivně využívají čtyři dlouhé hmatové vousky a protáhlý rypec k obracení kamenů (Baruš a kol., 1995).

2.2.5 Rozmnožování

Pohlavní dospělost nastává u samců (mlíčáků) ve (2) – 3 – 4 roce života při průměrné celkové délce 140 – 160 mm a hmotnosti 50 – 70 g. Samice (jikernačky) většinou dospívají o 1 – 2 roky později, při celkové délce 200 – 220 mm a hmotnosti 120 – 140 g. Jedinci větší než 330 mm bývají samice, samci dosahují většího věku jen velmi zřídka. Výtěr obvykle probíhá ve 2 – 3 dávkách při teplotě vod okolo 16 – 18 °C, tedy od května do začátku července. Substrátem jsou šterky a kameny (litofilní druh) a své jikry neukrývají, ani o ně nepečují. Jikry jsou tak přístupné pro potenciální predátory. Jikry jsou pouze mírně lepivé a velké 1,9 mm před a 2,9 mm po nabobtnání (Baruš a kol., 1995; Lajbner, 2004). Absolutní plodnost se u jikernaček o celkové délce 30-40 cm a hmotnosti 0,35-0,90 kg pohybuje od 12 300 do 35 500 kusů jiker, a to u všech (většinou 4) generací (Krupka 1987; Poncin a kol., 1996; cit. dle Lajbnera, 2004). V divokých populacích byla potvrzena přítomnost intersexuálních* a protandrických** jedinců. Feminizaci zaznamenali Peňáz a kol. (2005) a jako její příčinu uvádějí organické znečištění, respektive výskyt endokrinních disruptorů ve vodním prostředí, které má za následek zvýšenou hladinu hormonu vitellogeninu v krevním séru. Přítomnost oocytů v *testes* samce parmy obecné zjistili také Vrecl a Jenčič (2016).

Hybridizace je snadná s blízkou příbuznou parmičkou středomořskou, vzácně pak i s parmou karpatskou *Barbus carpathicus* Kotlík, Tsigenopoulos, Ráb a Berrebi, 2002 (Valenta a kol., 1979; cit. dle Lajbnera a kol., 2009; Berrebi a kol., 1993).

* Intersexualita: stav, projevující se přítomností pohlavně nevyhraněného pohlavního orgánu přechodného typu a často indikuje pohlavní zvrát u druhů, u kterých hermafroditismus není znám (Baruš a kol., 1995).

** Protandrie: stav, kdy se během života původně vyvinutý samčí pohlavní orgán přetváří v samičí pohlavní orgán (Devlin a Nagahama, 2002)

2.2.6 Ohrožení a ochrana

Lusk (1996) upozornil na snižující se stav populací parmy v tocích na Moravě v letech 1968 až 1992. Zvláště hluboký pokles (až o 2/3) byl zaznamenán na řece Jihlavě, Oslavě, Svatce, Svitavě a Rokytné. V roce 1950 bylo uloveno celkem 38 000 kusů parem o celkové hmotnosti 35,6 tun. V roce 2019 bylo na pstruhových i mimopstruhových revírech ČRS a MRS uloveno pouze 889 jedinců o hmotnosti 1,74 tuny (Lusk, 1996; Český rybářský svaz, 2019). Nutno však podotknout, že zmíněná data vycházejí z úlovků ponechaných ryb a nezahrnují jedince vrácené zpět do vody. Mezi hlavní příčiny nízkého stavu bývají nejčastěji označovány antropogenní vlivy, ať už v souvislosti se zánikem přirozených habitatů či migrační prostupností. Také znečištění má na abundanci parem v tocích významný vliv. Zatímco Losos a kol. (1980) uvádí, že v některých případech se antropogenním vlivům, včetně znečištění, adaptovala dobře, novější studie poukazují na jejich negativní působení. Nadměrné hromadění toxických látek, např. rtuti a jejich sloučenin, v tělních tkáních, zaznamenali u parmy obecné Peňáz a kol. (1979; cit. dle Baruše a kol., 1995). Parma obecná je dle Vindimiana a kol. (1991) druhem citlivým ke znečištění. Hugula a kol. (1995) uvádí negativní účinky polychlorovaných bifenyly (PCB) ve vztahu k reprodukci a popisuje parmu jako vhodný bioindikační druh. Sunjog a kol. (2012) popisuje na parmách genotoxické účinky těžkých kovů a pro vyšší senzibilitu uvádí k biomonitoringu vhodnější především mladší jedince.

Zásadními mohou být pro už tak nízké stavy populací parem obecných rybožraví predátoři, zejména zimující hejna kormoránů velkých *Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758) (Santoul, 2005).

Z hlediska legislativy ČR o parmě obecné pojednává zákon 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny a jeho prováděcí vyhláška 166/2005 Sb., Parma obecná je zde zařazena do přílohy C, tedy k druhům, jejichž odebírání z volné přírody a využívání může být předmětem určitých opatření na jejich obhospodařování.

2.2.7 Toxicita

Parma obecná je mimo jiné známa pro svou pasivní toxicitu, jež u lidí vyvolává gastrointestinální syndrom známý jako parmová cholera (Ivan a kol., 2018). Halstead (1967; cit. dle Jawad, 2018) uvádí, že zmínky o jedovatosti jiker parmy obecné sahají až do 15. století. Von Siebold (1863; cit. dle Baruše a kol., 1995) píše, že jikry parmy obecné způsobují strávníkovi zvracení a průjem a dále dodává, že i přes neustálé varování se v jejich požívání pokračuje.

Příčinou je údajně jed cypridin (někdy také nazýván cyprinidin), jehož otravy jsou známy z různých zemí Evropy a Asie (Kůrka a Pfleger, 1984).

Ačkoli je na parmu obecnou jako „jedovatou“ rybu pohlíženo již po staletí, chemická povaha zmíněného cypridinu stále není jednoznačně objasněna. Podle Sysové (2001) cypridin s největší pravděpodobností patří do skupiny ichtyotoxinů a připisuje jedu lipoproteinovou povahu. Autorka dále uvádí, že polévka, která způsobila „parmovou cholera“ u jedné z pacientek, byla předložena laboratorním myším. Všechny myši po požití polévky uhynuly, a to i po jejím opětovném převaření. Autorka dle toho uvažuje o termostabilním toxinu. Ivan a kol. (2018) uvádí, že pouze neoplozené jikry vykazují spojitost s intoxikacemi.

Mancini a kol. (2011) zkoumali chemickou povahu toxinu jiker parmy obecných (pomocí kombinace techniky LC–ESI MS/MS a NMR spektroskopie) a jako látku způsobující toxické účinky uvádějí specifickou směs polynenasycených mastných kyselin (PUFA). Hlavními složkami, odpovědnými za toxicitu parmy obecných, jsou podle zmíněných autorů kyseliny eikosapentaenová (EPA) 20:5(n-3) a arachidonová (ARA) 20:4(n-6), které jsou spolu s kyselinou dokosaheptaenovou (DHA) 22:6(n-3) v rámci 25 identifikovaných druhů mastných kyselin (C14:0 – C24:5) zastoupeny v jikrách parmy obecné největším podílem (ARA 17 %; DHA 13,8 %; EPA 6,8 %). Mancini a kol. (2011) tak usuzují i na základě výsledků Takagi a kol. (1984), kteří vyšetřili efekt intraperitoneální injekce, složené převážně z volných nenasycených mastných kyselin (s podílem EPA 27,4 %) hřebenatky *Patinopecten yessoensis* (Jay, 1857), s letálním účinkem na laboratorní myši. Výsledky zmíněných autorů ukázaly, že nenasycené mastné kyseliny působí na laboratorní myši 8krát jedovatěji, než nasycené mastné kyseliny. Hemolytické účinky EPA zmiňují Fu a kol. (2004). Přes nezpochybnitelné blahodárné

účinky polynenasycených mastných kyselin na lidské zdraví, jejich množství a specifický poměr může v některých případech vyvolat intoxikaci (Mancini a kol., 2011).

Množstvím tuku a složením mastných kyselin ve svalovině parmy obecné na Dunaji se zabývali Ljubojevic a kol. (2013). Zmínění autoři uvádějí obsah tuku ve filetech parmy obecné na úrovni $7,75 \% \pm 0,15$ u jedince o hmotnosti 870 gramů a dále analyzovali zastoupení celkem 21 mastných kyselin (Tabulka 1) Z výsledků je vhodné uvést obsah ARA a DHA na úrovni pouze 1,48 % a 5,55 %. Je tedy patrné, že složení mastných kyselin ve svalovině parmy obecné se na rozdíl od téhož složení v jikrách nepochybně liší. To může být důvodem intoxikace pouze v případě požití jiker, nikoliv masa parmy obecné.

Tabulka 1: Složení mastných kyselin parmy obecné *Barbus barbuis* (Linnaeus, 1758), ulovené na Dunaji. Převzato z Ljubojevic a kol. (2013), upraveno. MK – mastná kyselina; SFA – nasycená mastná kyselina; MUFA – mononenasycená mastná kyselina; PUFA – polynenasycená mastná kyselina.

MK	Podíl (%)	MK	Podíl (%)	MK	Podíl (%)
C8:0	0	C18:3 ω -3	$3,35 \pm 0,19$	SFA	$28,63 \pm 0,27$
C14:0	$4,16 \pm 0,07$	C20:0	$0,15 \pm 0,04$	MUFA	$45,27 \pm 0,30$
C15:0	$0,70 \pm 0,08$	C20:1	$1,68 \pm 0,16$	PUFA	$26,31 \pm 0,27$
C16:0	$19,45 \pm 0,19$	C20:2	$0,50 \pm 0,03$	ω -6	$8,65 \pm 0,13$
C16:1	$15,96 \pm 0,13$	C20:3 ω -6	$0,27 \pm 0,08$	ω -3	$17,66 \pm 0,18$
C17:0	$0,95 \pm 0,09$	C20:3 ω -3	$0,50 \pm 0,07$	ω -3/ ω -6	$2,04 \pm 0,03$
C18:0	$3,22 \pm 0,15$	C20:4 ω -6	$1,48 \pm 0,06$	ω -6/ ω -3	$0,49 \pm 0,01$
C18:1cis-9	$20,24 \pm 0,21$	C20:5 ω -3	$5,41 \pm 0,10$	PUFA/SFA	$0,92 \pm 0,01$
C18:1cis-11	$7,38 \pm 0,11$	C22:5 ω -3	$2,85 \pm 0,10$	USFA/SFA	$2,5 \pm 0,03$
C18:2 ω -6	$6,23 \pm 0,12$	C22:6 ω -3	$5,55 \pm 0,09$		
C18:3 ω -6	$0,17 \pm 0,04$				

Údaje o distribuci cypridinu v těle parmy obecné nejsou prozatím ucelené. Ve všech dostupných zdrojích autoři referují o jedovatých jikrách. Sysová (2001) zmiňuje toxicitu vnitřností bez bližší specifikace. Kornalík (1967) pojednává o jedovatosti především jiker a mlíčí, dále pak masa a vnitřnostech. Kůrka a Pflieger (1984) zmiňují též toxicitu krve

v období tření. De Haro a kol. (1998; cit. dle Mancini a kol., 2011) popisují 14 případů intoxikace ze dvou toxinologických (Anti-poison) center za dobu 18 let, kdy došlo k otravě osob po požití jiker parmy obecné, zatímco osoby, které jedly pouze maso, příznaky otravy nevykazovali. Otrava se projevila 3 hodiny po požití, trvala 6 – 36 hodin a byla provázena zvracením, průjmem a bolestí břicha. Kornalík (1967) dále uvádí záchvaty kolikovitého rázu, provázené průjmovitými hlenovými až vodovými stolicemi. Toxinem je také postižen nervový systém a krevní oběh. Pacient lehce upadá do kolapsu, je malátný, má slabý, nitkovitý puls a dilatované zornice. Najafpour a Coad (2002) zmiňují další příznaky, jako intenzivní žízeň, cyanóza a celková slabost. Pacient upadá v těžkých případech do šoku, hlášena byla i úmrtí. Léčba postiženého pacienta je pouze symptomatická.

3 Materiál a metodika

3.1 Experimentální organismy

V průběhu řešení bakalářské práce byly použity jikernačky (samice) parem obecných, v různém stupni připravenosti k reprodukci. Jejich tkáně, přirozeně ovulované jikry a plůdek byly předkládány předpokládaným predátorům rybích jiker a plůdku, potažmo dekompozitorům ryb. Konkrétně se jednalo o zástupce řádu různonožců (Amphipoda) – blešivce ježatého *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), řádu desetinožců (Decapoda) – raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko, 2017 a čeledi hlaváčovitých ryb (Gobiidae) hlaváče černoústého *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814). Tito zástupci různých taxonomických skupin se na území ČR prokazatelně vyskytují a jsou považováni za invazivní.

3.1.1 Parma obecná

K testu byly použity jikernačky parem obecných pocházející z chovu Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického (dále jen VÚRH) ve Vodňanech. Vztah toxicity a původu parem obecných nebyl prozatím studován, není tedy zřejmé, zda tato souvisí s nástupem reprodukční zralosti, nebo je nějak získána z prostředí (předpokládáme skrze příjem přirozené potravy). Z toho důvodu byly do experimentů zahrnuty jak jikernačky chované extenzivně ve venkovních podmínkách (experimentálních rybníčcích), tak i jedinec chovaný intenzivním způsobem v kontrolovaných podmínkách recirkulačního systému (dále jen RAS). Jedinci parem obecných z volných vod nebyly k testům použity, a to z důvodu jejich aktuální nedostupnosti. K testům byly použity tři exempláře pohlavně dospělých parem obecných, konkrétně dva exempláře jikernaček ve vrcholné fázi přípravy k reprodukci (dále jen „zralé“) a jeden exemplář k reprodukci nepřipravené jikernačky (dále jen „nezralé“).

3.1.2 Blešivec ježatý

Blešivec ježatý (Obrázek 4) je bentický korýš, patřící do řádu různonožců (Amphipoda). Samci tohoto druhu dosahují délky až 30 mm (Nesemann a kol., 1995). Obývá toky s pomalým prouděním, a to v celém příčném profilu. Vyskytovat se může také v přilehlých stojatých vodách. Zatímco mladí jedinci se podle Devin a kol. (2003) zdržují mezi kořeny ponořených makrofyt, Schönborn (2013) popisuje jeho výskyt mezi kameny. Petrušek (2006) ho definuje jako druh velmi adaptabilní. Je tolerantní k nízkým

obsahům ve vodě rozpuštěného kyslíku, charakteru dna, teplotě a salinitě vody. Jedná se o dravý a velmi agresivní druh. Dokáže ulovit a pozřít různé larvy hmyzu, stejnonožce či jiné druhy blešivců. Je schopen konzumovat rybí jikry, byly též popsány útoky na malé rybky a larvální stádia (Casellato a kol., 2007), což podpořilo vhodnost blešivce ježatého pro tyto experimenty. V České republice i většině Evropy se jedná o druh invazivní, jehož původním areálem výskytu jsou brakické vody a spodní úseky řek pontokaspické oblasti (Nesemann a kol., 1995). Jak uvádí Bij de Vaate a kol. (2002), jeho šíření do střední Evropy značně usnadnily plavební kanály spojující povodí řek různých úmoří. V ČR je evidován jeho výskyt na Labi (Starcová, 2003; Špaček a kol., 2003), poté byl zaznamenán také na Vltavě (Berezina a Ďuriš, 2008).

Blešivci použítí do experimentu byli odloveni pomocí sítěk na řece Labi. Jedinci použítí k testům toxicity palem obecných chovaných v RAS byli odloveni v Černěvsi u Roudnice nad Labem dne 27. 4. 2018. Jedinci použítí k testům toxicity palem obecných chovaných v experimentálních rybníčních podmínkách byli odloveni v Ústí nad Labem dne 6. 5. 2018.



Obrázek 4: Blešivec ježatý *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894) – samice s několika uvolněnými vajíčky. Foto: Lukáš Jurek. Převzato z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id25506/>.

3.1.3 Rak mramorovaný

Rak mramorovaný (Obrázek 5) se řadí k menším až středně velkým druhům raků. Celková délka těla (dále jen CD) jen zřídka přesahuje 10 cm a délka života se pohybuje okolo 2 – 3 let (Vogt, 2010). Růst raka mramorovaného je rychlý a pohlavní dospělost nastává již ve věku několika měsíců. Podobně jako u jiných druhů, ani v jeho pestré stravě nechybí larvální či embryonální stádia ryb (Dorn a Mittelbach, 1999). Populace tohoto druhu se rozmnožuje tzv. apomiktickou partenogenezí (Scholtz a kol., 2003) a je tvořena výlučně triploidními samicemi (Vogt a kol., 2015; Martin a kol., 2016). Jeho celosvětová populace je pravděpodobně jediným klonem (Gutekunst a kol., 2018). Přes úzkou příbuznost se severoamerickým *Procambarus fallax*, za jehož formu byl donedávna považován, se jedná se o druh, jehož původní areál není doposud znám (Lyko, 2017). V České republice zaznamenali jeho výskyt Patoka a kol. (2016) na dvou lokalitách, a to ve vodách poblíž městských aglomerací. Další nález byl evidován v tůni na Radovesické výsypce nedaleko Bíliny (AOPK ČR, 2019).

Kromě ČR byly v rámci Evropy stabilní populace raka mramorovaného zaznamenány v Německu, Chorvatsku, Maďarsku, Ukrajině, Estonsku, Rumunsku a na Slovensku. Byli evidováni také v Nizozemsku, Švédsku a Itálii, kde je jednalo pouze o jednotlivce a vývoj tamních populací není prozatím znám (Hossain a kol., 2018).

Stejně jako řada jiných nepůvodních druhů je rak mramorovaný potenciálním přenašečem račího moru (Keller a kol., 2014). Raci mramorovaní využití v experimentu pocházeli z laboratorního chovu VÚRH ve Vodňanech.



Obrázek 5: Rak mramorovaný *Procambarus virginalis* Lyko, 2017. Foto: Klaus Rudloff. Převzato z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id897308/>.

3.1.4 Hlaváč černoústý

Hlaváč černoústý (Obrázek 6) je ryba z řádu ostnoploutvých (Perciformes), čeledi hlaváčovitých (Gobiidae). Dorůstá do délky až 25 cm, většinou však méně. Vyhovujícím habitatem jsou pro něj členité části toků s kamenito-písčítým dnem, kamenné záhozy a skalní útvary (Ray a Corkum, 2001; Corkum a kol., 2004), které jim poskytují nejen potravu, ale také úkryty a reprodukční substrát. Potravu hlaváčů tvoří široká skupina bentických organismů, mezi nimiž nechybí ani jikry a raná stádia rybího plůdku (Chotkowski a Marsden, 1999; Steinhart a kol., 2004; Fitzsimons a kol., 2006; Gebauer a kol., 2018).

V rámci ichtyofauny ČR se jedná o nepůvodní druh. Přírodním areálem výskytu hlaváče černoústého jsou sladké, brakické i slané vody Pontokaspické oblasti (Demchenko a Tkachenko, 2017). Do Baltského moře a následně do evropského vnitrozemí se dostal pravděpodobně balastní vodou nákladních lodí již koncem 20. století (Sapota a Skóra, 2005). Jeho invazi podpořila vysoká tolerance k různým životním podmínkám a velmi efektivní reprodukční strategie. Tomczak a Sapota (2006) popisují porcionální výtěr hlaváče černoústého v pěti až šesti cyklech během celé vegetační

sezóny s intervalem 17 – 28 dní. V České republice byl výskyt hlaváče černoústého poprvé zaznamenán v roce 2008 na soutoku Moravy a Dyje (Lusk a kol., 2010). Odtud se rozšířil proti proudu až k jezu v obci Lanžhot v případě řeky Moravy (2011) a k obci Bulhary v případě řeky Dyje (2012) (Šlapanský a kol., 2017). V roce 2015 byl hlaváč černoústý objeven také na horním toku Labe v Ústí nad Labem, kam se dostal pravděpodobně prostřednictvím balastní vody z lodní dopravy (Buřič a kol., 2015; Roche a kol., 2015).

Do budoucna lze předpokládat další expanzi hlaváče na území ČR, včetně koexistence s parmou obecnou. Příklad takové sympatrie popisují Cerwenka a kol. (2017), kteří zjistili vztah negativní korelace v abundanci těchto druhů na horním toku Dunaje. Podle ústního sdělení vedoucího této práce se vzájemná koexistence různých věkových kategorií parem obecných a hlaváčů černoústých nachází i na řece Labi.

Jedinci použítí do testu byli odloveni pomocí sítěk a elektrického agregátu na řece Labi v Ústí nad Labem dne 11. 5. 2018.



Obrázek 6: Hlaváč černoústý *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814). Foto: Martin Chytrý. Převzato z: <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id54939/>

3.2 Design testu

Pokus proběhl v květnu 2018 na Experimentálním rybochovném pracovišti a pokusnictví VÚRH ve Vodňanech. Cílem experimentální práce bylo odhalit možné toxické účinky palem obecných na pokusné organismy, jež by se projevíly jejich úhynem nebo schopností toxin detekovat a případně se mu při příjmu potravy vyhnout.

Byla provedena paleta testů „toxicity“, ve které byly pokusným organismům předloženy přirozeně ovulované jikry, váčkový plůdek, dále hřbetní svalovina a „vnitřnosti“ (byl použit hepatopankreat a vaječníky s neovulovanými jikrami), a to z důvodu nejasné distribuce případného toxinu v těle palem obecných. Tyto testy proběhly ve dvou sériích, lišících se podmínkami, v nichž byly parmy chované. K první sérii testů byl použit jedinec chovaný v RAS, k druhé sérii jedinec chovaný v extenzivně v experimentálních rybníčních podmínkách. Důvodem je nejasný původ případného toxinu ve tkáních palem obecných, respektive její možný příjem potravou.

Druhým typem realizovaného testu byl behaviorální test, prostřednictvím kterého byla sledována schopnost detekce případného toxinu ve svalovině palem obecných potenciálními predátory – raky mramorovanými. Z důvodu v literatuře uvedené vazby toxinu na období reprodukce, v testu byl porovnán rozdíl v preferenci raka mramorovaného ke svalovině pohlavně dospělých jikernaček palem obecných v různé fázi přípravy k reprodukci. Test byl realizován jako výběrovost raka mramorovaného mezi svalovinou „zralé“ a „nezralé“ jikernačky parmy obecné, hodnocenou podílem času stráveného předpokládanou konzumací a výpočtem zkonzumovaného množství. Vzhledem k tomu, že množství testů bylo podmíněno dostupností palem obecných, respektive jejich tkání, jiker a plůdku, stejně tak dostupností pokusných organismů, nebyl experiment realizován v celém druhovém spektru. Kompletní výčet provedených testů je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2: Přehled uskutečněných testů „toxicity“ a testů behaviorálních. Zkoumanými organismy či tkáněmi se staly jikry (J), plůdek (P), svalovina (S) a vnitřnosti (V) parmy obecné. Demonstrativními predátory se pro účely testu stali blešivci ježatí, raci mramorovaní a hlaváči černoústí. ✓ – realizovaný test; ✓✓ – realizovaný test ve dvou opakováních; X – neuskutečněný test).

	Testy toxicity								Behaviorální test
	Parmy obecné z intenzivního chovu (RAS)				Parmy obecné z extenzivního chovu (experimentální rybníčky)				Výběrovost svaloviny mezi zralou a nezralou jikernačkou
	J	P	S	V	J	P	S	V	S
Blešivec ježatý	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	X
Rak mramorovaný	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓✓
Hlaváč černoústý	X	X	X	X	X	X	✓	✓	X

3.2.1 Testy „toxicity“

V těchto testech byly pokusným organismům jako potrava předloženy tkáně parem obecných, jejich jikry a plůdek. Tyto „potrav“ byly pro účel testu předloženy vždy v nadbytku s ohledem na možný příjem konkrétního druhu. Sledováno bylo letální působení této potravy na predátory. Počet jedinců pokusných organismů nasazených do testu byl stanoven na 10 u blešivců ježatých a raků mramorovaných, hlaváči černoústí byli nasazeni v počtu 7 kusů.

Všechny testy toxicity započaly dvoudenním lačněním a minimálně 6hodinovou aklimatizací na podmínky experimentu. Jedinci blešivce ježatého a raka mramorovaného byli individuálně rozmístěni do plastových boxů o vnitřních rozměrech 18 × 13 × 7,5 cm (délka × šířka × výška) s objemem vody 500 ml. Jedinci hlaváče černoústého byli jednotlivě umístěni do větších boxů o vnitřních rozměrech 26 × 17 × 7,5 cm s objemem vody 1000 ml. Použité plastové boxy byly kryté víkem a po stranách z velké části přelepeny neprůhlednou izolační páskou. Díky tomu se docílilo minimalizace stresu pokusných organismů, nebyla však výrazně narušena přirozená fotoperioda. Do boxů nebyly přidány žádné úkryty ani jiné předměty, rovněž do nich nebyla zavedena aerace. Experimenty probíhaly při teplotě 18 ± 0,5 °C, přehled přesných teplot, naměřených v rámci jednotlivých experimentů je uveden v příloze 1. Počet předložených jiker a plůdku byl vždy stanoven na 30 ks pro raky a 10 ks pro blešivce. Pro hlaváče byly tkáně nakrájeny na malé kousky. Jedinci raků a blešivců ve fázi před i po svlékání byli při před

počátkem všech testů odseparování a nahrazení, neboť jak uvádí Reynolds (2002), tento fyziologicky náročný proces mimo jiné významně ovlivňuje příjem potravy. Během celého experimentu byla použita odstátá, pitná voda. Expozice potravě trvala 24 hodin.

Hodnoceným parametrem byla mortalita, v případě jiker a plůdků i počty zkonsumovaných kusů. Dále byla zaznamenána teplota pomocí dataloggeru Minikin (EMS Brno) ve čtyřhodinových intervalech. Po uplynutí 24 hodin při expozici potravě následovala výměna celého objemu vody. Jelikož není známý interval, po kterém by se u poiklotermních živočichů měly projevit příznaky případné otravy, byla pokusná zvířata pozorována po následující dva dny. Poté byly získány biometrické údaje experimentálních organismů. Hmotnost byla zjištěna prostřednictvím analytických vah KERN ABT 220-4M. U blešivců byla hmotnost zjištěna s přesností 0,001 gramu. U raků byla zaznamenána hmotnost s přesností 0,01 gramu a délka karapaxu (DK) s přesností 0,1 milimetru. V případě hlaváčů byla zaznamenána hmotnost s přesností 0,01 gramu a délka těla (DT) s přesností 0,1 milimetru. Všechny tyto parametry, včetně teploty vody během testu, jsou vyjádřené jako průměr \pm směrodatná odchylka (rozmezí). Přehled zjištěných hmotností experimentálních živočichů je uveden v tabulce 3. Přehled naměřených délek je zaznamenán v příloze 2.

Tabulka 3: Zjištěné hmotnosti (g) pokusných organismů v testech toxicity. Zkoumanými organismy či tkáněmi se staly jikry (J), plůdek (P), svalovina (S) a vnitřnosti (V) parmy obecné. Demonstrativními predátory se pro účely testu stali blešivci ježatí, raci mramorovaní a hlaváči černoústý. ? – biometrické údaje nejsou známy; X – neuskutečněný test).

Testy „toxicity“							
Biometrie parem	Parmy z intenzivního chovu (RAS)				Parma z extenzivního chovu (experimentální rybníčky)		
	„Zralé“ jikernačka ?		Nezralá jikernačka Hmotnost 1060 g		Zralá jikernačka Hmotnost 361 g		
Biometrie potrav	J Velikost (po nabobtnání) 2,45 – 2,75 mm Ø hmotnost 0,01 g	P Rozmezí délky 8,06 – 9,27 mm Ø hmotnost 0,01	S ?	V ?	J Velikost (po nabobtnání) 2,45 – 2,75 mm Ø hmotnost 0,01 g	S ?	V ?
Blešivec ježatý (g)	0,09 ± 0,037 (0,038 – 0,152)	0,11 ± 0,039 (0,060 – 0,180)	0,09 ± 0,052 (0,027 – 0,170)	0,12 ± 0,039 (0,042 – 0,162)	0,11 ± 0,030 (0,06 – 0,15)	0,09 ± 0,028 (0,05 – 0,13)	0,10 ± 0,042 (0,05 – 0,17)
Rak mramorovaný (g)	2,63 ± 0,395 (2,00 – 3,10)	2,51 ± 0,722 (1,6 – 3,9)	2,17 ± 0,44 (1,5 – 2,8)	2,74 ± 0,406 (2,0 – 3,2)	2,53 ± 1,060 (1,42 – 4,59)	2,042 ± 0,439 (1,65 – 2,86)	2,497 ± 0,686 (1,83 – 3,57)
Hlaváč černoústý (g)	X	X	X	X	X	2,25 ± 1,311 (1,11 – 4,53)	2,68 ± 1,380 (0,93 – 4,29)

Test toxicity jiker

Tento test proběhl ve dvou sériích, a to na parmách obecných z RAS i rybničního chovu. Použité jikry pocházely od přirozeně ovulujících jikernaček a byly získané prostřednictvím umělého výtěru. Test proběhl u blešivců ježatých a raků mramorovaných.

Test toxicity plůdku

Tento test proběhl pouze v jedné sérii a byl k němu použit plůdek jikernaček původem z RAS. Plůdek parmy obecné byl získán odchovem přirozeně ovulovaných jiker. Pokusnými organismy tohoto testu se stali blešivci ježatí a raci mramorovaní.

Test toxicity svaloviny

Tento test proběhl ve dvou sériích, tedy se svalovinou jedince chovaného v RAS i experimentálním rybničním zařízení. K testu byli použiti jedinci blešivců, raků a v případě svaloviny parmy obecných z rybničního chovu také hlaváčů černoústých. Všem pokusným organismům byl přidělen nadbytek hřbetní svaloviny bez kůže.

Test toxicity vnitřností

Tento test proběhl ve dvou sériích, tedy na parmách obecných z RAS i rybničního chovu. Test s parmou obecnou, chovanou v RAS, proběhl na blešivcích a racích. Pro test parmy obecné, chované v rybničních podmínkách, byli jako pokusné organismy použiti též blešivci ježatí, raci mramorovaní a hlaváči černoústí.

3.2.2 Behaviorální test výběrovosti svaloviny parmy obecné

Záměr a design testu

Záměrem tohoto testu bylo poodhalit, zda je zmíněná toxicita vázána na pohlavní dospělost parmy obecných či nikoliv, resp. zda jsou raci mramorovaní schopni možnou přítomnost takového toxinu detekovat a zohlednit v rámci své potravní výběrovosti. V testu byly použity svaloviny dvou samic parmy obecné lišící se velikostí, původem (podmínkami chovu) a připraveností k reprodukci. Jejich svaloviny - svalovina „zralé“ (Z) a „nezralé“ (NEZ) jikernačky parmy obecné, byly rakům mramorovaným předkládány tak, aby bylo ve výsledcích zachyceno jejich potravní chování (jako možná reakce na případný toxin) tj. preference typu masa (Z/NEZ) nebo zda jsou raci mramorovaní konkrétní typ masa vůbec schopni přijmout (Z/Z; NEZ/NEZ). Sledována byla náhodnost výběru raka mramorovaného při expozici svalovině odlišného původu

(skupina Z/NEZ – rozdíl mezi výběrem Z a NEZ) i svalovině původu stejného (skupina Z/Z a NEZ/NEZ – rozdíl mezi výběrem masa umístěného na levé (L) nebo pravé (P) straně během testu, dále značeno Z-L, Z-P, NEZ-L, NEZ-P). Výsledky byly hodnoceny jako čas strávený předpokládanou konzumací (tedy čas zaznamenaný kamerou, který rak mramorovaný strávil v blízkosti masa v pozorované snaze maso pozřít) svaloviny „zralé“ nebo naopak „nezralé“ jikernačky parmy obecné za pomoci kamery. Zároveň byl vyhodnocen podíl zkonzumované tkáně u obou typů svaloviny jejím zvážením před/po expozici a odečtením průměrné hydratace svaloviny, a to v poměru k hmotnosti předloženého kusu svaloviny a v poměru hmotnosti těla raka mramorovaného. Pokus proběhl ve dvou sériích se šesti opakováními pro každou kombinaci.

Příprava a podmínky testu

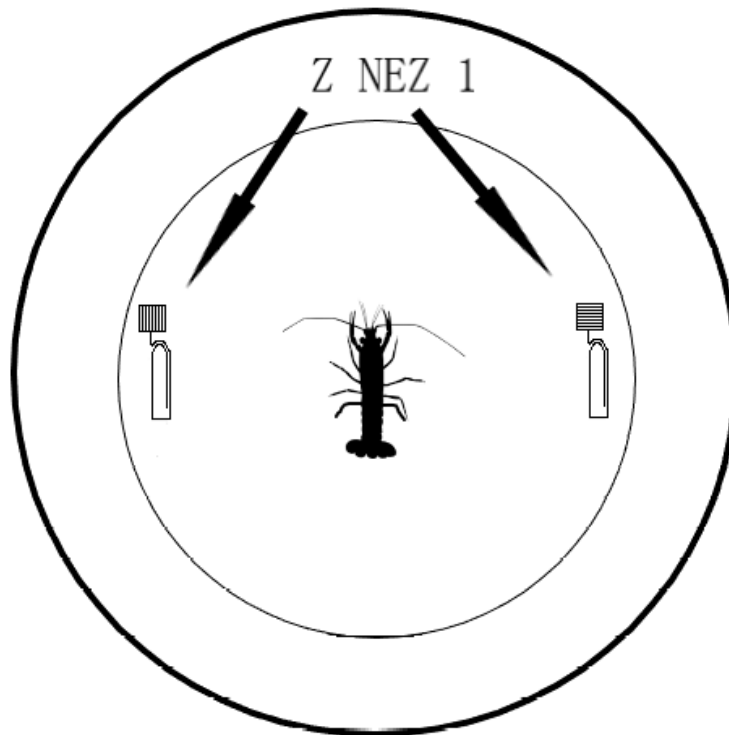
První samici použitou k testu byla jikernačka s plně vyvinutými gonádami ve vrcholné fázi přípravy na výtěr (Z) o celkové délce 399 mm (DT 342 mm) a hmotnosti 750 g., pocházející z chovu v experimentálním rybničním zařízení. Druhou se stala k reprodukci nepřipravená jikernačka (NEZ) o celkové délce 471 mm (DT 392 mm) a hmotnosti 1060 g., chovaná v RAS.

Pokus proběhl v kruhových kuchyňských miskách s vnitřním průměrem 22 cm v polovině její výšky a hloubkou 10 cm. Do každé nádoby byly předem upevněné 2 ohnuté kancelářské sponky. Tyto sponky byly umístěny na rovné dno co nejdále od sebe. Dále bylo do každé misky nasypáno 100 ml písku a nalito 1000 ml odstáté pitné vody. Na každou sponku byla napíchnuta porce hřbetní svaloviny s kůží bez šupin o průměru $1,51 \text{ g} \pm 0,29$ (1,11 – 2,27), tedy vždy velikostně v nadbytku ve vztahu k její předpokládané konzumaci rakem mramorovým. Každá miska byla označena písmeny a číslem. Písmena udávala původ svaloviny (Z – zralá jikernačka; NEZ – nezralá jikernačka), číslo označovalo pořadí misky (1 – 6 v každém opakování). Schéma misky s umístěnou potravou a rozmístění misek během experimentu je zobrazeno níže (obrázky 7 a 8).

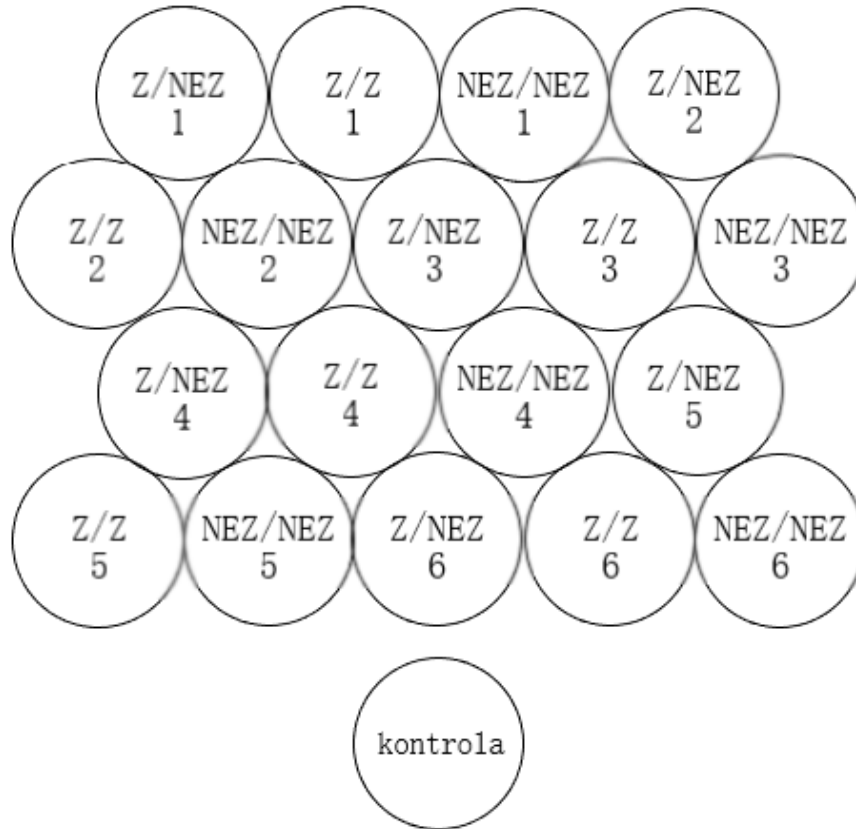
Před počátkem testu byli raci, kteří nevykazovali známky svlékání, individuálně rozmístěni do středu misek a zakryti plastovou krabičkou, která znemožňovala jejich výraznější pohyb do stran, zároveň však umožňovala jejich aklimatizaci na fyzikální a chemické parametry vody. Aklimatizace trvala 5 minut, poté byly krabičky vyjmuty. Schéma označení misek a jejich rozmístění je znázorněno na obrázcích 7 a 8.

Průměrná hydratace svaloviny - kontrola

Účelem kontroly bylo zjištění průměrné změny hmotnosti porce (hydratace) svaloviny za daný čas. Ta se mění následkem vyrovnávání osmotického tlaku mezi vodou (hypotonické prostředí) a svalovinou (hypertonické prostředí), jde tedy o navyšování hmotnosti v důsledku přirozeného vstřebávání vody do svaloviny (Kirschner 1991, cit dle Dvořáka a kol., 2014). Kontrola sestávala vždy z 5 kostiček svaloviny od obou jedinců. Přehled zjištěných průměrných hydratací svaloviny je uveden v tabulce 4.



Obrázek 7: Schéma rozmístění svaloviny na kancelářských sponách v misce během pokusu (pohled shora). Označení mísky: Z – označení svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné; NEZ – označení svaloviny „nezralé“ jikernačky parmy obecné; 1 – označuje číslo mísky. Autor siluety raka: Kamil S. Jaron., upraveno.



Obrázek 8: Schéma rozmístění misek během pokusu. Označení misky: Z – označení svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné; NEZ – označení svaloviny „nezralé“ jikernačky parmy obecné; číslice 1 - 6 označují číslo misky; kontrola – zjištění průměrné hydratace obou typů svaloviny.

Průběh testu

Vlastní experiment trval 60 minut. Raci při něm byli ponecháni v odhlučněné místnosti s menším přístupem světla, z důvodu minimalizace stresu. Rovněž při pokusu nebyli rušeni přítomností osob. Ke sledování byla použita kamera (Sony HDR-CX240, Sony, Japonsko). Z videozáznamu byl stanoven přesný čas, strávený u každého typu svaloviny. Tento čas poté demonstroval předpokládaný interval konzumace konkrétní svaloviny. Během pokusu byla měřena teplota pomocí dataloggeru Minikin s přesností 0,01 °C v hodinových intervalech.

Pro vytvoření odhadu zkonzumovaného množství byla každá porce svaloviny přesně zvážena laboratorní váhou před testem (w_1) i po jeho proběhnutí (w_2). Zároveň byla zjištěna a ke každému vzorku přičtena průměrná hydratace svaloviny pro obě skupiny („zralé“ i „nezralé“ jikernačky parmy obecné) i opakování. Poté byla tato hodnota porovnána s hmotností na konci pokusu. Pro zpřesnění výpočtem odhadnuté hydratace

svaloviny byla k výpočtu použita také všechna raky mramorovanými netknutá masa. Výsledný odhad konzumace byl poté stanoven jako úbytek hmotnosti na konci pokusu v porovnání s hmotností původní obohacenou o hydrataci.

Odhad množství zkonsumované svaloviny raky mramorovanými bylo vypočítáno dle následujícího vzorce:

$$(w_1 + \emptyset \text{ hydratace svaloviny}) - w_2 = \text{odhad množství zkonsumované tkáně}$$

w_1 : hmotnost svaloviny před počátkem testu

w_2 : hmotnost svaloviny po ukončení testu

\emptyset hydratace svaloviny: průměrné navýšení hmotnosti svaloviny v důsledku přirozeného vstřebávání vody

Tabulka 4: Zjištěné průměrné hydratace svaloviny během behaviorálního testu. Hodnoty jsou uvedené jako průměr \pm směrodatná odchylka (rozmezí).

	Zjištěné průměrné hydratace svalovin	
	Svalovina „zralé“ jikernačky parmy obecné	Svalovina „nezralé“ jikernačky parmy obecné
1. opakování	6,7 % \pm 0,04 (-0,2 % až 18,2 %)	6,2 % \pm 0,04 (-5,8 % až 12,0 %)
2. opakování	5,8 % \pm 0,03 (-1,2 % až 10,4 %)	11,8 % \pm 0,03 (6,7 % až 16,2 %)

Biometrie raků

Jeden den po testu proběhlo měření raků, byla změřena délka hlavohruď (DK) v mm a zjištěna hmotnost s přesností 0,01 g. Jedinci ve stádiu svlékání byli z hodnocení vyloučeni. Jedinci raků použítí v první sérii vykazovali průměrnou hmotnost 3,8 gramu \pm 0,5 (2,9 – 4,7). U jedinců v druhé sérii byla zjištěna průměrná hmotnost 3,3 gramu \pm 0,5 (2,3 – 4,5).

Statistické zpracování dat

Pro zjištění, zdali se liší výběrovost svaloviny parmy obecné v množství zkonsumované potravy a časem stráveným předpokládanou konzumací u raka mramorovaného byl využit zobecněný lineární model (GLM) s quasibinomiální distribucí, jelikož analyzovaná data vykazovali nadměrný rozptyl, a proto nebylo možné využít klasickou binomiální distribuci (Zuur, 2009). V případě zkonsumované potravy za jednotku času byla použita jako vysvětlující proměnná poměr mezi finální a iniciální hmotností předkládané potravy po odečtení průměrné hydratace (Tabulka 4). V případě času stráveného konzumací otravy byl využit poměr mezi časem strávených konzumací

překládané potraviny a celkovým časem experimentu. Pro zjištění preference raka mramorovaného ve výběru mezi svalovinou „zralé“ a „nezralé“ jikernačky parmy obecné byl použit zobecněný lineární model s quasibinominální distribucí. Hladina významnosti byla stanovena na úrovni $\alpha = 0,05$. Pro statistické zhodnocení dat byl použit program R (R Core Team, 2016).

4 Výsledky

4.1 Testy „toxicity“

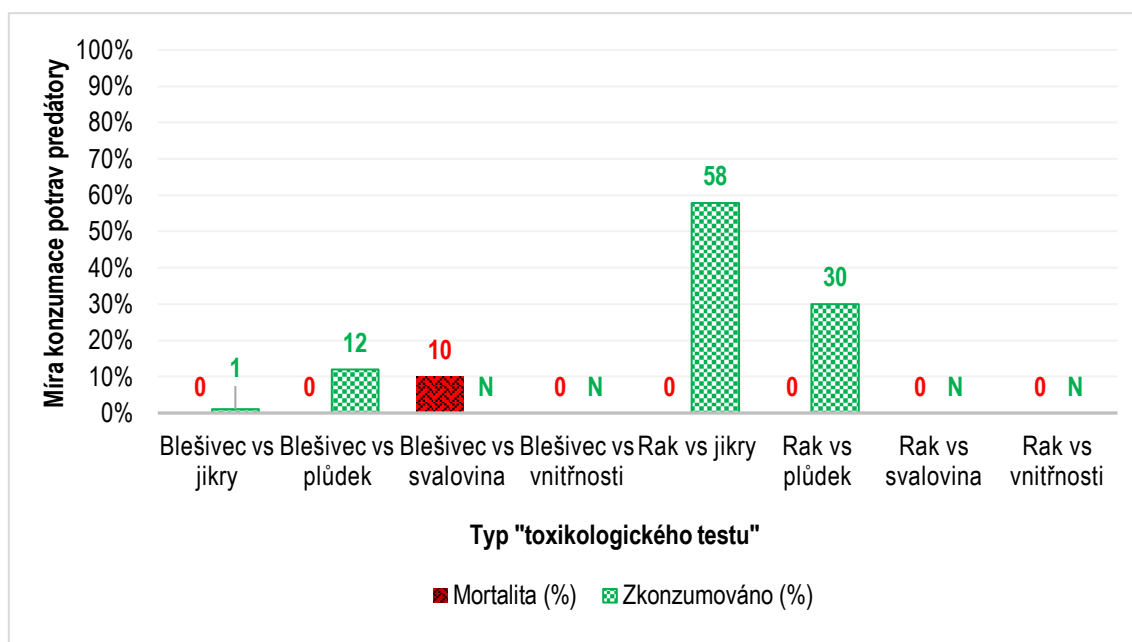
4.1.1 Toxicita parem obecných chovaných v RAS

V průběhu 24 hodin trvajících testů či během následného 48hodinového pozorování byl zjištěn úhyn 1 blešivce exponovaného svalovíně parmy. Dále uhynul jeden blešivec vystavený jikrám, který však nezkonsumoval žádnou jikru a pravděpodobně uhynul z důvodu nastávajícího svlékání či nezaznamenaného poškození. Žádné další úhyny exponovaných organismů nebyly zjištěny.

Konzumace jiker byla v případě blešivců minimální (1 %), kdy pouze jeden jedinec zkonsumoval jednu jikru. Naopak raci zkonsumovali téměř polovinu předložených jiker s průměrem $17,4 \pm 7,4$ (5–26), vyjma dvou jedinců, kteří vykazovali známky stádia preecdysis (měkký krunýř).

Plůdek parem obecných byl blešivci přijímán ochotněji s průměrem $1,2 \pm 1,0$ (0 – 3). Příjem plůdku raky dosahoval téměř třetiny předložených jedinců s průměrem $9,1 \pm 6,2$ (2 – 21).

Maso i vnitřnosti byly dávkovány v nadbytku a není tedy možné přesně kvantifikovat množství zkonsumované tkáně. Přehled zjištěných mortalit a míry konzumace jednotlivých testů je zaznamenán v grafu 1.



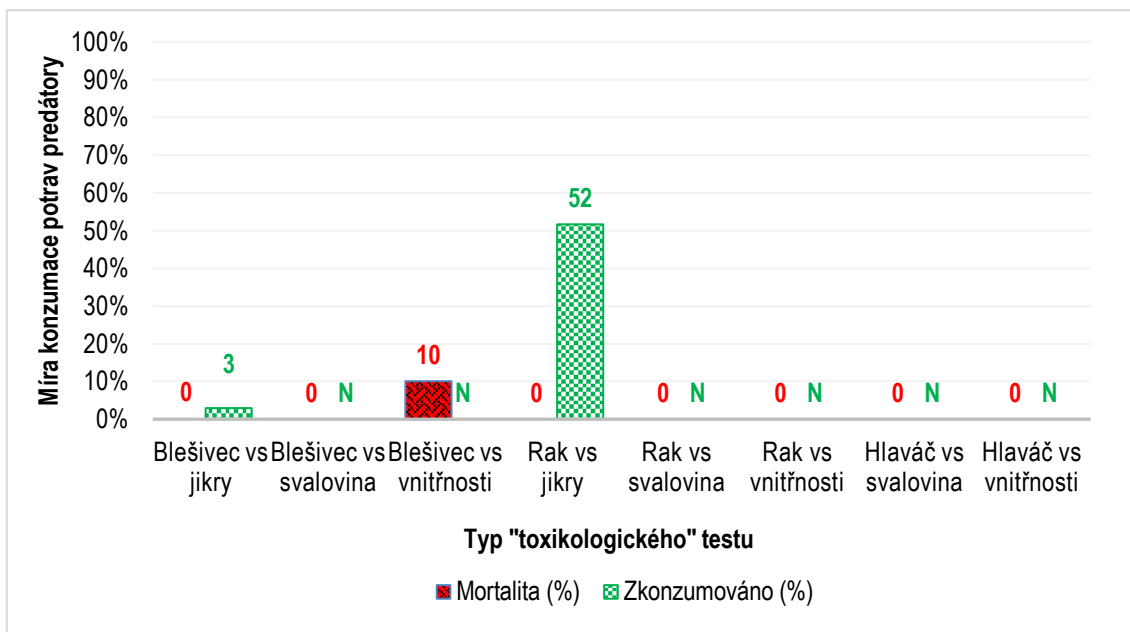
Graf 1: Mortalita jedinců blešivce ježatého *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894) a raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko, 2017 vystavených potenciálně toxickým jikrám, plůdku, svalovině a vnitřnostem parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758), chované v RAS. Hodnocena byla též míra konzumace u jiker a plůdku, která však v případě svaloviny a vnitřností kvantifikována nebyla (N).

4.1.2 Toxicita palem obecných chovaných v experimentálních rybníčních podmínkách

Během testu byl zaznamenán úhyn jednoho jedince blešivce, exponovaného vnitřnostem. Žádný další úhyn nebyl zaznamenán.

Konzumace jiker blešivci během testu byla $3\% \pm 0,05$ (0 – 1), naopak raci v průměru zkonzumovali $15,6 \pm 6,9$ (6 – 29) jiker. Svalovina a vnitřnosti byly dávkovány v nadbytku a množství zkonzumované tkáně tedy nelze přesně kvantifikovat. Přehled zjištěných mortalit a míry konzumace v jednotlivých testech je znázorněn v grafu 2.

Výsledky testů „toxicity“ naznačují, že předkládané tkáně na použité predátory pravděpodobně nepůsobí jedovatě, přinejmenším nezpůsobují letální účinky.



Graf 2: Mortalita jedinců blešivce ježatého *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko 2017 a hlaváče černoústého *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) vystavených potenciálně toxickým jikrám, svalovině a vnitřnostem parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758), chované v experimentálních rybníčních podmínkách. Hodnocena byla též míra konzumace jiker, která ale v případě svaloviny a vnitřností kvantifikována nebyla (N).

4.2 Výsledky behaviorálního testu výběrovosti svaloviny parmy obecné

Během expozice, při které byli raci vystaveni svalovinám o lišícím se původu (Příloha 3), byl pozorován pouze malý zájem raků o sledovanou tkáň. Na základě vyhodnocení kombinací videozáznamu z kamer a vážení svaloviny pouze tři z dvanácti jedinců svalovinu konzumovali. Příjem svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné byl zjištěn u dvou exemplářů raka, s intervalem konzumace 30 sekund v množství 29 mg u prvního (Z/NEZ 3) a 205 sekund v množství 121 mg u druhého (Z/NEZ 12). Konzumace svaloviny „nezralé“ jikernačky parmy obecné byla zaznamenána v jednom případě (Z/NEZ 4), a to v množství 88 mg po dobu 450 sekund. Raci vystavení svalovinám o lišícím se původu strávili ve většině případů celý interval jiným způsobem, než konzumací svaloviny.

Ve skupinách, ve kterých byli raci mramorovaní vystaveni výběru svalovin stejného původu (skupiny Z/Z a NEZ/NEZ) (Příloha 4 a 5), průměrně přijímali svalovinu ve větším množství a po delší interval, a to z důvodu většího počtu jedinců raků mramorovaných, kteří svalovinu konzumovali. Mezi jedinci byly zaznamenány velké individuální rozdíly.

Vůbec nejdelší interval strávil konzumací svaloviny (Z-L) jedinec v aréně Z/Z 5 s počtem 3495 sekund, což odpovídá 82,2 % času expozice. Největší množství svaloviny zkonsumoval jedinec v Z/Z 6, jenž v intervalu 60 minut dle výpočtu pozřel 230 mg svaloviny, což odpovídá úctyhodným 6,88 % hmotnosti tohoto jedince.

Použitý model neodhalil statisticky významné rozdíly v čase konzumace mezi „zralou“ a „nezralou“ jikernačkou (GLM; $F_{1,22} = 0,18$, $p = 0,67$). Stejný výsledek byl pozorován pro čas strávený u levé či pravé strany experimentální nádrže při konzumaci předkládané potravy u „zralé“ jikernačky (GLM; $F_{1,22} = 0,42$, $p = 0,52$) a „nezralé“ jikernačky (GLM; $F_{1,22} = 0,18$, $p = 0,67$). Výsledky jsou znázorněny v grafu 3.

Výsledný model neodhalil signifikantní rozdíl v množství zkonsumované potravy rakem mramorovaným mezi „zralou“ a „nezralou“ jikernačkou (GLM; $F_{1,22} = 0,18$, $p = 0,66$). Podobný výsledek byl zaznamenán při konzumaci potravy mezi pravou a levou stranou experimentální nádrže mezi „zralou“ (GLM; $F_{1,22} = 0,03$, $p = 0,86$) a „nezralou“ jikernačkou (GLM; $F_{1,22} = 0,66$, $p = 0,42$). Výsledky jsou znázorněny v grafu 4.

Dle námi změřených a vypočtených dat meziskupinového porovnání (Graf 5) konzumovali raci mramorovaní především svalovinu „zralé“ jikernačky parmy obecné, u které zároveň trávili největší množství času. V poměru k hmotnosti předložené svaloviny zkonsumovali raci mramorovaní, vystavení skupině Z/NEZ v průměru pouze 0,65 %, $\pm 0,02$ (0 – 8,71 %) tedy téměř třikrát méně než ve skupině Z/Z (2,04 % $\pm 0,04$ (0 – 14,65)). Raci mramorovaní, vystavení skupině NEZ/NEZ, v průměru zkonsumovali 0,88 % $\pm 0,02$ (0 – 9,33 %) hmotnosti předložené svaloviny.

V jednotkách hmotnosti (nezobrazeno) zkonsumovali raci mramorovaní ve skupině Z/Z v průměru 33 mg $\pm 0,06$ (0 – 230 mg), tedy 2,5 krát více, než u svaloviny NEZ/NEZ, kde bylo v průměru zkonsumováno pouze 13 mg $\pm 0,03$ (0 – 133 mg). Zároveň strávili jejím požíváním v průměru 15,0 %, tedy o 51,3 % více času v porovnání s raky ve skupině NEZ/NEZ (pouze 7,3 %). Nejmenší zájem raků mramorovaných o svalovinu parmy obecné byl pozorován ve skupině Z/NEZ, kteří v průměru zkonsumovali pouze 10 mg $\pm 0,03$ (0 – 121 mg) svaloviny. Raci ve skupině Z/NEZ strávily konzumací svaloviny v průměru pouze 1,3 % celkového času, tedy 5,6krát méně, než v případě skupiny NEZ/NEZ a dokonce 11,5krát méně, než v případě a skupiny Z/Z.

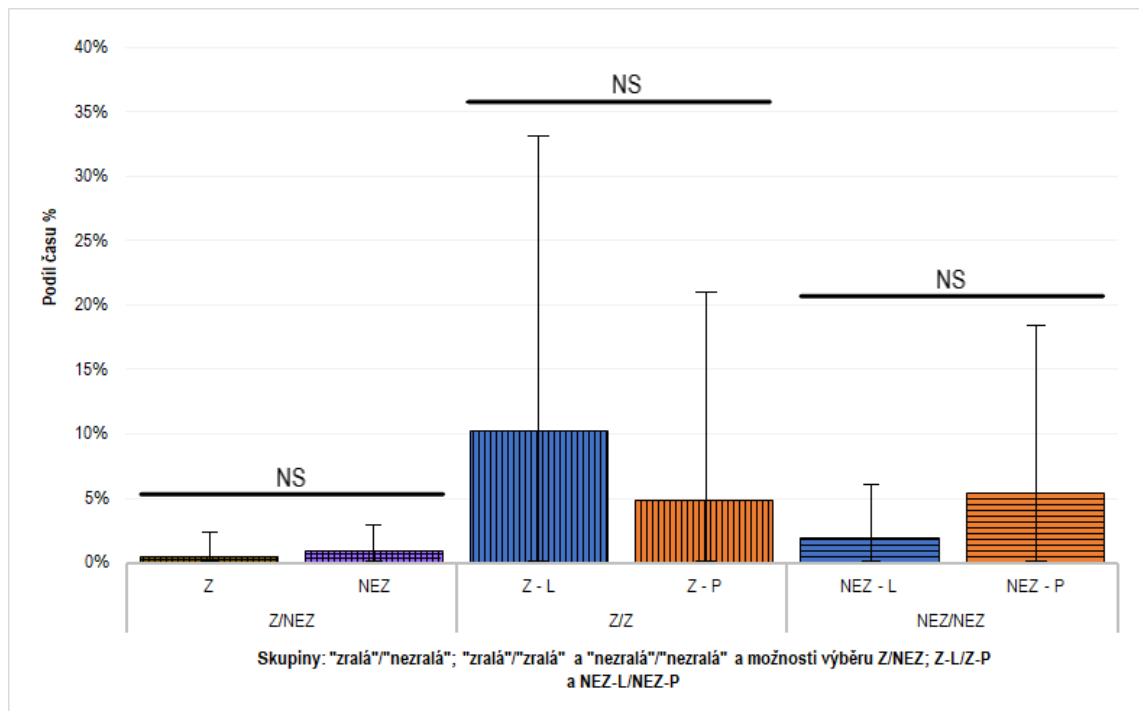
Ze naměřených dat byl vyhodnocen celkový rozdíl v preferenci mezi svalovinou „zralé“ nebo „nezralé“ parmy. Výsledky naznačují upřednostnění svaloviny „zralé“

parmy obecné, neboť naměřená a vypočtená konzumace této svaloviny byla vyšší ve všech ohledech. V případě svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné raci mramorovaní v průměru zkonzumovali 1,11 % své vlastní hmotnosti, což je 2,5krát více než v případě svaloviny jikernačky „nezralé“. Jedinci, kterým byla exponována svalovina „zralé“ jikernačky parmy obecné, v průměru zkonzumovali 23 mg, což je oproti průměrným 10 mg v případě konzumace svaloviny jikernačky „nezralé“ o 130 % více (nezobrazeno). Jedinci raků mramorovaných také předpokládanou konzumací celkově strávili 2krát delší čas (nezobrazeno).

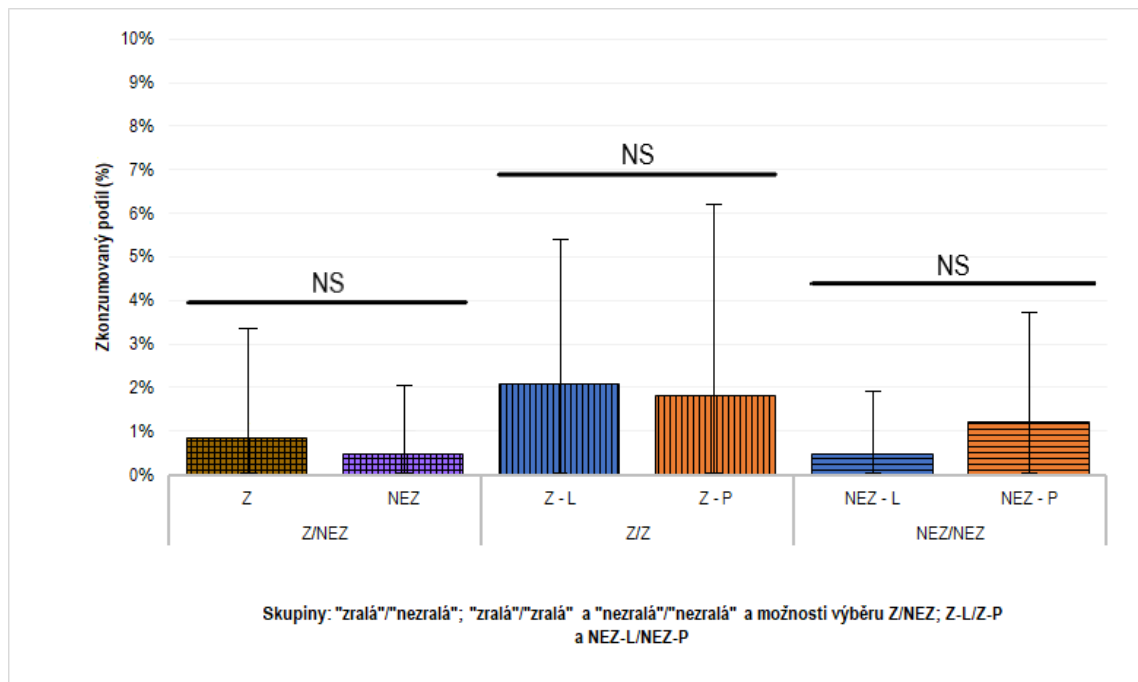
Použitý model nicméně ani zde neodhalil statisticky významné rozdíly v konzumaci v poměru k předložené potravě mezi „zralou“ a „nezralou“ jikernačkou (GLM; $F_{1,72} = 0,19$, $p = 0,18$). Stejný výsledek byl pozorován u rozdílu v konzumaci v poměru k vlastní hmotnosti mezi „zralou“ a „nezralou“ jikernačkou (GLM; $F_{1,72} = 2,02$, $p = 0,16$). Výsledky jsou znázorněny v grafu 6.

Provedená statistická analýza tedy neodhalila statisticky významné rozdíly mezi zmíněnými skupinami a je tak nutné podotknout, že výsledky dat behaviorálního testu jsou neprůkazné.

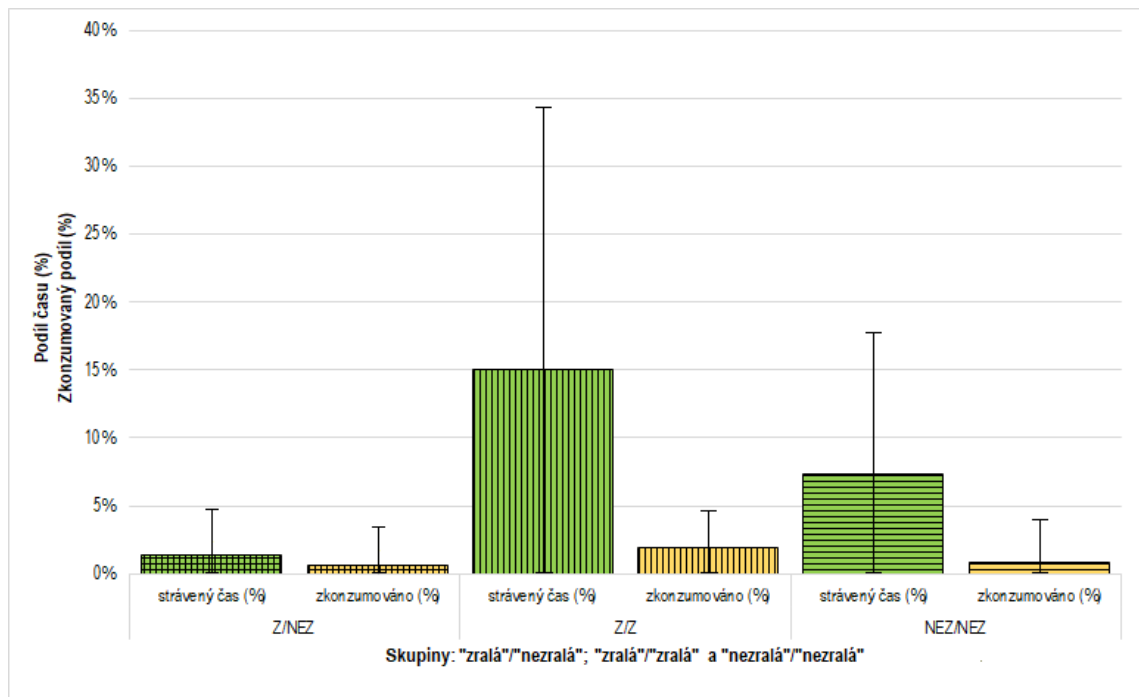
Je pozoruhodné, že žádný z raků mramorovaných nekonzumoval oba typy svaloviny, byť v několika případech byla konzumace přerušovaná a raci se ke již „ochutnané“ svalovině vraceli zpět, zatímco druhá svalovina zůstala vždy netknuta.



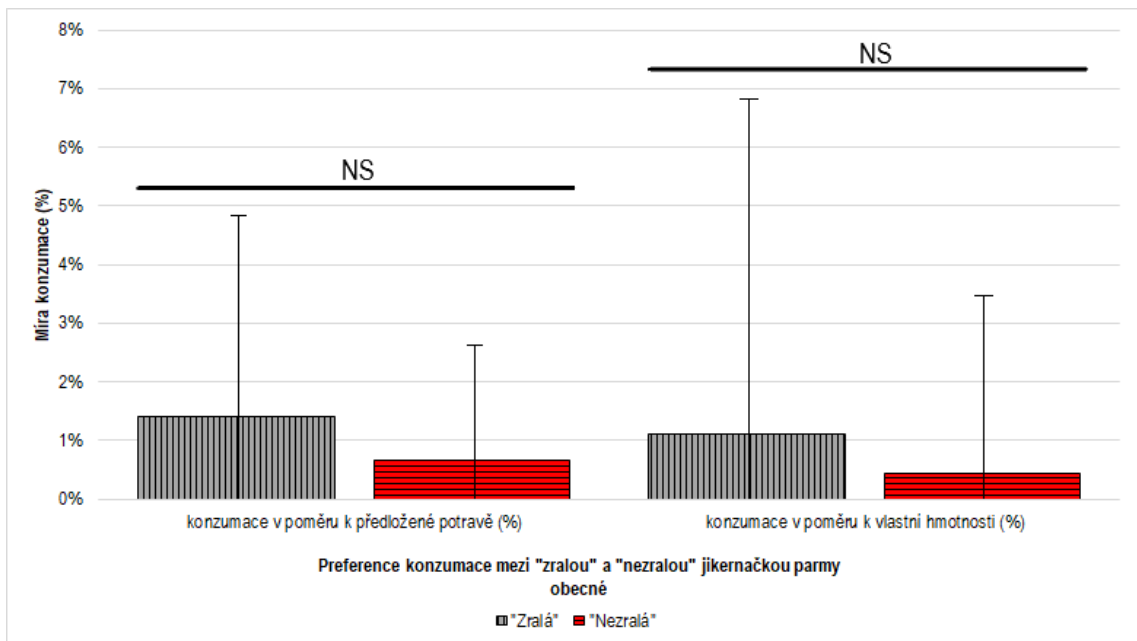
Graf 3: Vnitroskupinový rozdíl ve „výběrovosti“ svaloviny parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758) rakem mramorovaným *Procambarus virginalis* Lyko, 2017, vyjádřený podílem času stráveného předpokládanou konzumací. V grafu je porovnána vnitroskupinová výběrovost mezi svalovinou odlišného (Z/NEZ) nebo stejného původu (Z/Z; NEZ/NEZ) u „zralé“ (Z) a „nezralé“ (NEZ) samice parmy obecné rakem mramorovaným. Z/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny odlišného původu, tedy svaloviny „zralé“ nebo „nezralé“ jikernačky parmy obecné. Z/Z – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné. Z-L – svalovina „zralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na levé straně. Z-P – svalovina „zralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na pravé straně. NEZ/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „nezralé“ jikernačky parmy obecné. NEZ-L – svalovina „nezralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na levé straně. NEZ-P – svalovina „nezralé“ parmy, umístěná po dobu testu na pravé straně. Data jsou vyjádřena jako procentuální podíl celkového času. NS – nesignifikantní rozdíl.



Graf 4: Vnitroskupinový rozdíl ve „výběrovosti“ svaloviny parmy obecné *Barbus barbuis* (Linnaeus, 1758) rakem mramorovaným *Procambarus virginalis* Lyko, 2017, vyjádřený podílem zkonsumované svaloviny. V grafu je porovnávána vnitroskupinová výběrovost mezi svalovinou odlišného (Z/NEZ) nebo stejného původu (Z/Z; NEZ/NEZ) u „zralé“ (Z) a „nezralé“ (NEZ) samice parmy obecné rakem mramorovaným. Z/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny odlišného původu, tedy svaloviny „zralé“ nebo „nezralé“ jikernačky parmy obecné. Z/Z – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné. Z-L – svalovina „zralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na levé straně. Z-P – svalovina „zralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na pravé straně. NEZ/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „nezralé“ jikernačky parmy obecné. NEZ-L – svalovina „nezralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na levé straně. NEZ-P – svalovina „nezralé“ parmy, umístěná po dobu testu na pravé straně. Data jsou vyjádřena jako vypočtený odhad. NS – nesignifikantní rozdíl.



Graf 5: Meziskupinové porovnání atraktivity svaloviny „zralé“ (Z) a „nezralé“ (NEZ) jikernačky parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758) pro raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko, 2017. Data jsou znázorněna jako meziskupinový rozdíl podílu času stráveného konzumací svaloviny (uvedeno v % z celkového času) a v množství zkonsumované svaloviny (uvedené v % předloženého množství) ve skupině s možností výběru svalovin odlišného původu (Z/NEZ) a ve skupinách s přítomností svaloviny stejného původu (Z/Z; NEZ/NEZ) jikernačky parmy obecné. Z/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny odlišného původu, tedy svaloviny „zralé“ nebo „nezralé“ jikernačky parmy obecné. Z/Z – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné. NEZ/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „nezralé“ jikernačky parmy obecné. Hodnoty jsou vyjádřeny průměrem za danou skupinu.



Graf 6: Preference raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko, 2017 ve výběru mezi svalovinou „zralé“ (Z) nebo „nezralé“ (NEZ) samice parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758). V grafu je znázorněn procentuální podíl průměrné hmotnosti zkonsumované svaloviny v poměru k průměrné hmotnosti předložené potravě. Taktéž je zobrazen procentuální podíl průměrné hmotnosti zkonsumované svaloviny v poměru k průměrné hmotnosti raků mramorovaných použitých v testu. NS – nesignifikantní rozdíl.

5 Diskuze

Toxicita parmy obecné je zmiňována více než 500 let, přesto i do dnešní doby zůstává okolo této problematiky mnoho otázek. Skryto mimo jiné zůstává, zda toxin působí na veškeré organismy či nikoliv. V dřívějších studiích (De Haro a kol., 1998; Sysová, 2001) byly prokázány případy otrav po požití jiker parmy obecné u člověka a laboratorních myší. Zároveň byly zaznamenány toxické účinky nenasycených mastných kyselin na bovinní erythrocyty a buněčné linie (Mancini a kol., 2011). Je tedy možné, že jikry palem obecných jsou toxické pro veškeré savce. Je však nutné podotknout, že studie Mancini a kol. (2011) a De Haro a kol. (1998) hodnotí toxicitu palem obecných pouze nepřímou. Taktéž v literatuře doposud nebyla zmíněna možnost „otravy“ cypridinem, jako následek alergické reakce člověka. Není totiž známo, zda jikry po požití způsobily zdravotní potíže každému konzumentovi či nikoliv, neboť o konzumentech, kteří by jikry parmy obecné požili bez znatelných negativních účinků, chybí písemné záznamy. Toxické účinky palem obecných na vodní organismy, které by potenciálně mohly odkazovat na toxicitu jako následek evolučního vývoje vůči přirozeným predátorům, však doposud nebyly studovány.

Cílem této práce bylo posouzení možných toxických účinků palem obecných na jiné vodní organismy, jakožto způsob uvažované ochrany proti případné predaci. Z důvodu nejednotných informací, týkajících se distribuce toxinu v těle, byly zkoumány letální účinky různých tkání. Navíc byly použity tkáně jak z pohlavně dospělých ryb ve vrcholné fázi přípravy k reprodukci, tak z ryby k reprodukci nepřipravené.

Konkrétně byla sledována přímá toxicita jiker a váčkového plůdku, dále svaloviny a vnitřností (hepatopankreatu a vaječníků s neovulovanými jikrami) dospělých samic v různé fázi přípravy k reprodukci na pokusné organismy, jež byla vyhodnocena jejich mortalitou. Jako pokusné organismy k tomuto typu testu byli zvoleni blešivec ježatý, rak mramorovaný a hlaváč černoústý. Tyto organismy představují zástupce různých taxonů, které se s parmou obecnou ve svém životním prostředí běžně setkávají. Zmíněné druhy jsou zcela nebo převážně bentickými organismy, vyhledávající úkryty ve štěrku a mezi kameny, který zároveň poskytuje výtěrový substrát pro parmy obecné. Součástí potravy blešivců ježatých (Casellato a kol., 2007), raků mramorovaných (Dorn a Mittelbach, 1999) i hlaváčů černoústých (Fondufe, a kol., 1995) je i živočišná potrava, v níž figurují mimo jiné i jikry a plůdek různých druhů ryb.

Ačkoliv se jedná o druhy nepůvodní, výskyt všech tří výše zmíněných druhů je v ČR prokázán. Zároveň se jedná o zástupce z různých taxonomických skupin, čímž poskytují představu o působení možného jedu na široké spektrum vodních organismů. To podporuje jejich relevantnost v tomto experimentu.

Z výsledků testů „toxicity“ je patrné, že předkládané „potravy“ palem obecných, původem z RAS i z experimentálních rybníčních podmínek, nezpůsobovaly pokusným predátorům letální účinky. Není ale prozatím jasné, zda je možné toto tvrzení vztáhnout i na jiné vodní organismy nebo stenotermní vodní predátory, tedy savce a ptáky, neboť právě u savců (člověka a laboratorních potkanů) byly případy otrav popsány (De Haro a kol., 1998; Sysová, 2001). Mezi nimi je možné vyzdvihnout například vydrů říční nebo kormorána velkého, jejichž součástí potravy mohou juvenilní i adultní parmy obecné tvořit (Čech a kol., 2008; Blanco-Garrido a kol., 2008).

V testu nebyl zaznamenán rozdíl v toxických účincích mezi parmami obecnými chovanými v RAS a v experimentálních rybníčních podmínkách, který by naznačil, zda parma obecná cypridin syntetizuje či přejímá z potravy. K potvrzení či vyvrácení teorie o jedovatosti palem v průběhu výtěrového období by pomohlo zařazení jedinců odchycených ve volných vodách. Avšak, takový typ testu nebyl realizován, a to z důvodu aktuální nedostupnosti palem obecných z volných vod.

Součástí experimentu bylo i sledování míry predace pokusných organismů na jikry a raná stádia ryb.

Blešivci ježatí nemají dle výsledků na predaci jiker a váčkového plůdku palem obecných významný vliv. V minulosti byla testována míra predace blešivce ježatého na vajíčka raka mramorovaného a raka signálního *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852). Švagrová (2017) uvádí vysokou schopnost predace blešivce ježatého na vajíčkách raka mramorovaného, kdy byli jedinci schopni pozřít až 11 ks vajíček v intervalu 24 hodin. Seitz a kol. (2005) uvádí průměrnou velikost vajíček raka mramorovaného 1,6 mm. Švagrová (2017) dále popisuje nízkou schopnost blešivce ježatého na konzumaci vajíček raka signálního, jejíž důvodem mohla být přílišná velikost vajíček (2,5 – 3 mm; 7,75 mg) a nižší teplota vody během testu. Míra konzumace jiker parmy obecné blešivcem ježatým byla nízká, a také zde velikost jiker pravděpodobně hrála důležitou roli, neboť zjištěná velikost jiker v tomto experimentu se pohybovala mezi 2,45 – 2,75 mm.

Též míra predace blešivců ježatých na váčkovém plůdku parmy obecné je na základě výsledků nízká, byť plůdek blešivci přijímali ochotněji než jikry. Možným vysvětlením nižšího příjmu jiker v porovnání s váčkovým plůdkem může být skutečnost, že blešivci nekonzumují celé jikry, nýbrž nejprve narušují jikerný obal a poté „vysávají“ chráněné embryo, jak bylo zjištěno ve studii Casellato a kol. (2007). Dalším možným vysvětlením je pravděpodobně delší čas manipulace s jikrou oproti váčkovému plůdku, který je křehčí a dosažitelnější (Roje a kol, nepublikovaná data).

V experimentu bylo zjištěno, že blešivci ježatí mohou být dekompozitory svaloviny či vnitřních orgánů parem obecných, avšak konzumace tohoto typu nabídnuté potravy byla zanedbatelná. Blešivec ježatý je znám jako nespecifický konzument živící se spadáním listím, vodními rostlinami, menšími druhy zoobentosu, či jikrami a juvenilními jedinci ryb (Madgwick a Aldridge, 2011; Truhlar a kol., 2014; Worischka a kol., 2018). Přestože byla konzumace předložených „potrav“ v testu velmi nízká, blešivci mohou být významnými konzumenty, a to z důvodu vysokých populačních hustot.

Predace raků na jikrách a plůdku ryb byla již dříve zkoumána. Autoři Mason a Evans (2011) se zabývali predací raka statného *Faxonius virilis* (Hagen, 1870) a raka severního *Faxonius propinquus* (Girard, 1852) na jikrách a plůdku pstruha obecného jezerního *Salmo trutta lacustris* Linnaeus, 1758 a síha sled'ovitého *Coregonus clupeaformis* (Mitchill, 1818). Zmínění autoři zjistili, že oba druhy raků ochotněji predují na jikrách obou druhů ryb a raný plůdek byl jimi přijímán pouze z jedné třetiny množství. Karjalainen a kol., (2015) zjistili vysokou efektivitu predace raka signálního na jikrách síha malého *Coregonus albula* (Linnaeus, 1758) a síha severního *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758), a to v zimních podmínkách.

V naší studii po dvoudenním lačnění jedinci raků mramorovaných zkonsumovali v průměru 17 jiker v testu s parmami z RAS a 16 jiker v testu s parmami chovanými v experimentálních rybníčních podmínkách v intervalu 24 hodin.

Průměrná konzumace plůdku parem obecných, chovaných v RAS, byla za stejných podmínek 9 kusů váčkového plůdku/jedince, v porovnání s jikrami tedy byla nižší téměř o polovinu. Nutno podotknout, že v konzumaci jiker i plůdku byly mezi raky mramorovanými velké individuální rozdíly.

Z těchto výsledků je zřejmé, že rak mramorovaný je ve velkém množství schopen konzumace zejména jiker, ale i plůdku, a to bez viditelných negativních účinků. Výsledky

této studie spolu s výsledky Mason a Evans, (2011) a Karjalainen a kol., (2015) naznačují, že raci jsou ve vztahu k času efektivními predátory především jiker ryb, které mohou tvořit významný sezónní zdroj potravy. Pokud vezmeme v úvahu, že inkubace jiker palem obecných v obvyklých podmínkách trvá 7 – 10 dní (Baruš a kol., 1995; Dubský a kol., 2003), poté by každý jedinec raka mramorovaného mohl teoreticky zkonzumovat více než 100 jiker parmy obecné (je však nutné si uvědomit dvoudenní lačnění raků mramorovaných, které testům předcházelo).

Rovněž bylo zjištěno, že ve vztahu k času je plůdek palem obecných raky mramorovanými konzumován v nižším množství. Schopnost predace raků na rybách byla již dříve studována. Thomas (2012) sledoval míru predace raka statného a raka severního na candátcích rodu *Etheostoma*. Autor uvádí, že oba druhy raků jsou schopni při průměrné délce karapaxu 41,6 mm aktivně ulovit rybky o průměrné standardní délce 44,3 mm a zároveň dodává, že potenciálně vyšší predací tlak na ryby mohou mít invazní druhy raků. Invazním druhem je v současnosti i rak mramorovaný v České republice, jehož délka karapaxu může být až 13 cm (Kozák a kol., 2015). Trvání období váčkového plůdku palem obecných (období od vykulení do strávení žlutkového váčku a následného rozplavání), kterou zaznamenali Çalta (1998) a Policar a kol. (2007), byla 8 a 13 dní. Maximální délka juvenila parmy obecné, kterou by byl rak mramorovaný schopen pozřít, není známa. Je ale velmi pravděpodobné, že by jedinec parmy obecné do takové velikosti rostl i několik měsíců a kumulativní množství pozřených juvenilů parmy raky mramorovanými by se tak mohlo množství zkonzumovaných jiker přinejmenším blížít.

V souvislosti s konzumací je nutné upozornit na velké individuální rozdíly u raků, neboť navzdory genetické uniformitě raka mramorovaného se jednalo o krmný test a tedy i trofickou interakci, jež popisuje Veselý a kol., (2019). V testech bylo ověřeno, že raci mohou být dekompozitory uhynulých palem obecných, respektive jejich svaloviny či vnitřních orgánů.

Role hlaváče černoústého jako predátora jiker a váčkového plůdku parmy obecné nebyla testována z důvodu aktuální nedostupnosti hlaváčů. Predací tlak hlaváče černoústého na jikry jiných druhů ryb již ale byl v minulosti sledován. Fitzsimons a kol. (2006) popisují hlaváče černoústého jako velmi efektivního predátora jiker pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Vašek a kol. (2014) sledovali potravní chování hlaváče černoústého na dolním toku řeky Dyje během jarního období a zjistili, že jikry a plůdek ryb jsou v potravě hlaváče zastoupeny jen velmi málo.

Predačním tlakem hlaváče černoústého na jikry sledě obecného *Clupea harengus* Linnaeus, 1758 v Baltském moři se zabývali Wiegleb a kol. (2018). Z výsledků krmných testů autoři zjistili, že jikry sledě nejsou hlaváčem černoústým upřednostňovány, hlaváč ve své potravě naopak preferoval garnáty obecné *Crangon crangon* (Linnaeus, 1758) a slávku jedlou *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758. Zastoupení jiker v potravě hlaváče se tak zřejmě odvíjí od možností potravních zdrojů obývaného prostředí.

Výsledky testů ukazují, že svalovina či vnitřnosti parmy obecné nepůsobí na hlaváče černoústé při jejich pozření akutně toxickými účinky. V testech byli hlaváči černoústí schopni zmíněné tkáně bez problémů pozřít. Pro účely testu byla svalovina i vnitřnosti hlaváčům nakrájeny na velmi malé porce tak, aby umožňovaly jejich polykání vcelku.

Z obecného hlediska není doposud jasné, zda má cypridin na své přirozené konzumenty subletální účinky nebo zda je neovlivňuje vůbec. V případě raků mramorovaných, kteří v testu zkonzumovali velká množství jiker bez viditelných příznaků otravy, lze uvažovat absenci pozorovatelných efektů o raků vůči cypridinu. Výsledky této bakalářské práce přinášejí další otázku, a sice zda jsou konzumenti v případě odolnosti vůči cypridinu schopni tento toxin akumulovat ve svém těle. Cypridin by tak bylo možné odhalit u mnoha živočichů v různých trofických úrovních. Toto ale nebylo cílem této práce a ostatní studie tomu nenasvědčují. Distribuce toxinů v potravním řetězci byla u ryb již zaznamenána například u tetrodotoxinu, toxinů způsobujících otravu ciguatera nebo saxitoxinu. Podobný příklad lze najít i v rostlinné říši, sinice jako jedny z prvních autotrofních organismů produkují silné toxiny. Tyto toxiny však nejsou pro jejich konzumenty škodlivé. Tento fakt může být dán dlouhou koevolucí mezi konzumentem a jeho potravou, či pouhým faktem, že toxická látka v jejich tělech není primárně určená jako obranný mechanismus zabraňující jejich konzumaci (Catherine a kol., 2013; Whitton a Potts, 2007; Cohen a Gurevitz, 2006).

V behaviorálním testu byla zjištěna nízká atraktivita svaloviny parmy obecné u raků mramorovaných exponovaných výběru mezi svalovinou „zralé“ a „nezralé“ jikernačky parmy obecné. Tato nízká atraktivita sama o sobě by mohla poukazovat na určitou averzi raků mramorovaných ke svalovině parmy obecné a indikovat tím přítomnost toxinu. Porovnání mezi jednotlivými skupinami však neukazuje žádný statistický rozdíl v konzumaci svaloviny mezi jednotlivými skupinami (Z/NEZ, Z/Z a NEZ/NEZ).

Jelikož nebyl nalezen rozdíl v konzumaci svaloviny mezi skupinami, můžeme se domnívat, že svalovina palem obecných nepůsobí na raky mramorované negativními účinky, ačkoliv je toxicita palem obecných podle některých autorů (Kornalík, 1967; Kupka a Pflieger, 1984; Sysová, 2001) spojena právě s obdobím reprodukce. Tento předpoklad se shoduje s výsledky testů toxicity, ve kterých raci ochotně přijímali jikry palem obecných bez významného, pozorovatelného účinku na jejich zdraví. Právě zmíněné jikry (některé zdroje uvádějí jako vnitřnosti obecně), respektive jejich konzumace, byla příčinou otrav u člověka (Kornalík, 1967; Sysová 2001).

Strategie chemické ochrany vůči přirozeným predátorům je využívána u fanerotoxických i kryptotoxických druhů ryb. Příkladem ochranné funkce pasivně toxických ryb je mimo jiné tetrodotoxin u čtverzubců (Williams, 2010). Gratzer a kol. (2015) popisují odpuzující účinek kožních toxinů některých hlaváčů na své přirozené predátory. Hashimoto a Oshima (1972) referují o grammistinu, kožním toxinu na bázi polypeptidů, zjištěným u kanice očkátého *Pogonoperca punctata* (Valenciennes 1830).

Druhy ryb i jiných živočichů, které ve svém těle toxin syntetizují, kumulují či pouze napodobují jeho přítomnost, se často vyznačují také výstražným (aposematickým) zbarvením (Komárek, 2004). Toto zbarvení je známé zejména u ryb korálových útesů, v případě paryb je charakteristické pro některé druhy trnuch. U parmy obecné se aposematické zbarvení nevyskytuje, naopak její zbarvení je nenápadné a může se mírně lišit dle místních podmínek v konkrétním toku (Baruš a kol., 1995).

Výsledky této práce rozvíjí otázku původu chemické ochrany u parmy obecné. Je možné, že byla toxicita u parmy obecné vůči přirozeným predátorům evolučně vytvořena a její současné netoxické působení je dáno jejich adaptací vlivem dlouhé ko-evoluce. Tato varianta by byla v případě blešivce ježatého a hlaváče černoústého možná, neboť původní areál rozšíření obou druhů se nalézá v Pontokaspické oblasti, která parmě obecné poskytovala refugium minimálně po období poslední doby ledové (Kotlík a kol., 2004). Nicméně v případě raka mramorovaného, který v námi provedených testech jikry parmy obecné bez viditelných negativních účinků požíval ve velkém množství, si toto tvrzení odporuje, a to z důvodu jeho nejpravděpodobnějšího původu v Severní Americe (Vogt a kol., 2018). Druhou variantou je spontánní vznik toxicity u parmy obecné následkem vedlejších účinků, o kterém uvažují Ostrand a kol. (1996) v případě toxicity jiker kostlínů rodu *Lepisosteus* pro přirozené rybí predátory.

At' už za přítomností cypridinu u parmy obecné stojí evoluční vývoj či vedlejší účinky, je možné, že se toxicita objevila už u fylogenetických předků parmy obecné, neboť byl podobný typ otravy zaznamenán i u dalších druhů podčeledi Barbinae (Froese a Pauly, 2019d).

6 Závěr

Cílem této práce bylo posouzení možných toxických účinků parem obecných na přirozené predátory či dekompozitory. Možné toxické účinky byly hodnoceny formou letálních účinků a behaviorálního testu. Konkrétně byla provedena série testů toxicity jiker, plůdku, masa a vnitřností parem obecných při konzumaci modelovými predátory - blešivcem ježatým, rakem mramorovaným a hlaváčem černoústým. Behaviorální test měl za cíl posoudit schopnost detekce možné toxické látky ve svalovině parmy prostřednictvím výběrového testu mezi masem z pohlavně dospělých samic, konkrétně mezi „zralou“ jikernačkou ve vrcholné fázi přípravy k reprodukci a „nezralou“ jikernačkou, k reprodukci nepřipravenou, oběma předloženým raku mramorovanému.

Výsledky testů prokázaly, že raná stádia a tkáně parem obecných nemají letální účinky na zástupce přirozených vodních predátorů a dekompozitorů. Zda má případný toxin na své přirozené predátory subletální účinky, nebo na ně nepůsobí vůbec (v rámci možností jeho detekce), není prozatím jasné. Ve výsledcích testů se neprojevil rozdíl v typu chovu, tedy mezi jedinci chovanými v experimentálních rybnických podmínkách a jedinci chovanými v kontrolovaných podmínkách recirkulačního systému. Případná toxicita parem obecných pocházejících z volných vod nebyla testována a zda je možný toxin vázán pouze na říční divoké populace parem obecných, není zjevné. Výsledky ukazují, že cypridin nepůsobí viditelnými negativními účinky na raky, kteří jsou naopak efektivními predátory jiker a plůdku parem obecných.

Schopnost detekce možného toxinu raku mramorovaným mezi svalovinou „zralé“ a „nezralé“ jikernačky parmy obecné a rovněž ani rozdíl v toxicitě mezi oběma typy svaloviny experiment nepotvrzuje. Přestože v testu výběrovosti nevykazovali raci mramorovaní, exponovaní výběru mezi svalovinou „zralou“ a „nezralou“ jikernačkou obecné statisticky významné rozdíly, výsledky meziskupinového porovnání mezi oběma typy svaloviny naznačují upřednostnění svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné ve vrcholné fázi přípravy k reprodukci a tím i preferenci potravy s nižším obsahem tuku, jehož množství v předvýtěrovém období ve svalovině klesá.

Výsledky této práce dále rozvíjejí otázku původu cypridinu u parem obecných. Zpozorované netoxické působení parem obecných na zástupce různonožců, raků a ryb může být dáno jejich adaptací vlivem dlouhé ko-evoluce těchto druhů, může se ale zároveň jednat o spontánně vzniklé vedlejší účinky.

V tématu toxicity parmy obecné však i nadále zůstává celá řada otázek. Především doposud nebyl přesně chemicky identifikován samotný toxin, jehož informace o chemické povaze jsou pouze nepřímé. Taktéž není známo, zda parma obecná cypridin syntetizuje, či je toxin jakkoliv přejímán z okolního prostředí. Ichthyotoxismus byl v minulosti prokázán u několika dalších druhů podčeledi Barbinae a lze tedy uvažovat o vzniku jedovatosti už u fylogenetických předků parmy obecné. Tyto otázky a mnohé navazující by se do budoucna mohly stát základem dalšího výzkumu.

7 Seznam odborné literatury

- Ackefors, H., Castell, J. D., Boston, L. D., Råty, P., Svensson, 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(3-4), 341-356.
- Adachi, R., Fukuyo, Y. (1979). The thecal structure of a marine toxic dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus* gen. et sp. nov. collected in a ciguatera-endemic area. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fisheries* 45(1), 67-71.
- Adámek, Z., Obrdlík, P. (1977). Food of important cyprinid species in the warmed barb zone of the Oslava river. *Folia Zoologica*, 26: 171-182
- Agentura ochrany přírody a krajiny (2019). Další nález invazního raka mramorovaného ve volné přírodě [online]. Dostupné na: <http://www.ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/aopk-cr-informuje/aktuality/dalsi-nalez-invazniho-raka-mramorovaneho-ve-volne-prirode/>.
Navštíveno: 15. 4. 2020. Odkaz v textu: AOPK ČR, 2020
- Araújo, M. M. L. (2019). Evolution of northeast atlantic and mediterranean scorpionfish scorpaena and their venom protein profiles (Doctoral dissertation). Instituto Universitário para obtenção de grau de Mestre na especialidade de Biologia Marinha e Conservação.
- Auerbach, P. S., Yajko, D. M., Nassos, P. S., Kizer, K. W., McCosker, J. E., Geehr, E. C., Hadley, W. K. (1987). Bacteriology of the marine environment: implications for clinical therapy. *Annals of emergency medicine*, 16(6), 643-649. Odkaz v textu: Auerbach a kol., 1987a.
- Auerbach, P. S., Yajko, D. M., Nassos, P. S., Kizer, K. W., Morris Jr, J. A., Hadley, W. K. (1987). Bacteriology of the freshwater environment: implications for clinical therapy. *Annals of emergency medicine*, 16(9), 1016-1022. Odkaz v textu: Auerbach a kol., 1987b.
- Bagnis, R., Berglund, F., Elias, P. E., Van Esch, G. J., Halstead, B. W., Kojima, K. (1970). Problems of toxicants in marine food products: 1. Marine biotoxins. *Bulletin of the World Health Organization*, 42(1), 69.
- Bane, V., Lehane, M., Dikshit, M., O'Riordan, A., Furey, A. (2014). Tetrodotoxin: Chemistry, toxicity, source, distribution and detection. *Toxins*, 6(2), 693-755.
- Barthó, L., Sándor, Z., Bencsik, T. (2018). Effects of the venom of the brown bullhead catfish (*Ameiurus nebulosus*) on isolated smooth muscles. *Acta Biologica Hungarica*, 69(2), 135-143.

- Baruš, V., Černý, K., Gajdůšek, J., Hensel, K., Holčík, J., Kálal, L., Krupauer, V., Kux, Z., Libosvářský, J., Lom, J., Lusk, S., Moravec, F., Oliva, O., Peňáz, M., Pivnička, K., Prokeš, M., Ráb, P., Špinar, Z., Švátora, M., Vostradovský, J. (1995). Mihulovci (Petromyzontes) a ryby (Osteichthyes). ACADEMIA, Praha, 698 s. ISBN 80-200-0218-9
- Berezina, N. A., Ďuriš, Z. (2008). First record of the invasive species *Dikerogammarus villosus* (Crustacea: Amphipoda) in the Vltava River (Czech Republic). *Aquatic Invasions*, 3(4), 455-460.
- Berg, L. S. (1905). Ruby Turkestana. Tip. I. Goldberga, Sankt Peterburg.
- Berrebi, P., Cattaneo-Berrebi, G., Brun, N. L. (1993). Natural hybridization of two species of tetraploid barbels: *Barbus meridionalis* and *Barbus barbus* (Osteichthyes, Cyprinidae) in southern France. *Biological Journal of the Linnean Society*, 48(4), 319-333.
- Bertin, L. (1956): Eels, a biological study. Cleaver-Hume Press, London. 192 s.
- Bij de Vaate, A., Jazdzewski, K., Ketelaars H. A. M., Gollasch, S., Van der Velde, G. (2002). Geographical patterns in range extensions of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59 (7): 1159-1174.
- Blanco-Garrido, F., Prenda, J., Narvaez, M. (2008). Eurasian otter (*Lutra lutra*) diet and prey selection in Mediterranean streams invaded by centrarchid fishes. *Biological Invasions*, 10(5), 641-648.
- Blomkalns, A. L., Otten, E. J. (1999). Catfish spine envenomation: a case report and literature review. *Wilderness & environmental medicine*, 10(4), 242-246.
- Burns, T. A., Stalling, D. T. (1981). Gar Ichthyotoxin: Its Effect on Crayfish, with Notes on Bluegill Sunfish. *The Southwestern Naturalist*, 513-515.
- Buřič, M., Bláha, M., Kouba, A., Drozd, B. (2015). Upstream expansion of round goby (*Neogobius melanostomus*)—first record in the upper reaches of the Elbe River. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (416), 32.
- Çalta, M. (1998). Early development of Barbel (*Barbus barbus* L.) larvae. *Turkish Journal of Zoology*, 22(1), 17-22.
- Cameron, A. M., Endean, R. (1973). Epidermal secretions and the evolution of venom glands in fishes. *Toxicon*, 11(5), 401-410.
- Campos, F. V., Menezes, T. N., Malacarne, P. F., Costa, F. L., Naumann, G. B., Gomes, H. L., Figueiredo, S. G. (2016). A review on the *Scorpaena plumieri* fish venom and its bioactive compounds. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 22(1), 35.

- Carrijo, L. C., Andrich, F., De Lima, M. E., Cordeiro, M. N., Richardson, M., Figueiredo, S. G. (2005). Biological properties of the venom from the scorpionfish (*Scorpaena plumieri*) and purification of a gelatinolytic protease. *Toxicon*, 45(7), 843-850.
- Casellato, S., Visentin, A., La Piana, G. (2007). The predatory impact of *Dikerogammarus villosus* on fish. *Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats* (pp. 495-506).
- Casewell, N. R., Visser, J. C., Baumann, K., Dobson, J., Han, H., Kuruppu, S., Morgan, M., Romilio, A., Weisbecker, V., Mardon, K., Ali, S. A., Debono, J., Koludarov, I., Que, I., Bird, C., Cooke, G. M., Nouwens, A., Hodgson, W. C., Fry, B. G. (2017). The evolution of fangs, venom, and mimicry systems in blenny fishes. *Current Biology*, 27(8), 1184-1191.
- Castex, M. (1967). Fresh water venomous rays. Centro de Investigación Biológica, Avda. Mitre 3226, San Miguel FCSM, Argentina.
- Castro, J. I. (2010). *The sharks of north America*. Oxford University Press.
- Catherine, Q., Susanna, W., Isidora, E. S., Mark, H., Aurelie, V., Jean-François, H. (2013). A review of current knowledge on toxic benthic freshwater cyanobacteria—ecology, toxin production and risk management. *Water research*, 47(15), 5464-5479.
- Cerwenka, A. F., Pagnotta, A., Böker, C., Brandner, J., Geist, J., Schliewen, U. K. (2017). Little association of biological trait values with environmental variables in invasive alien round goby (*Neogobius melanostomus*). *Ecology and evolution*, 7(12), 4076-4085.
- Clark, E. (1974). The Red Sea's sharkproof fish. *National geographic*, 146(5), 719-727.
- Clark, R. F., Girard, R. H., Rao, D., Ly, B. T., Davis, D. P. (2007). Stingray envenomation: a retrospective review of clinical presentation and treatment in 119 cases. *The Journal of emergency medicine*, 33(1), 33-37.
- Coad, B. W. (2007). Freshwater Fishes of Iran, Species Accounts – Anguillidae [online]. Dostupné na: <https://web.archive.org/web/20071101011226/http://www.briancoad.com/species%20accounts/anguillidae.htm>. Navštíveno: 10. 4. 2020.
- Cohen, Y., Gurevitz, M. (2006). The cyanobacteria—ecology, physiology and molecular genetics. *The prokaryotes*, 4, 1074-1098.
- Conway, K. W., Baldwin, C., White, M. D. (2014). Cryptic diversity and venom glands in western Atlantic clingfishes of the genus *Acyrtus* (Teleostei: Gobiesocidae). *PloS one*, 9(5).

- Corkum, L. D., Sapota, M. R., Skora, K. E. (2004). The round goby, *Neogobius melanostomus*, a fish invader on both sides of the Atlantic Ocean. *Biological invasions*, 6(2), 173-181.
- Čech, M., Čech, P., Kubečka, J., Prchalová, M., Draštík, V. (2008). Size selectivity in summer and winter diets of great cormorant (*Phalacrocorax carbo*): does it reflect season-dependent difference in foraging efficiency?. *Waterbirds*, 31(3), 438-447.
- Český rybářský svaz, (2019). Statistika úlovků. Dostupné na: <https://www.rybsvaz.cz/beta/index.php/reviry/statistiky-ulovku>. Navštíveno: 13. 4. 2020.
- Da Silva, N. J., Ferreira, K. R. C., Pinto, R. N. L., Aird, S. D. (2015). A severe accident caused by an Ocellate River stingray (*Potamotrygon motoro*) in Central Brazil: how well do we really understand stingray venom chemistry, envenomation, and therapeutics?. *Toxins*, 7(6), 2272-2288.
- Daly, J. W. (2004). Marine toxins and nonmarine toxins: convergence or symbiotic organisms?. *Journal of natural products*, 67(8), 1211-1215.
- Darlene, F. O., Phee-Kheng, C. (2013). Hot water immersion as a treatment for stonefish sting: A case report. *Malaysian family physician: the official journal of the Academy of Family Physicians of Malaysia*, 8(1), 28.
- De Haro, L., Garnier, R., Arditti, J., David, J. M., Jouglard, J. (1998). Coléra des barbeaux: expérience des Centres Anti-Poisons de Marseille et de Paris. *La Presse Médicale*, 27(19), 911-912.
- De Leeuw, J. J., Winter, H. V. (2008). Migration of rheophilic fish in the large lowland rivers Meuse and Rhine, the Netherlands. *Fisheries Management and Ecology*, 15(5-6), 409-415.
- Demchenko, V. O., Tkachenko, M. Y. (2017). Biological characteristics of the round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814), from different water bodies. *Archives of Polish Fisheries*, 25(1), 51-61.
- Denac, H.; Mevissen, M.; Scholtysik, G. (2000). Structure, function and pharmacology of voltage-gated sodium channels. *Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol.* 362, 453-479.
- Devin, S., Piscart, C., Beisel, J. N., Moreteau, J. C. (2003). Ecological traits of the amphipod invader *Dikerogammarus villosus* on a mesohabitat scale. *Archiv für Hydrobiologie*, 158(1), 43-56.
- Devlin, R. H., Nagahama, Y. (2002). Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture*, 208(3-4), 191-364.
- Diaz, J. H. (2008). The evaluation, management, and prevention of stingray injuries in travelers. *Journal of travel medicine*, 15(2), 102-109.

- Dorn, N. J., Mittelbach, G. G. (1999). More than predator and prey: a review of interactions between fish and crayfish. *Vie et Milieu*, 49(4), 229-237.
- Dubský, K., Šrámek, V., Kouřil, J., (2003). *Obecné rybářství*. Informatorium, Praha. 312 s. ISBN 80-7333-019-9.
- Dvořák, P., Pyszko, M., Velíšek, J., Dvořáková Lišková, Z., Andreji, J. (2014). *Anatomie a fyziologie ryb*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany. ISBN 978-80-87437-80-3.
- Farlex and Partners (2009). The Free Dictionary, In: Medical Dictionary, "ichthyoacanthotoxism"[online]. Dostupné na: <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/ichthyoacanthotoxism>. Navštíveno: 27. 2. 2019
- Faust, M. A., Gullledge, R. A. (2002). Identifying harmful marine dinoflagellates. *Contributions from the United States National Herbarium*. 42, 1-144.
- Fiala, J., Spurný, P. (2001). Intensive rearing of the common barbel (*Barbus barbus*) larvae using dry starter feeds and natural diet under controlled conditions. *Czech Journal of Animal Science-UZPI*. 46(7), 320-326.
- Fitzsimons J., Williston B., Williston G., Bravener G., Jonas J.L., Claramunt R.M., Marsden J.E., Ellrott B.J., (2006). Laboratory estimates of salmonine egg predation by round gobies (*Neogobius melanostomus*), sculpins (*Cottus cognatus* and *C. bairdi*), and crayfish (*Orconectes propinquus*). *Journal of Great Lakes Research* 32, 227-241.
- Fondufe, G. Y., Irwin, M. E., Bottenberg, H., Kampmeier, G. E., Marsden, J. E., Chotkowski, M. A., Brigham, W. U., Post, S., Jeffords, M., Phillippe, L. R. (1995). INHS Reports, November/December 1995. INHS Reports, no. 336.
- Friedman, M. A., Fernandez, M., Backer, L. C., Dickey, R. W., Bernstein, J., Schrank, K., Bowen, R. E., Degrasse, S., Quintana, H. A. F., Loeffler, C. R., Weisman, R., Blythe, D., Berdalet, E., Ayyar, R., Clarkson-Townsend, D., Swajian, K., Benner, R., Brewer, T., Flemin, L. E., (2017). An updated review of ciguatera fish poisoning: clinical, epidemiological, environmental, and public health management. *Marine drugs*, 15(3), 72.
- Friedman, M. A., Fleming, L. E., Fernandez, M., Bienfang, P., Schrank, K., Dickey, R., Bottein, M. Y., Backer, L., Ayyar, R., Weisman, R., Watkins, S., Granade, R., Reich, A. (2008). Ciguatera fish poisoning: treatment, prevention and management. *Marine drugs*, 6(3), 456-479.
- Froese, R., Pauly, D. (2019). FishBase. World Wide Web electronic publication. (12/2019). Dostupné na: <https://www.fishbase.se/summary/Barbus-barbus.html>. Navštíveno: 12. 4. 2020. Odkaz v textu: Froese a Pauly, 2019c.

- Froese, R., Pauly, D. (2019). FishBase. World Wide Web electronic publication., (12/2019).
Dostupné na: www.fishbase.org. Navštíveno: 12. 4. 2020. Odkaz v textu: Froese a pauly, 2019d.
- Froese, R., Pauly, D., (2019). FishBase. World Wide Web electronic publication. (12/2019).
Dostupné na: <https://www.fishbase.se/summary/Synanceia-horrida.html>. Navštíveno: 11. 4. 2020. Odkaz v textu: Froese a Pauly, 2019a.
- Froese, R., Pauly, D., (2019). FishBase. World Wide Web electronic publication. (12/2019).
Dostupné na: <https://www.fishbase.se/summary/Carasobarbus-luteus.html>. Navštíveno: 11. 4. 2020. Odkaz v textu: Froese a Pauly, 2019b.
- Fu, M., Koulman, A., van Rijssel, M., Lützen, A., de Boer, M. K., Tyl, M. R., Liebezeit, G. (2004).
Chemical characterisation of three haemolytic compounds from the microalgal species *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *Toxicon*, 43(4), 355-363.
- Fuhrman, F. A. (1974). Fish eggs. In: Liener, I. E. Toxic Constituents of Animal Foodstuffs. Academic Press, New York.
- Fuhrman, F. A., Fuhrman, G. J., Dull, D. L., Mosher, H. S. (1969). Toxins from eggs of fishes and amphibia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 17(3), 417-424.
- Gaillard, C. (1923). Recherches sur les poissons représentés dans quelques tombeaux de l'ancien empire. *Mémoires Institut Francais d'Archaeologie Oriental*, 51, 1-136.
- Gebauer, R., Veselý, L., Kouba, A., Buřič, M., Drozd, B. (2018). Forecasting impact of existing and emerging invasive gobiids under temperature change using comparative functional responses. *Aquatic Invasions*, 13(2), 289-297.
- Gerstmeier, R., Romig, T., (2003). Sladkovodní ryby Evropy. Víkend, Stuttgart.
- Golani, D., Sonin, O. (1992). New records of the Red Sea fishes, *Pterois miles* (Scorpaenidae) and *Pteragogus pelycus* (Labridae) from the eastern Mediterranean Sea. *Japanese Journal of Ichthyology*, 39(2), 167-169.
- Gomes, H. L., Menezes, T. N., Carnielli, J. B., Andrich, F., Evangelista, K. S., Chávez-Olórtegui, C., Vassallo, V. S., Figueiredo, S. G. (2011). Stonefish antivenom neutralises the inflammatory and cardiovascular effects induced by scorpionfish *Scorpaena plumieri* venom. *Toxicon*, 57(7-8), 992-999.
- Gratzer, B., Millesi, E., Walzl, M., Herler, J. (2015). Skin toxins in coral-associated *Gobiodon* species (Teleostei: Gobiidae) affect predator preference and prey survival. *Marine Ecology*, 36(1), 67-76.

- Gutekunst, J., Andriantsoa, R., Falckenhayn, C., Hanna, K., Stein, W., Rasamy, J., Lyko, F. (2018). Clonal genome evolution and rapid invasive spread of the marbled crayfish. *Nature ecology & evolution*, 2(3), 567.
- Haddad Jr, V., Neto, D. G., de Paula Neto, J. B., de Luna Marques, F. P., Barbaro, K. C. (2004). Freshwater stingrays: study of epidemiologic, clinic and therapeutic aspects based on 84 envenomings in humans and some enzymatic activities of the venom. *Toxicon*, 43(3), 287-294.
- Haddad Jr, V., Pardal, P. P. O., Cardoso, J. L. C., Martins, I. A. (2003). The venomous toadfish *Thalassophryne nattereri* (niquim or miquim): report of 43 injuries provoked in fishermen of Salinópolis (Pará State) and Aracaju (Sergipe State), Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 45(4), 221-223.
- Halstead, B. W. (1958). Poisonous fishes. *Public Health Reports*, 73(4), 302.
- Halstead, B. W. (1967). *Poisonous and Venomous Marine Animals of the World Vol 2 Vertebrates*. Govern Printing Office.
- Halstead, B. W. (1970). *Poisonous and Venomous Marine Animals of the World. Vol 3: Vertebrates Continued*. US Government Printing Office.
- Halstead, B. W., Chitwood, M. J., Modglin, F. R. (1955). The anatomy of the venom apparatus of the zebrafish, *Pterois volitans* (Linnaeus). *The Anatomical Record*, 122(3), 317-333.
- Hanel, L., Lusk, S., (2005). *Ryby a mihule České republiky. Český svaz ochránců přírody, Vlašim*. 447 s. ISBN 80-86327-49-3.
- Hanifin, C. T. (2010). The chemical and evolutionary ecology of tetrodotoxin (TTX) toxicity in terrestrial vertebrates. *Marine Drugs*, 8(3), 577-593.
- Harris, R. J., Jenner, R. A. (2019). Evolutionary ecology of fish venom: adaptations and consequences of evolving a venom system. *Toxins*, 11(2), 60.
- Hashimoto, Y., Oshima, Y. (1972). Separation of grammistins A, B and C from a soapfish *Pogonoperca punctata*. *Toxicon*, 10(3), 279-284.
- Hayes, A. J., Sim, A. J. W. (2011). Ratfish (Chimaera) spine injuries in fishermen. *Scottish medical journal*, 56(3), 161-163.
- Hossain, M. S., Patoka, J., Kouba, A., Buřič, M. (2018). Clonal crayfish as biological model: a review on marbled crayfish. *Biologia*, 73(9), 841-855.
- Hrdina, V., Měrka, V., Patočka, J., Hrdina, R. (2008). Fykotoxiny a některé méně známé toxiny mořského původu. *Vojenské zdravotnické listy. Ročník LXXVII, č. 3*.

- Hugula, J. L., Philippart, J. C., Kremers, P., Goffinet, G., & Thomé, J. P. (1995). PCB contamination of the common barbel, *Barbus barbus* (Pisces, Cyprinidae), in the River Meuse in relation to hepatic monooxygenase activity and ultrastructural liver change. *Netherland Journal of Aquatic Ecology*, 29(1), 135-145.
- Hunt, P. C., Jones, J. W. (1975). A population study of *Barbus barbus* L. in the River Severn, England: III. Growth. *Journal of Fish Biology*, 7(3), 361-376.
- Charnigo, A., Thiele, G., Ondrus, R. J. (2019). Stingray Sting. StatPearls [online]. StatPearls Publishing.
- Chau, R.; Kalaitzis, J.A. (2011). Neilan, B.A. On the origins and biosynthesis of tetrodotoxin. *Aquat. Toxicol.* 104, 61–72.
- Chotkowski, M. A., Marsden, J. E. (1999). Round goby and mottled sculpin predation on lake trout eggs and fry: field predictions from laboratory experiments. *Journal of Great Lakes Research*, 25(1), 26-35.
- Church, J. E., Hodgson, W. C. (2001). Stonefish (*Synanceia* spp.) antivenom neutralises the in vitro and in vivo cardiovascular activity of soldierfish (*Gymnapistes marmoratus*) venom. *Toxicon*, 39(2-3), 319-324.
- Church, J. E., Hodgson, W. C. (2002). The pharmacological activity of fish venoms. *Toxicon*, 40(8), 1083-1093.
- Church, J. E., Hodgson, W. C. (2003). Stonefish (*Synanceia trachynis*) antivenom: in vitro efficacy and clinical use. *Journal of Toxicology: Toxin Reviews*, 22(1), 69-76.
- Indumathi, S. M., Khora, S. S. (2013). Ostracitoxin-a potent natural fish poison. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 4(3).
- Ivan, C., Matteo, R., Gianfranco, C. (2018). Barbel cholera, a rare but still possible food-borne poisoning. Case report and narrative review. *Acta bio-medica: Atenei Parmensis*, 89(4), 590.
- Izquierdo, M. S., Fernandez-Palacios, H., Tacon, A. G. J. (2001). Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*, 197(1-4), 25-42.
- Jawad L. A., (2018). *Dangerous Fishes of the Eastern and Southern Arabian Peninsula*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland. ISBN 978-3-319-57926-9 (eBook).
- Kao, C. Y. (1966). Tetrodotoxin, saxitoxin and their significance in the study of excitation phenomenon. *Pharm. Rev.*, 18, 997-1.
- Karjalainen, J., Ruokonen, T. J., Marjomäki, T. J., Martikainen, A., Pursiainen, M., Sarvala, J., Ventelä, A. M. (2015). Predation by signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* on fish eggs and its consequences for coregonid recruitment. *Journal of Fish Biology*, 86(2), 651-667.

- Keller, N. S., Pfeiffer, M., Roessink, I., Schulz, R., Schrimpf, A. (2014). First evidence of crayfish plague agent in populations of the marbled crayfish (*Procambarus fallax* forma *virginalis*). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (414), 15.
- Khoo, H. E. (2002). Bioactive proteins from stonefish venom. *Clinical and experimental pharmacology and physiology*, 29(9), 802-806.
- Khoo, H. E., Yuen, R., Poh, C. H., Tan, C. H. (1992). Biological activities of *Synanceja horrida* (stonefish) venom. *Natural toxins*, 1(1), 54-60.
- Kirschner, L. B. (1991). Water and ions. *Environmental and metabolic animal physiology*, 13-107.
- Komárek, S., (2004). *Mimikry, aposematismus a příbuzné jevy: mimetismus v přírodě a vývoj jeho poznání. Ilustrace: Stibral K. Dokořán, Praha. 92 s. ISBN 80-86569-72-1.*
- Kornalík, F., (1967). *Živočišné toxiny. Státní zdravotnické nakladatelství, n. p., Praha. 288 s.*
- Kotipoyina, H. R., Warrington, S. J. (2019). Tetrodotoxin Toxicity. In StatPearls [online]. StatPearls Publishing. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507714/>. Navštíveno: 1. 4. 2020.
- Kotlík, P., Berrebi, P., (2001). Phylogeography of the barbel (*Barbus barbus*) assessed by mitochondrial DNA variation. *Molecular Ecology*, 10(9), 2177-2185.
- Kotlík, P., Bogutskaya, N. G., Ekmekci, F. G., (2004). Circum Black Sea phylogeography of *Barbus* freshwater fishes: divergence in the Pontic glacial refugium. *Molecular Ecology*, 13(1), 87-95
- Kottelat, M., Freyhof, J. (2008). *Barbus barbus*. The IUCN Red List of Threatened Species [online]. IUCN 2011.1, Version 2020-1.
- Kottelat, M., Freyhof, J., (2007). *Handbook of European fresh water fishes*. Kottelat, Cornol a Freyhof, Berlín. 646 s. ISBN: 9782839902984
- Kozák, P., Ďuriš, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká, I., Kouba, A., Kozubíková-Balcarová, E., Polícar, T. (2015). *Biologie a chov raků. 2., aktualizované vydání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany. ISBN 978-80-7514-032-6.*
- Krupka, I., (1983). *Rozšírenie, systematická príslušnosť, vybrané časti biológie a biotechnológie umelej reprodukcie mreny obyčajnej (Barbus barbus (Linnaeus, 1758)).* Kand. dis. práca, Laboratórium rybárstva a hydrobiológie, Bratislava, 142 s., nepubl.
- Kůrka A., Pflieger V., (1984). *Jedovatí živočichové. Academia, Praha, 168 s. ISBN: 21-092-84*
- Lajbner, Z. (2004). *Využití cytonukleárních genetických markerů při studiu mezidruhového křížení palem (rod Barbus) v přírodní populaci. Diplomová práce, Univerzita Karlova,*

- Přírodovědecká fakulta, Katedra zoologie, Praha, 76 s. Dostupné na: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/95897/150038955.pdf?sequence=1>. Navštíveno: 12. 4. 2020.
- Lajbner, Z., Šlechtová, V., Šlechta, V., Švátora, M., Berrebi, P., Kotlik, P. (2009). Rare and asymmetrical hybridization of the endemic *Barbus carpathicus* with its widespread congener *Barbus barbus*. *Journal of Fish Biology*, 74(2), 418-436.
- Layton, J. (2008). „How do stingrays kill?“. In: HowStuffWorks.com [online]. Dostupné na: <https://animals.howstuffworks.com/fish/stingray.htm>. Navštíveno: 27. 3. 2020
- Lewis, R. J., Endean, R. (1983). Occurrence of a ciguatera-like substance in the Spanish mackerel (*Scomberomorus commersoni*). *Toxicon*, 21(1), 19-24.
- Lie, O. (1993). Broodstock nutrition in cod *Gadus morhua* effect of dietary fatty acids. *Fiskeridir Skr Ser Ernaer*, 6, 11-19.
- Lichtenberger, M. (2007). Moray eels bite–But are they poisonous?. In: Wet Web Media [online]. Dostupné na: http://www.wetwebmedia.com/ca/volume_5/volume_5_2/moraysNEW.htm. Navštíveno: 12. 4. 2020.
- Litaker, R. W., Vandersea, M. W., Faust, M. A., Kibler, S. R., Nau, A. W., Holland, W. C., Chinain, M., Holmes, M. J., Tester, P. A. (2010). Global distribution of ciguatera causing dinoflagellates in the genus *Gambierdiscus*. *Toxicon*, 56(5), 711-730.
- Ljubojevic, D., Trbovic, D., Lujic, J., Bjelic-Cabrilo, O., Kostic, D., Novakov, N., Cirkovic, M. (2013). Fatty acid composition of fishes from inland waters. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(1), 62-71.
- Losos, B., Peňáz, M., Kubičková, J. (1980). Food and growth of fishes of the Jihlava river. *Acta Scientiarum Naturalium Brno*, 14 (1), 1-46.
- Loyo, J., Lugo, L., Cazorla, D., Acosta, M. E. (2008). Scorpionfish (*Scorpaena plumieri*) envenomation in a fishing and turistic community of Paraguana peninsula, Falcon state, Venezuela: clinical, epidemiological and treatment aspects. *Investigación clínica*, 49(3), 299-307.
- Luquet, P., Watanabe, T. (1986). Interaction “nutrition-reproduction” in fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2(1-4), 121-129.
- Lusk, S. (1996). Development and status of populations of *Barbus barbus* in the waters of the Czech Republic. *Folia Zoologica*, 45(1), 39-46.

- Lusk, S., Lusková, V., Hanel, L. (2010). Alien fish species in the Czech Republic and their impact on the native fish fauna. *Journal of Vertebrate Biology*, 59(1), 57-72.
- Lyko, F. (2017). The marbled crayfish (Decapoda: Cambaridae) represents an independent new species. *Zootaxa*, 4363(4), 544-552.
- Madgwick, G., Aldridge, D. C. (2011). Killer shrimps in Britain: hype or horror. *British Wildlife*, 22(6), 408-412.
- Magarlamov, T. Y., Melnikova, D. I., Chernyshev, A. V. (2017). Tetrodotoxin-producing bacteria: Detection, distribution and migration of the toxin in aquatic systems. *Toxins*, 9(5), 166.
- Mahen J. (1929-1931). Příspěvek k systematice ryb kaprovitých I. a II. Sb. klubu přírodověd, Brno.
- Machordom, A., Doadrio, I. (2001). Evolutionary history and speciation modes in the cyprinid genus *Barbus*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1473), 1297-1306.
- Mancini, I., Defant, A., Mesarič, T., Potočnik, F., Batista, U., Guella, G., Turk, T., Sepčić, K. (2011). Fatty acid composition of common barbel (*Barbus barbus*) roe and evaluation of its haemolytic and cytotoxic activities. *Toxicon*, 57(7-8), 1017-1022.
- Martin, P., Thonagel, S., Scholtz, G. (2016). The parthenogenetic Marmorcrebs (Malacostraca: Decapoda: Cambaridae) is a triploid organism. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 54(1), 13-21.
- Mason, K., Evans, D. O. (2011). Predation of lake trout and lake whitefish embryos by crayfish: Implications of shifts in crayfish dominance in Lake Simcoe. *Journal of Great Lakes Research*, 37(3), 113-123.
- Matić-Piantanida, D., Vidaković-Bival, V., Radman, V., Maretić, Z. (1980). Antisera Against Weever and Scorpion Fish Venoms a Preliminary Report. *Natural Toxins*, 99-108.
- Melton, R. J., Randall, J. E., Fusetani, N., Weiner, R. S., Couch, R. D., Sims, J. K. (1984). Fatal sardine poisoning. *Hawaii Med. J*, 43(4), 114-120.
- Muller, G. J. (2006). Poisonous and venomous marine animals: clinical. *SA Pharmaceutical Journal*, 73(10), 44-46.
- Müller, H., Müller, P. (1987). *Fische Europas*. Ilustroval Scholz, J. Neumann Verlag, Leipzig. Beobachten und bestimmen. ISBN 3-7402-0044-8.
- Musil, J., Drozd, B., Bláha, M., Gallardo, J. M., Randák, T. (2008). First records of the black bullhead, *Ameiurus melas* in the Czech Republic freshwaters. *Cybium*, 32(4), 352-354.

- Myers, P., Espinosa R., Parr C. S., Jones T., Hammond G. S., Dewey T. A., (2020). The Animal Diversity Web [online databáze]. Dostupné na: <https://animaldiversity.org/accounts/Barbus/classification/>. Navštíveno 4. 4. 2020. Odkaz v textu: Animal Diversity Web, 2020.
- Najafpour, N., Coad, B. W. (2002). Ichthyootoxism in *Barbus luteus* from Iran (Actinopterygii: Cyprinidae). *Zoology in the Middle East*, 26(1), 129-131.
- Nakada, M., Hatayama, Y., Ishikawa, A., Ajisaka, T., Sawayama, S. Imai, I. (2018). Seasonal distribution of *Gambierdiscus* spp. in Wakasa Bay, the Sea of Japan, and antagonistic relationships with epiphytic pennate diatoms. *Harmful algae*, 76, 58-65.
- Narahashi, T., Moore, J. W., Scott, W. R. (1964). Tetrodotoxin blockage of sodium conductance increase in lobster giant axons. *The Journal of general physiology*, 47(5), 965-974.
- Nelson, J. S., Grande, T. C., Wilson, M. V. (2016). *Fishes of the World*. 5th. Edition. John Wiley & Sons. 752 s. ISBN: 978-1-118-34233-6
- Nesemann, H., Pöckl, M., Wittmann, K. J. (1995). Distribution of epigeal Malacostraca in the middle and upper Danube (Hungary, Austria, Germany). *Miscellanea zoologica hungarica*, 10, 49-68.
- Netsch, N. F., Witt Jr, A. (1962). Contributions to the life history of the longnose gar, (*Lepisosteus osseus*) in Missouri. *Transactions of the American Fisheries Society*, 91(3), 251-262.
- Ngo, S. Y. A., Ong, S. H. J., Ponampalam, R. (2009). Stonefish envenomation presenting to a Singapore hospital. *Singapore medical journal*, 50(5), 506-509.
- Noguchi, T., Arakawa, O. (2008). Tetrodotoxin–distribution and accumulation in aquatic organisms, and cases of human intoxication. *Marine drugs*, 6(2), 220-242.
- Noguchi, T., Ebesu, J. S. (2001). Puffer poisoning: epidemiology and treatment. *Journal of Toxicology: Toxin Reviews*, 20(1), 1-10.
- O'Connell, C., Myatt, T., Clark, R. F., Coffey, C., Nguyen, B. J. (2019). Stingray Envenomation. *Journal of Emergency Medicine*, 56(2), 230-231.
- Oldfield, R. G. (2007). Biology, husbandry, and reproduction of freshwater stingrays [online]. Dostupné na: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/51533/Oldfield_?sequence=1. Navštíveno: 18. 3. 2020.
- Onuma, Y., Satake, M., Ukena, T., Roux, J., Chanteau, S., Rasolofonirina, N., Ratsimaloto, M., Naoki, H., Yasumoto, T. (1999). Identification of putative palytoxin as the cause of clupeotoxism. *Toxicon*, 37(1), 55-65.

- Oren, Z., Shai, Y. (1996). A class of highly potent antibacterial peptides derived from pardaxin, a pore-forming peptide isolated from Moses sole fish *Pardachirus marmoratus*. *European Journal of Biochemistry*, 237(1), 303-310.
- Ostrand, K. G., Thies, M. L., Hall, D. D., Carpenter, M. (1996). Gar ichthyotoxin: Its effect on natural predators and the toxin's evolutionary function. *The Southwestern Naturalist*, 41(4), 375-377.
- Patoka, J., Buřič, M., Kolář, V., Bláha, M., Petrtýl, 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 (12), 1380-1385.
- Peňáz, M., Svobodová, Z., Baruš, V., Prokeš, M., Drastichová, J., (2005). Endocrine disruption in a barbel, *Barbus barbus* population from the River Jihlava, Czech Republic. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(5), 420-428.
- Peňáz, M., Svobodová, Z., Hejtmánek, M., Trnková, J. (1979). Mercury contents in muscles of fishes from the Jihlava River. *Folia Zoologica*, 28(2), pp 171-176.
- Petrusek, A., (2006). *Dikerogammarus villosus* (Sovinsky, 1894), blešivec velkohrbý. In: Mlíkovský, J., Stýblo, P. *Nepůvodní druhy fauny a flóry České republiky*. ČSOP, Praha, 233-234. ISBN: 80-86770-17-6
- Piria, M., Treer, T., Aničić, I., Safner, R., Odak, T. (2005). The natural diet of five cyprinid fish species. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 70(1), 21-28.
- Pivnička, K., Švátora, M., Křížek, J., Humpl, M., Sýkora, P., (2005). Fish assemblages in the Berounka river and its tributaries (Úhlava and Mže) in 1975 – 2004, environmental parameters, fishery statistics, and electroshocker data. *Acta Universitatis Carolinae - Environmentalica*, 19, 33 – 90
- Polícar, T., Drozd, B., Kouřil, J., Hamáčková, J., Alavi, S. M. H., Vavrečka, A., Kozák P. (2009). Současný stav, umělá reprodukce a odchov násadového materiálu pamy obecné (*Barbus barbus* L.) Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Vodňany, 43 s.
- Polícar, T., Kozák, P., Hamáčková, J., Lepičová, A., Musil, J., Kouřil, J. (2007). Effects of short-time *Artemia* spp. feeding in larvae and different rearing environments in juveniles of common barbel (*Barbus barbus*) on their growth and survival under intensive controlled conditions. *Aquatic Living Resources*, 20(2), 175-183.
- Poncín, P., Thiry, M., Lepoint, A., Philippart, J. C. (1996). Histological and biometrical study of intraovarian oocytes in barbel (*Barbus barbus*) reared in captivity. *Folia Zoologica*, 45(1), 117.

- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing.: R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, Dostupné na: <https://www.R-project.org/>. Navštíveno: 18. 4. 2020.
- Ralls, R. J., Halstead, B. W. (1955). Moray Eel Poisoning and a Preliminary Report on the Action of the Toxin. The American journal of tropical medicine and hygiene, 4(1), 136-140.
- Randall, J. E. (2005). Review of clupeotoxism, an often fatal illness from the consumption of clupeoid fishes. Pacific science, 59(1), 73-77.
- Ray, W. J., Corkum, L. D. (2001). Habitat and site affinity of the round goby. Journal of Great Lakes Research, 27(3), 329-334.
- Rensch, G, Murphy-Lavoie, HM. (2018). Lionfish, Scorpionfish, And Stonefish Toxicity. [Updated 2018 Oct 27]. In: StatPearls [online]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482204/>. Navštíveno: 1. 2. 2020.
- Reynolds, J. D. (2002). Growth and reproduction. Biology of freshwater crayfish, 152-191.
- Roche, K., Janáč, M., Šlapanský, L., Mikl, L., Kopeček, L., Jurajda, P. (2015). A newly established round goby (*Neogobius melanostomus*) population in the upper stretch of the river Elbe. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, (33), 416-427.
- Roskov, Y., Ower, G., Orrell, T., Nicolson, D., Bailly, N., Kirk, P. M., Bourgoin, T., De Walt, R. E., Decock, W., Nieukerken, E., van Penev, L. (2020). Species 2000 & ITIS. In: Catalogue of Life, 2020-02-24 [online databáze]. Dostupné na: <http://www.catalogueoflife.org/col/browse/tree/id/655300e5b96a3dc5e76e02175c3aa191>. Navštíveno: 2. 4. 2020. ISSN 2405-8858
- Russell, F. E. (1969). 8 Poisons and Venoms. In Fish physiology (Vol. 3, pp. 401-449). Academic Press.
- Russell, F. E. (1975). Poisonous and venomous marine animals and their toxins. Annals of the New York Academy of Sciences, 245, 57-64.
- Russell, F. E. (1983). Weever fish sting: the last word. British medical journal (Clinical research ed.), 287(6397), 981-982.
- Santoul, F. (2005). The diet of great cormorants *Phalacrocorax carbo* wintering in southwestern France. Revue d'écologie, 60(1), 83-87.
- Sapota, M. R., Skóra, K. E. (2005). Spread of alien (non-indigenous) fish species *Neogobius melanostomus* in the Gulf of Gdansk (south Baltic). Biological Invasions, 7(2), 157-164.
- 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 Part A: Comparative Experimental Biology*, 303(5), 393-405.
- Shepherd, S., Thomas, S. H., Stone, C. K. (1994). Catfish envenomation. *Journal of Wilderness Medicine*, 5(1), 67-70.
- Scholtz G., Braband A., Tolley L., Reimann A., Mittmann B., Lukhaup C., Steuerwald F., Vogt G., (2003). Parthenogenesis in an outsider crayfish. *Nature*, 421(6925), 806-806.
- Schönborn, W., (2013). *Lehrbuch der Limnologie*. Schweizerbart Sche Vlgsgb, Stuttgart. ISBN 978-3-510-65204-4
- Sivan, G. (2009). Fish venom: pharmacological features and biological significance. *Fish and fisheries*, 10(2), 159-172.
- Smith, W. L., Stern, J. H., Girard, M. G., Davis, M. P. (2016). Evolution of venomous cartilaginous and ray-finned fishes. *Integrative and Comparative Biology*, 56(5), 950–961.
- Smith, W. L., Wheeler, W. C. (2006). Venom Evolution Widespread in Fishes: A Phylogenetic Road Map for the Bioprospecting of Piscine Venoms. *Journal of Heredity*, 97(3), 206–217.
- Starcová, B. (2003). *Amphipoda povrchových vod České republiky*. Diplomová práce, Masarykova univerzita, Fakulta přírodních věd, Brno, 105 s.
- Steinhart, G. B., Marschall, E. A., Stein, R. A. (2004). Round goby predation on smallmouth bass offspring in nests during simulated catch-and-release angling. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133(1), 121-131.
- Sunjog, K., Gačić, Z., Kolarević, S., Višnjić-Jeftić, Ž., Jarić, I., Knežević-Vukčević, J., Vuković-Gačić, B., Lenhardt, M. (2012). Heavy metal accumulation and the genotoxicity in barbel (*Barbus barbus*) as indicators of the Danube River pollution. *The Scientific World Journal*, 2012, 6 s. ID 351074.
- Sysová, J. (2001). „Parnová cholera“ – onemocnění u člověka. *Klinická mikrobiologie a infekční lékařství*, 9/10, 259. ISSN: 1211-264X.
- Šlapanský L., Janáč M., Roche K., Mikl L., Jurajda P., (2017). Expansion of round gobies in a non-navigable river system. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 67, 27-36.
- Špaček, J., Koza, V., Havlíček, V. (2003). Isopoda, Amphipoda and Decapoda on monitoring profiles on Labe River in the Czech Republic. *Acta Facultatis Ecologiae*, 10(1), 309.
- Švagrová K. (2017). Interakce nepůvodních druhů korýšů ve vodách ČR: Lovec nebo kořist?. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, České Budějovice. 72 s.

- Takagi, T., Hayashi, K., Itabashi, Y., (1984). Toxic effect of free unsaturated fatty acids in the mouse assay of diarrhetic shellfish toxin by intraperitoneal injection. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 50(8), 1413–1418
- Terofal, F., (1997). *Sladkovodní ryby v evropských vodách*. Ikar, Praha, 108 s.
- Tesch, F. W. (2008). *The eel*. Blackwell Science, Ltd, a Blackwell Publishing Company, Oxford. 408 s. ISBN 0-632-06389-0
- Thomas, C. L. (2012). Crayfish: scavenger or deadly predator? Examining a potential predator-prey relationship between crayfish and benthic fish in aquatic food webs. *Disertační práce*. University of Illinois at Urbana-Champaign, Natural Rescue & Environmental Sciences. 55 s.
- Thomson, D. A. (1964). Ostracitoxin: an ichthyotoxic stress secretion of the boxfish, *Ostracion lentiginosus*. *Science*, 146(3641), 244-245.
- Tomczak M. T., Sapota M. R., (2006). The fecundity and gonad development cycle of the round goby (*Neogobius melanostomus* Pallas 1811) from the Gulf of Gdańsk. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 35(4), 353-367.
- Tozer, H., Didier, D. D. (2004). Husbandry of spotted ratfish, *Hydrolagus colliei*. In: *The Elasmobranch Husbandry Manual: Captive Care of Sharks, Rays and their Relatives* Ohio Biological Survey, 33, 487-491.
- Traylor, J., Singhal, M. (2019). Ciguatera Toxicity. In: *StatPearls* [online]. StatPearls Publishing. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482511/>. Navštíveno: 6. 4. 2020.
- Truhlar, A. M., Dodd, J. A., Aldridge, D. C. (2014). Differential leaf-litter processing by native (*Gammarus pulex*) and invasive (*Dikerogammarus villosus*) freshwater crustaceans under environmental extremes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(1), 56-65.
- U.S. Food and Drug Administration (2011). *Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance*, 4th ed. Dostupné na: <https://www.fda.gov/food/seafood-guidance-documents-regulatory-information/fish-and-fishery-products-hazards-and-controls>. Navštíveno: 6. 4. 2020.
- Valenta, M., Ráb, P., Stratil, A., Kalal, L., Oliva, O. (1979). Karyotypes, heterogeneity and polymorphism of proteins in the tetraploid species *Barbus meridionalis* and its hybrids with *Barbus barbatus*. *Proc. XVIth Anim. Blood Groups Biochem. Polymorph.*, 4, 204-214.
- Vašek, M., Všeticková, L., Roche, K., Jurajda, P. (2014). Diet of two invading gobiid species (*Proterorhinus semilunaris* and *Neogobius melanostomus*) during the breeding and

- hatching season: no field evidence of extensive predation on fish eggs and fry. *Limnologica*, 46, 31-36.
- Velíšek J., Svobodová Z., Blahová J., Máchová J., Stará A., Dobšíková R., Šíroková Z., Modrá H., Valentová O., Randák T., Štěpánová S., Kocour Kroupová H., Maršálek P., Grabic R., Zusková E., Bartošková M., Stancová V., 2014. *Vodní toxikologie pro rybáře*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany. 600 s. ISBN 978-8087437-89-6.
- Veselý, L., Boukal, D. S., Buřič, M., Kuklina, I., Fořt, M., Yazicioglu, B., Prchal, M., Kozák, P., Kouba, A., Sentis, A. (2019). Temperature and prey density jointly influence trophic and non-trophic interactions in multiple predator communities. *Freshwater Biology*, 64(11), 1984-1993.
- Vick, J. A., Wiles, J. S. (1975). The mechanism of action and treatment of palytoxin poisoning. *Toxicology and applied pharmacology*, 34(2), 214-223.
- Vindimian E., Namour P., Migeon B., Garric J., (1991). In situ pollution induced cytochrome P450 activity of freshwater fish: barbel (*Barbus barbus*), chub (*Leuciscus cephalus*) and nase (*Chondrostoma nasus*). *Aquatic Toxicology*, 21(3-4), 255-266.
- Vodovsky, N., Patoka, J., Kouba, A. (2017). Ecosystem of Caspian Sea threatened by pet-traded non-indigenous crayfish. *Biological Invasions*, 19(7), 2207-2217.
- Vogt, G. (2010). Suitability of the clonal marbled crayfish for biogerontological research: a review and perspective, with remarks on some further crustaceans. *Biogerontology*, 11(6), 643-669.
- Vogt, G., Falckenhayn, C., Schrimpf, A., Schmid, K., Hanna, K., Panteleit, J., Helm, M., Schulz, R., Lyko, F. (2015). The marbled crayfish as a paradigm for saltational speciation by autopolyploidy and parthenogenesis in animals. *Biology open*, 4(11), 1583-1594.
- Vogt, G., Lukhaup, C., Williams, B. W., Pfeiffer, M., Dorn, N. J., Schulz, R., Schrimpf, A. (2018). Morphological characterization and genotyping of the marbled crayfish and new evidence on its origin. *Zootaxa*, 4524(3), 329-350.
- Von Siebold, C. T. E. (1863). *Die Süßwasserfische von Mitteleuropa*. Engelmann.
- Vrecl, M., Jenčič, V. (2016). Occurrence of intersex in wild freshwater fish in Slovenian rivers: a histological evaluation. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 67(3), 216-222.
- Vyhláška 166/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny ve znění pozdějších předpisů, v souvislosti s vytvářením soustavy NATURA 2000.

- Wei, F., Ma, T., Gong, X., Zhang, N., Bao, B. (2015). Identification of tetrodotoxin-producing bacteria from goby *Yongeichthys criniger*. *Toxicon*, 104, 46-51.
- White, A. W. (1977). Dinoflagellate toxins as probable cause of an Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) kill, and pteropods as apparent vector. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34(12), 2421-2424.
- White, J., Meier, J. (2017). *Handbook of clinical toxicology of animal venoms and poisons*. CRC press. 768 s. ISBN 9780849344893
- Whitear, M., Zaccone, G., Ricca, M. B., Cascio, P. L. (1991). Fine structure and histochemistry of the venom gland in the Indian stinging catfish (*Heteropneustes fossilis*). *Journal of Zoology*, 224(3), 479-489.
- Whitfield, P. E., Gardner, T., Vives, S. P., Gilligan, M. R., Courtenay Jr, W. R., Ray, G. C., Hare, J. A. (2002). Biological invasion of the Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* along the Atlantic coast of North America. *Marine Ecology Progress Series*, 235, 289-297.
- Whitton, B. A., Potts, M. (2007). *The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space*. Springer Science & Business Media. 316 s. ISBN 978-0-306-46855-1
- Wiegleb, J., Kotterba, P., Hammer, C., Oesterwind, D. (2018). Predation of the round goby (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) on Atlantic herring eggs in the Western Baltic Sea. *Marine Biology Research*, 14(9-10), 989-1003.
- Williams, B. L. (2010). Behavioral and chemical ecology of marine organisms with respect to tetrodotoxin. *Marine Drugs*, 8(3), 381-398.
- Worischka, S., Richter, L., Hänig, A., Hellmann, C., Becker, J., Kratina, P., Winkelmann, C. (2018). Food consumption of the invasive amphipod *Dikerogammarus villosus* in field mesocosms and its effects on leaf decomposition and periphyton. *Aquatic Invasions*, 13(2), 261-275.
- Wright, J. J. (2009). Diversity, phylogenetic distribution, and origins of venomous catfishes. *BMC Evolutionary Biology*, 9(1), 282.
- Wright, J. J. (2015). Evolutionary history of venom glands in the Siluriformes. *Evolution of venomous animals and their toxins*, 1-19.
- Wu, C. H. (2009). Palytoxin: membrane mechanisms of action. *Toxicon*, 54(8), 1183-1189.
- Wunder, W. (1936). *Physiologie der süßwasserfische Mitteleuropas*. Schweizerbart Sche Vlgsb, Stuttgart. ISBN 978-3-510-41005-7

- You, J., Yue, Y., Xing, F., Xia, W., Lai, S., Zhang, F. (2015). Tetrodotoxin poisoning caused by Goby fish consumption in southeast China: A retrospective case series analysis. *Clinics*, 70(1), 24-29.
- Zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.
- Zenebe, T., Ahlgren, G., Boberg, M., (1998). Fatty acid content of some freshwater fish of commercial importance from tropical lakes in the Ethiopian Rift Valley. *Journal of Fish Biology*, 53(5), 987–1005.
- Ziegman, R., Alewood, P. (2015). Bioactive components in fish venoms. *Toxins*, 7(5), 1497-1531
- Zicha O. (1999-2019). BioLib. Dostupné na: www.biolib.cz. Navštíveno: 28. 3. 2020.
- Zuur, A., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer Science & Business Media. ISBN: 978-0-387-87457-9.

8 Přílohy

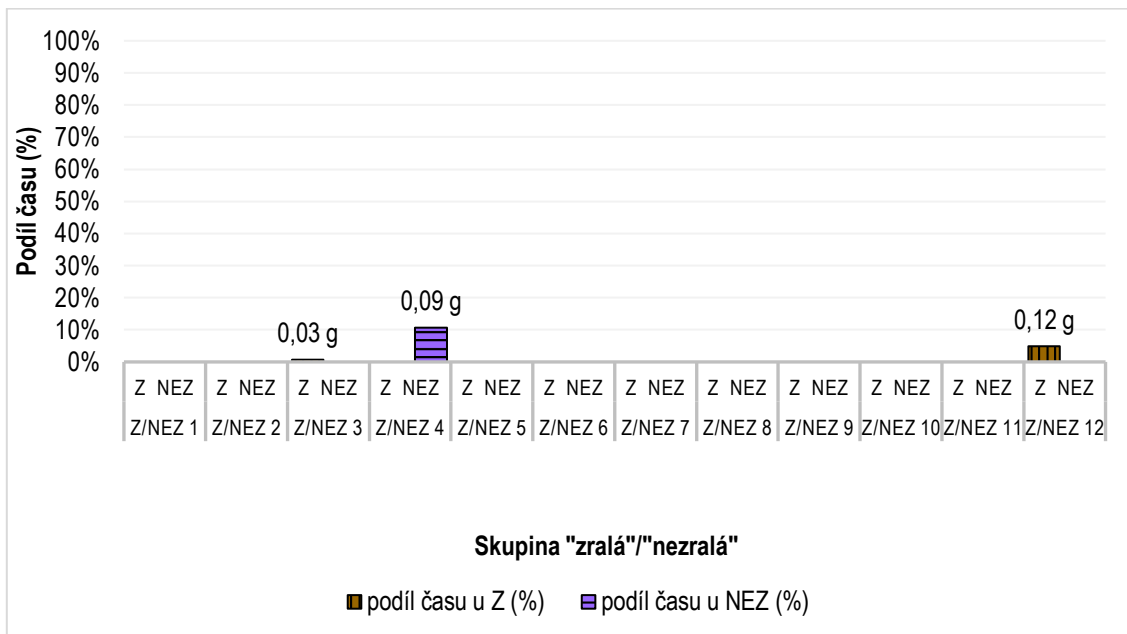
Příloha 1: Naměřené teploty uvedené ve °C během jednotlivých testů. Hodnoty jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka (rozmezí). Uvedené zkratky: DH – délka hlavohruď; SL – standardní délka těla; J – jikry; P – plůdek; S – svalovina; V – vnitřnosti.

	Testy toxicity						Behaviorální test		
	Parmy z intenzivního chovu (RAS)				Parmy z extenzivního chovu (experimentální rybníčky)			1. kolo	2. kolo
	J	P	S	V	J	S	V	Svalovina	
Blešivec ježatý	17,9 ± 0,2 (17,6 – 18,1)	18,0 ± 0,1 (17,8 – 18,2)	18,1 ± 0,1 (18,0 – 18,3)	18,1 ± 0,1 (18,0 – 18,3)	18,0 ± 0,1 (17,8 – 18,2)	18,0 ± 0,1 (17,8 – 18,2)	18,0 ± 0,1 (17,8 – 18,2)	X	X
Rak mramorovaný	18,1 ± 0,1 (18,0 – 18,2)	18,2 ± 0,1 (18,0 – 18,3)	18,3 ± 0,1 (18,2 – 18,4)	18,3 ± 0,1 (18,2 – 18,4)	18,2 ± 0,1 (18,0 – 18,3)	18,2 ± 0,1 (18,0 – 18,3)	18,2 ± 0,1 (18,0 – 18,3)	18,2 ± 0,0 (18,2 – 18,3)	18,2 ± 0,0 (18,2 – 18,2)
Hlaváč černoústý	X	X	X	X	X	18,4 ± 0,2 (17,8 – 18,7)	18,4 ± 0,2 (17,8 – 18,7)	X	X

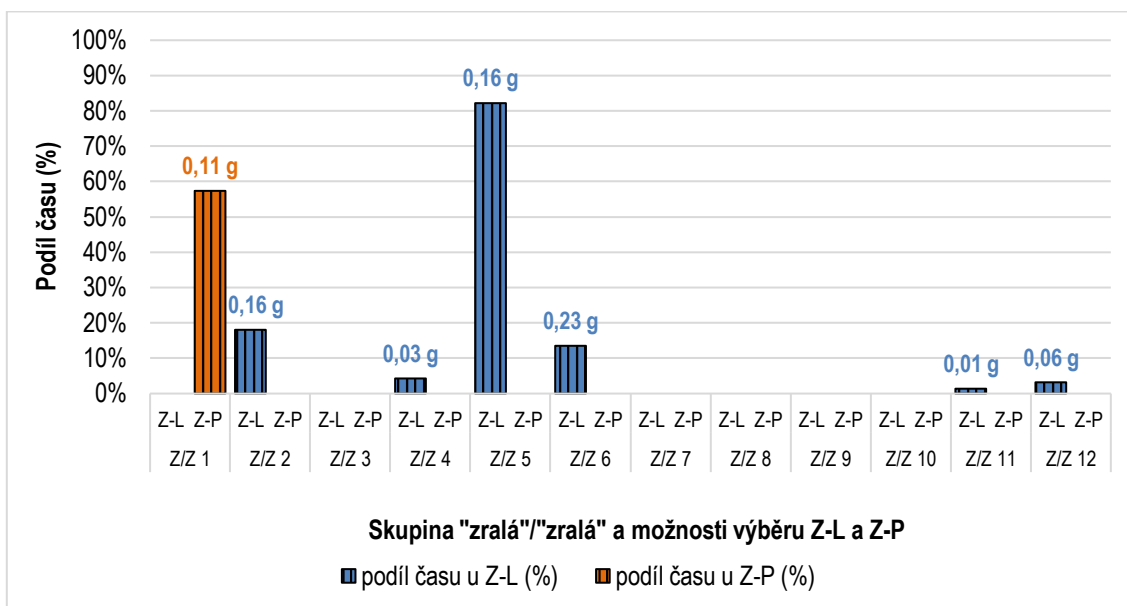
Příloha 2: Biometrické údaje pokusných organismů využitých v testech toxicity. Hodnoty jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka (rozmezí). Uvedené zkratky: DH – délka hlavohruď; SL – standardní délka těla; J – jikry; P – plůdek; S – svalovina; V – vnitřnosti.

	Testy toxicity						
	Parma z intenzivního chovu (RAS)				Parma z extenzivního chovu (experimentální rybníčky)		
	Délka těla (DT) 392 mm Celková délka (CD) 471 mm				Délka těla (DT) 281 mm Celková délka (CD) 335 mm		
	J	P	S	V	J	S	V
Rak mramorovaný DH (mm)	22,2 ± 1,9 (19,4 – 25,4)	17,9 ± 2,0 (15,0 – 21,2)	20,6 ± 1,0 (18,7 – 21,5)	21,7 ± 1,4 (19,4 – 23,9)	20,9 ± 2,7 (18,6 – 25,5)	19,3 ± 1,4 (17,7 – 21,6)	21,0 ± 2,0 (18,8 – 24,8)
Hlaváč černoústý DT (mm)	X	X	X	X	X	48,8 ± 9,3 (37,9 – 59,0)	52,1 ± 9,0 (39,0 – 61,6)

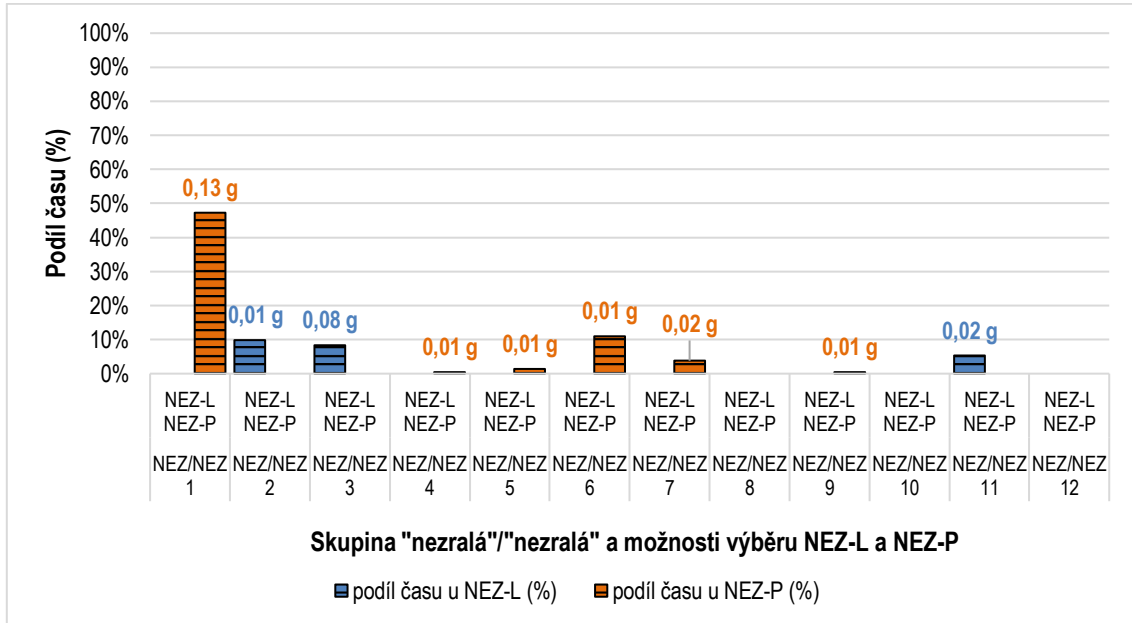
Příloha 3: Graf podílu času stráveného konzumací svaloviny „zralé“ (Z) a „nezralé“ (NEZ) jikernačky parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758) rakem mramorovaným *Procambarus virginalis* Lyko, 2017, vystaveným svalovině odlišného původu (Z/NEZ). Z/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny odlišného původu, tedy svaloviny „zralé“ nebo „nezralé“ jikernačky parmy obecné. Podíl času je vyjádřen procentuálně, v popiscích dat jsou zaznamenány individuální úbytky svalovin (g).



Příloha 4: Graf výběrovosti raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko, 2017 při expozici dvěma svalovinám „zralé“ jikernačky parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758), tedy stejného původu. Data jsou vyjádřena procentuálním podílem času stráveného předpokládanou konzumací, v popiscích dat je znázorněn individuální úbytek zkonsumované svaloviny (g). Z/Z – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „zralé“ jikernačky parmy obecné. Z - L – svalovina „zralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na levé straně. Z - P – svalovina „zralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na pravé straně.



Příloha 5: Graf výběrovosti raka mramorovaného *Procambarus virginalis* Lyko, 2017 při expozici dvěma svalovinám „nezralé“ jikernačky (NEZ) parmy obecné *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758), tedy stejného původu. Data jsou vyjádřena procentuálním podílem času stráveného předpokládanou konzumací, v popiskách dat je znázorněn individuální úbytek zkonzumované svaloviny (g). NEZ/NEZ – označení skupiny s možností výběru svaloviny stejného původu, tedy pouze svaloviny „nezralé“ jikernačky parmy obecné. NEZ - L – svalovina „nezralé“ jikernačky parmy, umístěná po dobu testu na levé straně. NEZ - P – svalovina „nezralé“ parmy, umístěná po dobu testu na pravé straně.



9 Abstrakt

Jsou parmy obecné v době výtěru „jedovaté“ pro ostatní vodní organismy?

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou toxicity u ryb s důrazem na parmu obecnou *Barbus barbuis* (Linnaeus, 1758), jejíž tkáň a především jikry způsobují člověku po požití otravu známou jako „parmová cholera“. V této práci bylo zkoumáno její možné letální toxické působení na pokusné organismy, jimiž se pro účely experimentu stali blešivec ježatý *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), rak mramorovaný *Procambarus virginalis* Lyko, 2017 a hlaváč černoústý *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814). Z důvodu nejasné distribuce případného toxinu v těle byly k experimentu použity různé typy tkání a raná vývojová stádia palem obecných. Dále bylo prostřednictvím behaviorálního testu monitorováno, zda může být toxická látka v těle palem obecných potenciálním konzumentem detekována a zohledněna při výběru potravy. Modelovým druhem tohoto testu se stal rak mramorovaný. Výsledky testů vylučují možnost letální otravy jako následek požití tkání či raných vývojových stádií palem obecných pro studované zástupce.

Z výsledků této práce je zřejmé, že toxin přítomný u parmy obecné nepůsobí pozorovatelnými negativními účinky na žádného ze tří druhů pokusných organismů a tedy potenciálně žádného zástupce vodních bezobratlých, raků i ryb. Výsledky tak naznačují spontánní původ toxického působení cypridinu na lidský, popř. jiný savčí organismus. Zároveň však není možné vyloučit adaptaci přirozených predátorů a dekompozitorů k toxinu vlivem dlouhé koevoluce těchto druhů či jejich fylogenetických předků.

Klíčová slova: parma obecná, toxin, parmová cholera, nenasycené mastné kyseliny, evoluce, predátoři.

10 Abstract

Are barbels „toxic“ for another aquatic organisms during spawning?

This bachelor thesis deals with fish toxicity with the emphasis on the barbel (*Barbus barbus* Linnaeus, 1758). Its tissues and especially roe cause poisoning to human known as a „barbel cholera“. Possible lethal effects of barbel the killer shrimp *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), the marbled crayfish *Procambarus virginalis* Lyko, 2017 and the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) were examined in this thesis. Different types of tissues and early life stages of barbel were used due to the indistinct distribution of possible toxin in fish body. In addition, using a behavior test, where marbled crayfish were used as an experimental organism, we monitored possibilities of toxin detection by consumer. Our results suggest that there is no evidence of barbel lethal toxicity on chosen consumers. We also did not find evidence that crayfish are able to recognize flesh of ready and unready to reproduce barbel.

To sum up, we did not find evidence that toxin which is present in barbel body affect given consumers. It can be given either their co-evolution (arms race) or their ancestors had never been susceptible on this toxin. Thus, there can only be a spontaneous effect of mentioned toxin on mammals or humans.

Keywords: common barbel, toxicity, barbel cholera, unsaturated fatty acids, evolution, predators.