



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra biologických disciplín

Autoreferát disertační práce

Ing. Magda Vodrážková

České Budějovice
2022

Autoreferát disertační práce

Doktorand: Ing. Magda Vodrážková
Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí
Studijní obor: Aplikovaná a krajinná ekologie
Název práce: Vliv invazní želvy nádherné na vývoj pulců skokana hnědého v různých etapách jeho vývoje

Školitel: doc. Mgr. Michal Berec, Ph.D.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta zemědělská a technologická
Katedra biologických disciplín

Oponenti: prof. MVDr. Modrý David, Ph.D.
Masarykova univerzita
Přírodovědecká fakulta
prof. RNDr. František Sedláček, Ph.D.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta
doc. Ing. Vojar Jiří, Ph.D.
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí

Obhajoba disertační práce se koná dne 27.09 2022 v 13:00 hodin v zasedací místnosti budovy J, 1. patro na katedře biologických disciplín Fakulty zemědělské a technologické JU v Českých Budějovicích.

S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení Zemědělské fakulty JU v Českých Budějovicích.

doc. Ing. Jan Bárta, Ph.D.
předseda oborové rady
Katedra rostlinné výroby
FZT JU v Českých Budějovicích

Souhrn

Interakce predátor-kořist řídí vývoj mnoha behaviorálních a morfologických změn u živočichů. Ve vodním prostředí chemické podněty spolehlivě umožňují kořisti posoudit a vyhnout se riziku predace. Přítomnost predátora ovlivňuje populace kořisti buď přímou predací snížením její početnosti a změnou jejího chování, nebo modifikací různých částí jejich životní historie. Efekt vyvolaný rizikem predace může mít na populace silnější dopad, než přímý efekt mortality.

V posledních desetiletích se četnost a význam invazních druhů zvyšuje především v důsledku neúměrného růstu světového obchodu se zvířaty a rostlinami. Nepůvodní želva nádherná (*Trachemys scripta elegans*) má potenciál narušit vodní ekosystémy ve střední Evropě kvůli svým silným konkurenčním schopnostem a oportunní stravě. Tato práce přináší výsledky experimentů, ověřujících vliv přítomnosti nepůvodní a potenciálně invazní želvy nádherné na parametry životní historie embryí a larev skokana hnědého (*Rana temporaria*). Konkrétně se jedná o to, zda chemické podněty přenášené predátory způsobují změny v době líhnutí, vývojové fázi a velikosti těla při líhnutí pulců skokana a při jejich metamorfóze. současně jsem experimentálně ověřila dynamiku ontogeneze pulců v různých časových vzorcích přítomnosti invazního predátora.

Přítomnost predátora ovlivnila všechny zkoumané faktory. Zjistila jsem, že při absenci želvy se embrya vylíhla za 12 dní, zatímco za přítomnosti predátora bylo líhnutí urychleno o dva dny. Embrya se navíc vylíhla menší a v nižším stupni vývoje než bez přítomnosti predátora.

Přítomnost želv zkrátila dobu metamorfózy pulců ze $110 \pm 11,7$ dnů na $93 \pm 13,0$ dnů (průměr \pm S.D.). První metamorfovaní jedinci byli zaznamenáni 65. den a 80. den od vylíhnutí v přítomnosti predátora a v kontrolní skupině, resp. Metamorfovaní jedinci byli statisticky významně menší ($12,8 \pm 0,99$ mm) v přítomnosti predátora než v kontrolní skupině ($15,2 \pm 1,27$ mm). Trajektorie rychlosti růstu byly podobné u obou variant. Obrana pulců vyvolaná predátory byla tedy evidentní ve vyšších rychlostech vývoje a menších velikostech při metamorfóze bez významných změn v růstu.

Pulci měli delší larvální období a byli menší velikosti při metamorfóze a nižší tělesné hmotnosti, když byl predátor přítomen v raném vývoji, než když se pulci vyvíjeli bez predátora. Časná přítomnost predátora nápadně snižovala růstové přírůstky pulců v raném vývoji. Po odstranění predátora se růst zrychlil nad úroveň naměřenou v podmínkách, kdy byl predátor

přítomen v pozdní fázi vývoje, i bez přítomnosti predátora. Tyto rychlosti růstu však nepřesáhly rychlosti růstu stejně velkých pulců v ostatních treatmentech, a proto nebyly dostatečné pro kompenzaci zpomalení růstu v první části vývoje. Přítomnost predátora v pozdním vývoji pulce neovlivnila ani dobu do metamorfózy, ani velikost/hmotnost těla při metamorfóze.

Výsledky ukazují spíše vzácně dokumentované typy reakcí kořisti obojživelníků na predátory. Tato studie rozšiřuje okruh studovaných predátorů, včetně vlivu na různé fáze vývoje potenciální kořisti.

klíčová slova

antipredátorská reakce, *Rana temporaria*, *Trachemys scripta*, adaptivní plasticita, doba vývoje, kairomony

Summary

In the last few decades, the frequency and importance of invasive species has been increasing mainly due to the disproportionate growth of world trade in animals and plants. Predator-prey interactions drive the evolution of many behavioral and morphological traits in aquatic animals. In aquatic environments, chemical cues reliably enable prey to assess and avoid predation risk. The presence of a predator affects prey populations either by direct predation by reducing its abundance and changing its behavior, or by modifying various parts of its life history. The effect induced by the risk of predation can have a stronger impact on populations than the direct effect of mortality.

Non-native red-eared sliders (*Trachemys scripta elegans*) have the potential to disrupt aquatic ecosystems in Central Europe because of their superior competitive abilities and omnivorous diets. I investigated whether continuous predator-borne cues are tied to changes in the hatching time, developmental stage, and body size at hatching of common frog tadpoles (*Rana temporaria*). Whether the developmental rates, growth rates and sizes at metamorphosis would alter in the presence of a predator and examined the dynamics of the ontogeny of tadpoles under different time patterns of an alien predator presence.

The presence of a predator affected all factors examined. I found that in the absence of the slider, the embryos hatched in 12 days, while hatching was accelerated by two days

in slider treatment. At the same time, the embryos hatched smaller and at a lower stage of development with the slider than without it.

The presence of turtles shortened the time at metamorphosis of tadpoles from 110 ± 11.7 days to 93 ± 13.0 days (mean \pm S.D.). The froglets were significantly smaller (12.8 ± 0.99 mm) in the presence of the predator than in the control treatment (15.2 ± 1.27 mm). The growth rate trajectories were similar between the predator treatment and the control. Thus, predator-induced tadpole defences were evident in higher developmental rates and smaller sizes at metamorphosis without significant changes in growth.

I also found out that the tadpoles had a longer larval period and were smaller in size at metamorphosis and lower in body mass when the predator was present in early development than when the tadpoles developed without a predator. The early presence of a predator conspicuously reduced the growth increments of the tadpoles at early development. After the removal of the predator, growth accelerated above the level measured under the conditions of both the late predator and no predator. However, these growth rates did not exceed the growth rates of equally sized tadpoles in the other treatments and therefore were not sufficient to compensate for the growth slowdown in the first part of development. The presence of a predator in late tadpole development influenced neither the time to metamorphosis nor size/body mass at metamorphosis.

Results show rather rarely documented types of amphibian prey responses to caged predators. This study extends the range of predators studied, including the effect on different phases of development of potential amphibian prey.

keywords

antipredator response, *Rana temporaria*, *Trachemys scripta*, adaptive plasticity, development time, kairomones

Obsah

1. Úvod	1
2. Obecná problematika invazních druhů	3
3. Obojživelníci a invazní druhy.....	4
4. Cíle a hypotézy disertační práce	7
5. Vliv invazní želvy nádherné na vývoj pulců skokana hnědého v různých etapách jeho vývoje.....	8
5.1. Přítomnost nepůvodní želvy urychluje líhnutí pulců skokanů hnědých (<i>Rana temporaria</i>).....	9
5.2. Chemické podněty invazivní želvy snižují dobu vývoje a velikost při metamorfóze u skokanů hnědých	11
5.3. Různé časové vzorce přítomnosti želvy nádherné ovlivňují dynamiku ontogeneze pulců skokanů hnědých	14
5.4. Vyvolává i krátkodobá přítomnost nepůvodního predátora u pulců žáby chronický stres? 15	
6. Závěr	17
7. Seznam použité literatury	18
8. Další publikační činnost	31
9. Curriculum vitae	32

1. Úvod

Predace je všudypřítomná. Všechny heterotrofní organismy jsou v určité fázi svého životního cyklu kořistí pro ostatní a mnoho druhů se po celý život setkává s jejím rizikem (MacCallum *et al.* 1995). Účinky predace jsou různé a zahrnují snížení populace nebo dokonce eliminaci druhů z regionu, omezení využívání stanovišť a času stráveného hledáním potravy. Tyto faktory ovlivňují rychlost růstu a snižují zdatnost a adaptaci prostřednictvím přirozené selekce na trvalé riziko predace (Polo-Cavia *et al.* 2010).

Predátor tak může silně ovlivňovat celý ekosystém, i když nezpůsobí přímou úmrtnost kořisti (Lima 1998). Provedené experimenty a teoretické práce dokonce naznačují, že efekt vyvolaný rizikem predace může mít na populace silnější dopad, než přímý efekt mortality (Anholt *et Werner* 1995). Riziko spojené s přítomností predátora způsobuje změny v chování, morfologii a vývoji jedince (Sih 1992, Ferrari *et al.* 2010). Tyto změny se projevují změnami různých parametrů v životní historii jedince. Speciálním případem, jehož význam narůstá v poslední době, jsou nepůvodní predátoři, z nichž se řada v novém prostředí dokáže úspěšně šířit a stát se invazními druhy. Nerozpoznání kořisti přispívá k úspěchu invazivních predátorů a usnadňuje jejich šíření do nových prostředí. Pokud nedojde u populace kořisti k vyhynutí krátce po příchodu invazního predátora, rozpoznání predátorů a účinná obrana proti nim se mohou vyvinout během několika generací a tím přispět ke koexistenci kdysi invazivních predátorů a jejich původní kořisti (Allan *et al.* 2021).

V posledních několika desetiletích vzrůstá četnost a významnost invazivních druhů kvůli nepřiměřenému růstu světového obchodu (Daisie 2009). Celosvětový obchod a cestování umožnilo mnoha druhům rozšířit se do vzdálených biogeografických oblastí, které by jinak nebyly schopné obsadit (Pimentel *et al.* 2005, Nentwig 2010). Spolu s dalšími účinky na degradaci ekosystémů jako je změna klimatu, znečištění a přeměna biotopů, jsou biologické invaze považovány za jednu z hlavních příčin poklesu biologické rozmanitosti na celém světě (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Obvykle platí, že čím je větší populace invazivních druhů a čím rychleji se šíří, tím vyšší je její potenciální dopad a tím složitější a dražší bude kontrola nebo vymýcení těchto druhů. Z těchto důvodů se doporučuje co nejdříve reagovat na invazivní druhy (Sakai *et al.* 2001, Wittenberg *et Cock* 2001, Leung *et al.* 2002).

Původní společenstva jsou nucena čelit novým neznámým predátorům, a obojživelníci nejsou v tomto směru výjimkou (Falaschi *et al.* 2020). Predátoři uvolňují charakteristické

pachy, které kořist používá k detekci rizika predace. Schopnost detekovat, rozpoznat a reagovat na tyto látky vylučované potenciálními predátory je důležitou součástí antipredačního chování obojživelníků ve všech jejich vývojových stádiích (Johnson *et al.* 2003, Bennett *et al.* 2013). Introdukce nepůvodních druhů přinesla značné problémy i na evropském kontinentu včetně České republiky. Je známo, že obojživelníci i jejich larvy jsou schopni rozpoznat a reagovat na místní predátory bez předchozí zkušenosti, ale nemusí rozpoznat nové druhy, protože s nimi nesdíleli společnou evoluční historii. V Evropě je z tohoto hlediska jedním z nejvýznamnějších invazních druhů želva nádherná (*Trachemys scripta elegans*). Její negativní dopad na autochtonní faunu již byl zdokumentován v řadě zemí jižní Evropy. V České republice je její dopad prozatím omezený, ale s rostoucím oteplováním se dá očekávat jeho nárůst. Cílem této práce bylo získat nové poznatky v oblasti autekologie vybraných vodních organismů na základě sledování vlivu přítomnosti želvy nádherné na parametry ontogenetického vývoje embryonálního a larválního stádia skokana hnědého (*Rana temporaria*).

2. Obecná problematika invazních druhů

Invazní predátoři při zavlečení často způsobují značné ekologické a ekonomické škody (Blackburn *et al.* 2004). Vymírání druhů, narušení potravinové sítě, změny komunity, přeměna ekosystémů, změny v koloběhu živin, kolaps rybolovu, degradace vodních toků, ztráty v zemědělství, poškození budov a epidemie nemocí patří mezi destruktivní a často nepředvídatelné ekologické a ekonomické dopady, které mohou cizí invazní druhy způsobit (Kraus 2009).

Rozlišování a rozpoznávání predátorů kořisti je rozděleno podle toho, zda jsou schopnosti kořisti úměrné době trvání koevoluce (Blumstein 2002, Banks *et al.* 2007) nebo jsou výsledkem ontogenetické zkušenosti (Relyea 2003, Gazzola *et al.* 2017) s konkrétními predátory, a nebo, zda kořist jednoduše zobecňuje svou reakci na všechny predátory na základě charakteristik sdílených a obecných mezi predátory (Cox *et al.* 2006, Apfelbach *et al.* 2015). Druhy, které měly dlouhou koevoluci s predátorem, mohou mít „pevně nastavené“ antipredační reakce. Kořist tedy může vykazovat vrozené schopnosti rozpoznávat a reagovat na predátora, protože se vyvíjela společně s predátorem (Blumstein *et al.* 2002, Apfelbach *et al.* 2005, Monclús *et al.* 2005). Naproti tomu druhy kořisti, které nebyly evolučně vystaveny predátorům, se mohou prostřednictvím ontogenetických zkušeností naučit rozpoznávat a reagovat na čichové podněty predátorů (Berger *et al.* 2001, Anson *et al.* 2013) nebo na jejich vizuální podněty (Atkins *et al.* 2016). Podle některých autorů schopnost kořisti rozpoznat introdukované predátory závisí na podobnostech mezi cizími a původními predátory a na obecnosti „informace“ používané původní potenciální kořisti k posouzení rizika predace (Sih *et al.* 1987, Warkentin 1995).

Druhy sousedících kontinentů by měly být vůči nepůvodním predátorům méně zranitelné, i když jsou to konkrétně druhy, s nimiž se v evolučním čase nesetkaly (Frankel *et al.* 1981). Dopad invazních suchozemských predátorů na sousední kontinenty je vyšší než u ostrovů (Atkinson 1989, Short *et al.* 1994). Kontinentální suchozemští živočichové i obyvatelé mořských ekosystémů jsou zřídka zranitelní vůči novým predátorům kvůli častým historickým a biotickým změnám. Naproti tomu sladkovodní ekosystémy vykazují v predačních režimech stálost, čímž vytváří zranitelnost vůči nepůvodním predátorům (Diamond 1989, Case *et al.* 1992, Blackburn *et al.* 2004).

3. Obojživelníci a invazní druhy

Aby kořist mohla aktivovat obranné strategie vůči riziku predace, musí správně rozpoznat a vyhodnotit zdroj rizika a jeho intenzitu (Ferrari *et al.* 2010). Rozpoznání predátora je klíčové pro přežití jedinců, a proto se u různých druhů vyvinulo široké spektrum způsobů, jak predátora rozpoznat. Mechanismy použité při získávání informací z prostředí se dále mohou lišit v závislosti na typu zdroje, na morfologii jedince a denní aktivitě (Sazima *et Eterovick* 2000). Ve vodním prostředí je nejčastější detekce vizuální, mechanická a chemická (Relyea 2002, Relyea 2007).

Ve sladkovodních biotopech mohou být predátoři přítomni regionálně, lokálně nebo mohou zcela chybět. Jedná se o sladkovodní „ostrovy“, kde se nevyskytuje většina predátorů. To vytváří vhodné podmínky pro rozvoj invaze, výslednou ekologickou zranitelnost a může způsobit i podstatné změny v populaci jejich kořisti. Například vysazování pstruhů do izolovaných jezer v pohoří Sierra Nevada mělo za následek téměř úplnou eliminaci většiny obojživelníků, bentických živočichů a zooplanktonu (Knapp *et al.* 2001). Když se invazivní druhy chovají jako ekosystémoví inženýři, mohou rychle transformovat celé ekosystémy (Strayer 2012).

Mnoho obojživelníků, kteří obývají proměnlivé prostředí, musí projevit určitou fenotypovou plasticitu, aby dokázali čelit a přizpůsobit se náhlým změnám stanovišť, které obývají. Predace je pro larvy a vajíčka obojživelníků jedním z limitujících faktorů v tomto prostředí. Predátoři mohou v určitých případech vyhubit veškeré společenstvo pulců, které se vyskytuje na dané lokalitě (MacCallum *et al.* 1995). U vajec obojživelníků by se dalo očekávat, že budou obzvláště zranitelná zejména kvůli tomu, že jsou malá, relativně nechráněná, a hlavně se nemohou přemístit, aby unikla před predátory. Avšak predátoři mohou být odrazeni ochrannými adaptacemi vajec, včetně chemické nebo mechanické obrany obalů vajíčka. Přežití embryí může být ovlivněno správným načasováním reprodukce. U vajec obojživelníků jde nejen o správné načasování kladení snůšek, ale také o načasování líhnutí. U *Rana temporaria* dochází k synchronizované reprodukci. Jedná se o strategickou odpověď na kanibalismus pulců. Pulci, kteří se vylíhli dříve, často konzumují ostatní vajíčka. Aby tomu bylo zamezeno, dochází k synchronizovanému líhnutí (Crump 1986).

U pulců se ke snížení predačního tlaku vyvinula řada obranných mechanismů, které se projevují ve změnách morfologických, fyziologických i behaviorálních (Harvell 1990,

DeWitt *et al.* 1998, Tollrian *et al.* 1999). Ke zjištění možné predace nevyužívají jen zrakové a mechanické podněty, ale i podněty chemické. Ve vodě rozpuštěné chemické látky jsou vodními organismy využívány k rozpoznání rizika predace zejména proto, že poskytují specifickou informaci o identitě kořisti a predátora a o míře ohrožení (Ferrari *et al.* 2010). Kořist může detekovat jak predátora, který je v klidu, tak samotný akt predace. Chemické stimuly mohou být produkovány predátorem i samotnou kořistí. Bylo zjištěno, že pulci reagují na predátora pomocí registrace určitých chemických látek obsažených v sekretech predátora, ale i v sekretech vlastních (Maag *et al.* 2012). Některé larvy obojživelníků nemají vrozenou reakci na chemické látky produkované predátorem, a proto se musí naučit rozpoznat tyto látky, aby na ně mohly reagovat (Gonzalo *et al.* 2009, Chivers *et al.* 2015). V důsledku toho jsou behaviorální a fyziologické reakce na predátora často závislé na předchozí zkušenosti s daným predátorem (Orr *et al.* 2009, DeSantis *et al.* 2013). Mezi obranné mechanismy patří nepoživatelnost (Brodie *et al.* 1987), změna velikosti těla, načasování doby metamorfózy (Richards *et al.* 1990), shlukování (Nicieza 1999) a snížení pohybové aktivity (Skelly 1994, Relyea 2001, Polo-Cavia *et al.* 2010).

Častou odpovědí na riziko predace je změna trajektorie pohybu a snaha úniku před predátory, což zpravidla vede ke snížení růstu kořisti (Sih 1987, Relyea *et al.* 1999, Berec *et al.* 2016). Určitá míra vnímavosti látek produkováných predátorem je možná již u vajec při embryonálním vývoji. Například Orizaola a Braña (2004) zkoumali charakteristiky líhnutí a morfologii vylíhlých larev čtyř druhů čolků (rod *Triturus*), jež byly vystaveny chemickým látkám signalizujících přítomnost predátora, kterým byl pstruh obecný (*Salmo trutta*). Jedinci vystaveni nebezpečí se líhli v ranějším stádiu vývoje a byli také poměrně menší. V porovnání s kontrolní skupinou zde byly přítomné také změny v morfologii hlavy a ocasu, avšak podle autorů takováto změna v morfologii nezvyšuje pravděpodobnost přežití pod predačním tlakem. Warkentin (2000, 2007) naopak zjistila, že určité změny v načasování líhnutí a jisté změny v morfologii mohou u pulců napomáhat přežívání vůči predaci.

Dalším způsobem reakce na přítomnost predátora je fenotypová plasticita. Fenotypová plasticita je schopnost organismu reagovat na vnitřní nebo vnější podněty změnou fenotypu (West-Eberhard 2003), přesněji řečeno schopnost jednoho genotypu produkovat více alternativních fenotypů v závislosti na životním prostředí. V takové situaci může docházet ke změnám morfologie (McCollum *et al.* 1996, Van Buskirk *et al.* 2000), rychlosti vývoje, pohybu, chování (Stearns 1989, Skelly 1997, Nylin *et al.* 1998, West-

Eberhard 2003) nebo načasování bodů životní historie (Wilbur *et* Fauth 1990, Sih *et* Moore 1993, Warkentin 1995). Fenotypová plasticita může jedinci přinášet řadu výhod. Například plasticita v chování a vývoji může vybalancovat požadavky na příjem potravy a vyhýbání se predátorovi. V důsledku toho vede plasticita k vyššímu fitness u organismů, jejichž velikost v dospělosti ovlivňuje schopnost rozmnožování (Laurila *et al.* 2004).

Přítomnost predátora může také snížit dostupnost a příjem potravy, a tím ovlivnit rychlost larválního růstu a dobu metamorfózy (Laurila *et* Kujasalo 1999, Gomez-Mestre *et al.* 2010). Snížená růstová rychlost, která je způsobená přítomností predátora, nebo menším přísunem potravy, aktivuje produkci žláz s vnitřní sekrecí, které vyvolávají metamorfózu (Wilbur *et* Collins 1973, Laurila *et* Kujasalo 1999). Pulci, kteří žijí v prostředí s predátorem nebo mají omezený příjem potravy, metamorfují dříve než jedinci, kteří žijí ve vhodnějších podmínkách bez přítomnosti predátora (Richards *et* Bull 1990).

4. Cíle a hypotézy disertační práce

Cíle práce

Cílem této práce bylo experimentálně ověřit, zda přítomnost invazní želvy *Trachemys scripta elegans* ovlivňuje parametry ontogenetického vývoje embryonálního larválního stadia *Rana temporaria*.

Pro dosažení cílů byly stanoveny následující výzkumné hypotézy:

- 1) přítomnost invazní želvy *Trachemys scripta elegans* neovlivňuje embryonální vývoj *Rana temporaria*, dobu líhnutí a vývojové stádium, ve kterém se embrya líhnou;
- 2) kontinuální přítomnosti želvy nezmění parametry ontogenetického vývoje (velikost při metamorfóze, délku larválního vývoje) u pulců *Rana temporaria*;
- 3) přítomnost želvích kairomonů v různých etapách larválního vývoje *Rana temporaria* neovlivní dynamiku ontogeneze (velikost a hmotnost při metamorfóze, délku larválního vývoje).

5. Vliv invazní želvy nádherné na vývoj pulců skokana hnědého v různých etapách jeho vývoje

Přítomnost predátorů představuje jednu z nejdůležitějších výzev pro úspěšnou reprodukci obojživelníků. Pro velkou většinu žab vyžaduje stanoviště pro vajíčka nebo pulce určitou formu stojaté vody (Wells *et* Schwartz 2007) a výběr vhodného místa k rozmnožování bude pravděpodobně zvláště důležitý, protože většina těchto druhů neposkytuje žádnou rodičovskou péči, embrya a larvy jsou tedy ohrožené predací až do metamorfózy (Binckley *et* Resetarits 2003). Vodní prostředí představuje ideální médium pro rozptýlení rozpustných chemických sloučenin, které jsou charakteristické pro predátory a mohou kořisti poskytnout důležité informace k bezprostřednímu riziku predace (Wisenden 2000).

Predátoři mohou způsobit nejen přímou úmrtnost mláďat, ale mohou také vyvolat morfologické, behaviorální a imunologické změny larev, které mohou ovlivnit přežití v postmetamorfních stádiích (Wilbur 1997, Relyea 2007, Groner *et al.* 2013). Konkurenti mohou nepřímo ovlivnit přežití larev a dobu larválního vývoje a velikost při metamorfóze (Wilbur 1987) a mohou způsobit škodlivé přenosové efekty v pozdějších fázích života (Wilbur 1997, Van Allen *et al.* 2010, Groner *et al.* 2013).

Aby došlo k rychlé evoluci, musí být selekční tlak vyvolaný nepůvodním predátorem silný a konzistentní a původní populace musí být geneticky variabilní, pokud jde o náchylnost k predátorovi (Strauss *et al.* 2006). Některá kořist je však schopna vrozeně detekovat a vyvolat adaptivní reakce na podněty nových predátorů i přes absenci společné evoluční historie (Epp *et* Gabor 2008, Peluc *et al.* 2008, Rehage *et al.* 2009, Nunes *et al.* 2014). Tato schopnost může být důsledkem fylogenetické nebo fenotypové podobnosti s původními predátory, kteří se vyskytují společně s kořistí (Epp *et* Gabor 2008, Rehage *et al.* 2009).

Předmětem této práce je želva *Trachemys scripta elegans*, která představuje v Evropě nový druh predátora s negativním vlivem na místní faunu. Ve svém původním areálu je *Trachemys scripta* oportunní všežravec. Všechny velikostní třídy želv konzumují významný podíl živočišné hmoty, což je činí potenciálně nebezpečnými pro původní druhy (TTWG 2017, GISD 2022). Tento druh želvy je v současné době celosvětově nejrozšířenější sladkovodní želvou, protože byl široce introdukován ať už záměrně nebo jako vedlejší efekt obchodu s exotickými zvířaty, a to po celém světě s výjimkou Antarktidy (Kraus 2009,

Ficetola *et al.* 2012). Invazivní potenciál a oportunní strava želvy nádherné mají významný dopad na původní obojživelníky (Ernst *et Lovich* 2009).

Pulci dvou testovaných druhů žab *Rana nigromaculata* a *R. limnocharis* byli schopni reagovat na původní želvu Reevesovu (*Chinemys reevesii*), ale ne na invazní želvu *Platysternon megacephalum* (Zhang *et al.* 2015). Podobně v jedné z pouhých dvou předešlých studií (Berec *et al.* 2016, Polo-Cavia *et al.* 2010), ve kterých byla *Trachemys scripta* konkrétně použita jako potenciální invazní predátor, v jedné zjistili neschopnost rozpoznat nepůvodní želvy jako predátora u čtyř druhů žab *Bufo calamita*, *Hyla arborea*, *Pelobates cultripipes* a *Pelophylax perezi* (Polo-Cavia *et al.* 2010). Naproti tomu druhá studie potvrdila stejné výsledky jako v mé práci, že pulci *Rana temporaria* reagují na invazní želvu *Trachemys scripta*, bez předchozí expozice nebo kontaktu a jsou schopni vrozeně rozpoznat a reagovat na chemické podněty želvy přenášené vodou, konkrétně změnou jejich plaveckého chování (téměř o 50 %) (Berec *et al.* 2016). Očekává se, že tento typ antipredačního chování bude nést náklady ve smyslu kratších časových příležitostí k hledání potravy. Zkoumala jsem, zda původní pulci *Rana temporaria* reagují adaptivně na přítomnost želvích kairomonů.

5.1. Přítomnost nepůvodní želvy urychluje líhnutí pulců skokanů hnědých (*Rana temporaria*)

Vodrážková, M., Šetlíková, I., & Berec, M. (2020). Presence of an alien turtle accelerates hatching of common frog (*Rana temporaria*) tadpoles. *NeoBiota* 74: 155-169

Q1 (Animal Science and Zoology; Aquatic Science; Ecology; Ecology, Evolution, Behavior and Systematics)

2021 Journal Impact Factor: 3.94

Žáby jsou schopny rozpoznat přítomnost predátorů nebo konkurentů v místě rozmnožování a podle toho se rozhodnout, zda vejce nebo pulce nakladou nebo nekladou (Buxton *et al.* 2016). Toto rozhodnutí předpokládá minimálně současný výskyt predátora a reprodukčního chování žab nebo předchozí výskyt predátora na lokalitě. Takové rozhodování však není možné, pokud uložení vajíček nebo pulců předchází přítomnost predátora na lokalitě. Jako první obojživelníci

se na jaře začínají rozmnožovat hnědě zbarvení skokani (rod *Rana*) (Speybroeck *et al.* 2016). V té době mnoho jejich potenciálních predátorů stále hibernuje, a tak dochází ke kontaktu s potenciálními predátory až po naklazení vajíček nebo během vývoje larev.

Změny v načasování líhnutí v důsledku přítomnosti predátorů mohou vést k morfologickým rozdílům mezi vylíhnutými mládřaty (Buckley *et al.* 2005, Touchon *et al.* 2008). Kratší načasování líhnutí může naznačovat menší velikost při líhnutí a v nižších vývojových fázích (Sih *et al.* 1993, Moore *et al.* 1996, Warkentin 1999, Benard 2004). Odložení líhnutí může larvám umožnit dosáhnout větší tělesné velikosti a pokročilejšího vývojového stadia a zvýšit tak pravděpodobnost jejich přežití pod rizikem predace (Sih *et al.* 1993, Moore *et al.* 1996). V přítomnosti predátorů specifických pro stádium mohou obojživelníci modifikovat trvání příslušné vývojové fáze (Chivers *et al.* 2001, Ireland *et al.* 2007, Mitchell *et al.* 2017). Konkrétně u žabích embryí bylo většinou prokázáno, že přítomnost predátorů vajíček vyvolává časně líhnutí embryí (Warkentin 1995, 2000, Chivers *et al.* 2001, Laurila *et al.* 2001, Johnson *et al.* 2003, Segev *et al.* 2015), zatímco predátoři pulců vyvolávají opožděné líhnutí (Sih *et al.* 1993, Laurila *et al.* 2002, Schalk *et al.* 2002, Mitchell *et al.* 2017), čímž zvyšují svou šanci na přežití tím, že unikají možným útokům. Laurila a kol. (2002) zjistili, že se později vylíhla embrya *Rana temporaria* vystavená predaci koljušky tříostné (*Gasterosteus aculeatus*), která je predátorem larev.

Studie zkoumající účinky predátorů na rychlost vývoje vajíček i larev jsou vzácné, protože jen málo predátorů konzumuje vajíčka i larvy současně. Zajímavé je, že současná expozice predátorů vajec a predátorů pulců (pijavice a nymfy vážek) nezpůsobila žádnou změnu v načasování líhnutí (Ireland *et al.* 2007). *Trachemys scripta* však není predátorem specifickým pro stádium, protože je schopna konzumovat vajíčka i larvy obojživelníků (Storm *et al.* 1995, Chen 2006, Ernst *et al.* 2009). V mé studii přítomnost nepůvodního predátora představuje stimul, při kterém embrya zkracují dobu líhnutí, snižují velikost při líhnutí a líhnou se v nižší vývojové fázi. To je v souladu s Mandrillon a Saglio (2007) a Marquis a kol. (2004), kteří uvádí, že expozice vyhladovělých predátorů ovlivnila behaviorální reakci u ropuchy obecné (*Bufo bufo*) a snížila plavecké chování u dvou druhů žab (*Rana temporaria*, *Bufo bufo*). Capellán a Nicieza (2007) uvedli stejný výsledek pro *Rana temporaria* s predátorem vajec - pijavicí *Haemopsis sanguisuga*.

Pouhá dvoudenní (30%) změna v načasování líhnutí listovnice červenooké (*Agalychnis callidryas*) ovlivnila životaschopnost larev a metamorfni fenotyp (Touchon *et al.* 2013). Vonesh a Bolker (2005) zjistili, že 30% snížení velikosti vylíhnutých žab *Hyperolius spinigularis* výrazně změnilo míru úmrtnosti larev (o 90 %) a po vylíhnutí došlo k malému (tj. <10%) přírůstku velikosti vylíhnutých larev, což odpovídá výrazným změnám v přežití. Snížená velikost vylíhnutých mláďat může tedy mít za následek vyšší mortalitu larev v prostředích s intenzivní predací, protože malé larvy jsou vůči predátorům zranitelnější (Nicieza *et al.* 2006). Navíc jediný predátor může zlikvidovat celou snůšku vajec, což má za následek každoroční selhání reprodukce jedince (Grözinger *et al.* 2012).

V této studii bylo cílem zjistit, zda se doba líhnutí, vývojové stádium a velikost těla při vylíhnutí embryí *Rana temporaria* změni v přítomnosti invazních želv *Trachemys scripta elegans* jako predátora. Přítomnost predátora ovlivnila všechny zkoumané faktory. Zjistila jsem, že při absenci želvy se embrya vylíhla za 12 dní, zatímco za přítomnosti predátora bylo líhnutí urychleno o dva dny. Embrya se navíc vylíhla menší a v nižším stupni vývoje než bez přítomnosti predátora.

5.2. Chemické podněty invazivní želvy snižují dobu vývoje a velikost při metamorfóze u skokanů hnědých

Vodrážková, M., Šetlíková, I., & Berec, M. (2020). Chemical cues of an invasive turtle reduce development time and size at metamorphosis in the common frog. *Scientific Reports*, 10(1), 1-6.

Q1 (Multidisciplinary)

2020 Journal Impact Factor: 4.379

Nový predátor ve vodním prostředí může zásadně narušit biotop pro larvy obojživelníků. Vystavení predátorům může také změnit rychlost vývoje směrem k metamorfóze. Většina studií překvapivě prokázala, že vystavení predátorům mělo za následek delší nebo stejnou dobu trvání larválního období a větší nebo stejnou velikost při metamorfóze. Flexibilita načasování a velikosti při metamorfóze může být adaptivní, což umožňuje larvám obojživelníků reagovat

na změny v kvalitě jejich vodního prostředí (Stearns 1989, Newman 1992, Gomez-Mestre *et al.* 2010) a zvýšit úspěšnost vývoje (Semlitsch *et Caldwell* 1982, Denver 1997, Kishida *et al.* 2014).

Vývojová plasticita u žab, včetně skokanů hnědých, byla již mnohokrát prokázána (Laurila 2000, Wells *et Schwartz* 2007 a odkazy v nich uvedené). Pulci různých druhů žab však na nového predátora nereagovali konzistentně. Kiesecker a Blaustein (1997) prokázali, že syntopičtí pulci skokana rudonohého (*Rana aurora*) výrazně snížili svou aktivitu a zvýšili využití úkrytů, když byli vystaveni chemickým podnětům jak pulců, tak dospělých jedinců skokana volského (*Rana catesbeiana*), kteří se jimi živí. Naopak alotopičtí pulci své chování nezměnili.

Pulci se snaží uniknout před predátorem tím, že rychleji vyrostou, a tudíž by byli velcí na pozření, nebo se snaží opustit vodní prostředí co nejdříve, ale bohužel dosáhnou minimální velikost, při které mohou metamorfovat. Zkracují tím larvální období, což nakonec snižuje expozici predátorům (Bulen *et Distel* 2011, Benard 2004). Například pulci *Bufo boreas*, kteří byli vystaveni dravým znakoplavkám (*Notonecta*) nebo podnětům od zraněných pulců, dosáhli metamorfózy rychleji než pulci bez přítomnosti predátora (Chivers *et al.* 1999). Tento výsledek byl interpretován jako adaptivní změna v historii života, která umožnila pulcům uniknout z nebezpečných podmínek ve vodním prostředí. Větší velikost při metamorfóze má za následek lepší fyziologické a pohybové schopnosti v suchozemském prostředí, větší šance na přežití juvenilních jedinců, dřívější reprodukci a větší velikost jedinců při prvním rozmnožování (Wilbur *et Collins* 1973, Smith 1983, Benard 2004). Vysoká růstová rychlost umožňuje pulcům rychle metamorfovat, a tím co nejdříve uniknout vodním predátorům. Jedná se tedy o velmi častý trade-off: jedinci, kteří zůstávají déle ve vodním prostředí dorůstají větší velikosti při metamorfóze, a tak dosahují i větších velikostí v dospělosti. Větší velikost během metamorfózy je spojena se zvýšeným fitness dospělých jedinců (Wilbur *et Collins* 1973, Vonesh *et Bolker* 2005, Bennett *et al.* 2013), avšak ve vodách, kde jsou přítomni predátoři, zvyšuje rychlý larvální vývoj a brzká metamorfóza míru přežití. Tento trade-off jsem pozorovala i ve svém pokusu. Potvrdilo se, že u pulců, kde probíhal larvální vývoj v přítomnosti predátora, dorůstali jedinci menší velikosti a dříve metamorfovali. Neprojevilo se však zvýšení rychlosti růstu oproti jedincům, kteří se vyvíjeli bez přítomnosti predátora a mohli tak dorůst do větší velikosti bez obavy z predace a tím zvýšit svou budoucí životaschopnost. Pulcům se podařilo zkrátit trvání larválního období urychlením jejich vývoje, ale nikoli rychlosti růstu,

když byli vystaveni neustálé přítomnosti želvích chemických podnětů (Van Buskirk *et* Schmidt 2000, Capellán *et* Nicieza 2007, Bennett *et al.* 2013).

U obojživelníků je větší velikost při metamorfóze spojena se zvýšeným růstem v dospělosti a přežitím, větší velikostí těla v dospělosti a zvýšeným reprodukčním úspěchem (Relyea 2002, Vonesh *et* Bolker 2005, Takatsu *et* Kishida 2013). Naopak později metamorfovaní dospělí mohou mít nižší míru přežití a nižší růst (Altwegg *et* Reyer 2003).

Rozdíly ve velikostech při metamorfóze mohou vyplývat ze změn buď ve vývoji a/nebo rychlosti růstu. Relyea (2007) identifikovala pomalejší tempo jak ve vývoji larev, tak v růstu, jako nejběžnější vzorce reakce pulců na tlak predátora. V mém experimentu však zůstala rychlost růstu (na základě celkové délky) po celou dobu vývoje stabilní mezi pulci chovanými s želvou i bez ní s jednou výjimkou ve třetím vývojovém období (29. - 42. den). Dřívější metamorfóza v menší velikosti byla většinou výsledkem zrychlení rychlosti vývoje. To je v souladu s nálezy výsledky Laurily a Kujasala (1999), kteří prokázali zrychlení vývojové rychlosti pulců, které se neprojevalo ve změnách velikosti těla v přítomnosti larev vážek během raného období vývoje.

V této studii jsem tedy zkoumala, zda chemické podněty produkované predátory mají vliv na změny ve vývojové rychlosti, rychlosti růstu a velikosti při metamorfóze pulců *Rana temporaria*. Výsledky ukazují spíše vzácně dokumentované typy reakcí kořisti obojživelníků na predátory. Přítomnost želv zkrátila dobu metamorfózy pulců ze $110 \pm 11,7$ dnů na $93 \pm 13,0$ dnů (průměr \pm S.D.). První metamorfovaní jedinci byli zaznamenáni 65. den a 80. den od vylíhnutí v přítomnosti predátora a v kontrolní skupině, resp. metamorfovaní jedinci byli statisticky významně menší ($12,8 \pm 0,99$ mm) v přítomnosti predátora než v kontrolní skupině ($15,2 \pm 1,27$ mm). Trajektorie rychlosti růstu byly podobné u obou variant. Obrana pulců vyvolaná predátory byla tedy evidentní ve vyšších rychlostech vývoje a menších velikostech při metamorfóze bez významných změn v růstu.

5.3. Různé časové vzorce přítomnosti želvy nádherné ovlivňují dynamiku ontogeneze pulců skokanů hnědých

Vodrážková, M., Šetlíková, I., Navrátil, J., & Berec, M. (2022). Different time patterns of the presence of red-eared slider influence the ontogeny dynamics of common frog tadpoles. *Scientific Reports*, 12(1), 1-9.

Q1 (Multidisciplinary)

2021 Journal Impact Factor: 4.996

Koexistence a interakce mezi druhy v daném společenstvu nezávisí pouze na samotném druhovém složení, ale také na vzorcích časové aktivity příslušných druhů (Gerber *et al.* 2012, Zapata-Ríos *et al.* 2016, Azevedo *et al.* 2018). Specifické vzorce aktivity jsou důležitým atributem chování druhu a jsou utvářeny různými faktory, jako jsou fyziologické adaptace (Willmer *et al.* 2004), abiotické podmínky (Scheibe *et al.* 1999) a životní strategie druhů (např. sociální organizace, vyhýbání se konkurenci) (Ferrari *et al.* 2008, Kloskowski *et al.* 2020). Jakákoliv změna sezónní aktivity u jednoho druhu může mít důsledky na interagující druhy v rámci trofických úrovní i mezi nimi (Damien *et al.* 2019).

Obojživelníci pravděpodobněji reagují na predátory, když jsou jejich potomci vůči predátorovi vysoce zranitelní (tj. predátor způsobuje vysokou úmrtnost), když se predátor vyskytuje nerovnoměrně v celé krajině a je relativně běžný a předvídatelný (např. predátor nevstupuje a neopouští lokality náhodně), a když dospělí mají na výběr řadu dostupných míst k rozmnožování. Tyto podmínky jsou často splněny u žab, které umisťují své snůšky do dočasných nebo periodických tůní (Blaustein *et al.* 1999, Chivers *et al.* 2013). Vzhledem k tomu, že jedinci jsou schopni vnímat rozdíly v míře rizika, měli by se rozhodnout, zda nakladou snůšky do tůní bez těchto biotických rizikových faktorů.

Predace během raných fází života, kdy jsou organismy vnímavé k biotickým i abiotickým faktorům, bude mít pravděpodobně všudypřítomné účinky na vývoj populace (Vieira *et al.* 2012). Jak predace v raných životních etapách ovlivňuje složení společenstev je daleko méně známé. Některé studie naznačují, že predace během raného období po vylíhnutí, kdy jsou jedinci obecně malí a stále se nemohou bránit, může určovat početnost

a distribuci populací nezávisle na predaci dospělých (Young *et* Chia 1984, Epelbaum *et al.* 2009, Willink *et al.* 2014). Obojživelníci jsou zvláště dobrým modelem pro studium fyziologických a behaviorálních reakcí na plasticitu růstu, protože velikost při metamorfóze pozitivně koreluje s přežitím v následných stádiích terestrické životní fáze.

Stejně jako v mé studii i Laurila a Kujasalo (1999) uvádí, že na začátku experimentu se pulci v přítomnosti predátorů vyvíjeli pomaleji. Při metamorfóze neměla přítomnost larvy vážky žádný vliv.

V tomto článku jsem sledovala dynamiku ontogeneze pulců *Rana temporaria* v různých časových vzorcích přítomnosti predátora *Trachemys scripta elegans*. Zjistila jsem, že pulci měli delší larvální období a byli menší velikosti při metamorfóze a nižší tělesné hmotnosti, když byl predátor přítomen v raném vývoji, než když se pulci vyvíjeli bez predátora. Časná přítomnost predátora nápadně snižovala růstové přírůstky pulců v raném vývoji. Po odstranění predátora se růst zrychlil nad úroveň naměřenou v podmínkách, kdy byl predátor přítomen v pozdní fázi vývoje, i bez přítomnosti predátora. Tyto rychlosti růstu však nepřesáhly rychlosti růstu stejně velkých pulců v ostatních treatmentech, a proto nebyly dostatečné pro kompenzaci zpomalení růstu v první části vývoje. Přítomnost predátora v pozdním vývoji pulce neovlivnila ani dobu do metamorfózy, ani velikost/hmotnost těla při metamorfóze. Závěrem lze říci, že predátor měl vliv na znaky metamorfózy pouze tehdy, pokud byl přítomen v raném vývoji pulců.

5.4. Vyvolává i krátkodobá přítomnost nepůvodního predátora u pulců žáby chronický stres?

V další sérii experimentů nad rámec cílů této práce jsem studovala reakce na invazního predátora stanovením míry stresu u pulců měřením kortikosteronu (CORT) - hlavního stresového hormonu u obojživelníků. Měření glukokortikoidních hormonů jako primárního mediátoru stresu spojeného se stresovou reakcí u obratlovců poskytuje způsob, jak kvantifikovat fyziologické reakce na stresory. Pokud je expozice stresorům chronická, jedinci pocítují náklady na opětovné zahájení glukokortikoidové reakce a dochází ke změně hormonů osy hypotalamus–hypofýza–interrenální, jako jsou glukokortikoidy. U obojživelníků je tato osa primárním endokrinním systémem řídícím fyziologickou a behaviorální reakci na vnější stresory prostřednictvím regulace kortikosteronu. Testovala jsem, zda nový invazivní

typ predátora *Trachemys scripta elegans*, vyvolává chronickou hormonální odpověď u pulců. Hladina CORT v celém těle u pulců byla měřena u jedinců chovaných za trvalé a dočasné přítomnosti predátora (pulci ve stádiu 46 dle Gosnera 1960). V obou treatmentech měli pulci nižší hladinu CORT než pulci bez vlivu predátora ($12,6 \pm 7,56 \text{ ng.g}^{-1}$). Srovnatelné hodnoty hladiny CORT v trvalé a krátkodobé přítomnosti želvy ($6,8 \pm 3,81 \text{ ng.g}^{-1}$ oproti $5,4 \pm 2,52 \text{ ng.g}^{-1}$) naznačovaly, že i krátkodobý kontakt s predátorem vede k hormonální odezvě na úroveň chronického stresu. Chronický stres je obvykle spojen s trvale sníženými hladinami CORT, což může být škodlivé a může nepříznivě ovlivnit růst a vývoj postmetamorfních jedinců.

6. Závěr

Tato studie přináší nové poznatky v oblasti autekologie vodních organismů na základě sledování rychlosti ontogenetického vývoje skokana *Rana temporaria* ovlivněného kairomony želvy *Trachemys scripta elegans*.

Přítomnost invazní želvy, jako predátora, ovlivnila všechny zkoumané faktory uvedené v této práci. V přítomnosti predátora se embrya líhla dříve, menší a v nižším vývojovém stádiu vývoje než bez něj. Kontinuální přítomnost želv v larválním stádiu zkrátila dobu metamorfózy a výsledná velikost při metamorfóze byla menší než v kontrolní skupině. Pokud byl predátor přítomen v raném vývoji larválního období, v době metamorfózy měli jedinci při metamorfóze menší velikost a nižší tělesnou hmotnost než pulci, kteří se vyvíjeli bez predátora. Časná přítomnost predátora navíc snižovala růstové přírůstky pulců. Výsledky ukazují spíše vzácně dokumentované typy reakcí kořisti obojživelníků na predátory. Tato studie rozšiřuje okruh studovaných predátorů, včetně vlivu na různé fáze vývoje potenciální kořisti.

Závěrem lze konstatovat, že výsledky mého výzkumu naznačují, že pulci *Rana temporaria* jsou, navzdory absenci společné evoluční historie s želvou *Trachemys scripta*, schopni rozlišovat chemické stimuly tohoto druhu specifické pro predátory a následně reagovat na riziko predace zkrácením larválního i embryonálního období svého vývoje. Přestože úspěšné rozmnožování *Trachemys scripta* nebylo zaznamenáno ve všech oblastech jejího nepůvodního areálu, včetně České republiky (Heidy *et al.* 2010, Ficetola *et al.* 2012), její schopnost dlouhodobého přežití v suboptimálních podmínkách z něj činí hrozbu pro populace našich obojživelníků.

7. Seznam použité literatury

- Allan, J. D., Castillo, M. M., & Capps, K. A. (2021). Stream ecology: structure and function of running waters. Springer Nature.
- Anholt, B. R., & Werner, E. E. (1995). Interaction between food availability and predation mortality mediated by adaptive behavior. *Ecology*, 76(7), 2230-2234.
- Anson, J. R., & Dickman, C. R. (2013). Behavioral responses of native prey to disparate predators: naiveté and predator recognition. *Oecologia*, 171(2), 367-377.
- Apfelbach, R., Blanchard, C. D., Blanchard, R. J., Hayes, R. A., & McGregor, I. S. (2005). The effects of predator odors in mammalian prey species: a review of field and laboratory studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 29(8), 1123-1144.
- Apfelbach, R., Parsons, M. H., Soini, H. A., & Novotny, M. V. (2015). Are single odorous components of a predator sufficient to elicit defensive behaviors in prey species?. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 263.
- Atkinson, I. A. (1985). The spread of commensal species of *Rattus* to oceanic islands and their effects on island avifaunas. *ICPB Tech Publ*, 3, 35-81.
- Atkinson, I. (1989). Introduced animals and extinctions. *Conservation for the twenty-first century.*, 59-75.
- Atkins, R., Blumstein, D. T., Moseby, K. E., West, R., Hyatt, M., & Letnic, M. (2016). Deep evolutionary experience explains mammalian responses to predators. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 70(10), 1755-1763.
- Azevedo, F. C., Lemos, F. G., Freitas-Junior, M. C., Rocha, D. G., & Azevedo, F. C. C. (2018). Puma activity patterns and temporal overlap with prey in a human-modified landscape at Southeastern Brazil. *Journal of Zoology*, 305(4), 246-255.
- Banks, P. B., & Dickman, C. R. (2007). Alien predation and the effects of multiple levels of prey naiveté. *Trends in ecology & evolution*, 22(5), 229-30.

- Benard, M. F. (2004). Predator-induced phenotypic plasticity in organisms with complex life histories. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 651-673.
- Bennett, A. M., Pereira, D., & Murray, D. L. (2013). Investment into defensive traits by anuran prey (*Lithobates pipiens*) is mediated by the starvation-predation risk trade-off. *PLoS One*, 8(12), e82344.
- Berec, M., Klapka, V., & Zemek, R. (2016). Effect of an alien turtle predator on movement activity of European brown frog tadpoles. *Italian Journal of Zoology*, 83(1), 68-76.
- Berger, J., Stacey, P. B., Bellis, L., & Johnson, M. P. (2001). A mammalian predator-prey imbalance: grizzly bear and wolf extinction affect avian neotropical migrants. *Ecological Applications*, 11(4), 947-960.
- Binckley, C. A., & Resetarits Jr, W. J. (2003). Functional equivalence of non-lethal effects: generalized fish avoidance determines distribution of gray treefrog, *Hyla chrysoscelis*, larvae. *Oikos*, 102(3), 623-629.
- Blackburn, T. M., Cassey, P., Duncan, R. P., Evans, K. L., & Gaston, K. J. (2004). Avian extinction and mammalian introductions on oceanic islands. *Science*, 305(5692), 1955-1958.
- Blumstein, D. T. (2002). Moving to suburbia: ontogenetic and evolutionary consequences of life on predator-free islands. *Journal of Biogeography*, 29(5-6), 685-692.
- Blumstein, D. T., Mari, M., Daniel, J. C., Ardron, J. G., Griffin, A. S., & Evans, C. S. (2002). Olfactory predator recognition: wallabies may have to learn to be wary. In *Animal Conservation Forum* (Vol. 5, No. 2, pp. 87-93). Cambridge University Press.
- Brodie Jr, E. D., & Formanowicz Jr, D. R. (1987). Antipredator mechanisms of larval anurans: protection of palatable individuals. *Herpetologica*, 369-373.
- Buckley, C. R., Michael, S. F., & Irschick, D. J. (2005). Early hatching decreases jumping performance in a direct-developing frog, *Eleutherodactylus coqui*. *Functional ecology*, 67-72.

- Buxton, V., Ward, M. P., & Sperry, C. (2016). Conspecific Attraction in Anuran Amphibians. In Great Waters, Great Lands, Great Responsibilities: 76th Midwest Fish & Wildlife Conference, January 24-27, 2016, Grand Rapids Michigan.
- Capellán, E., & Nicieza, A. G. (2007). Trade-offs across life stages: does predator-induced hatching plasticity reduce anuran post-metamorphic performance?. *Evolutionary Ecology*, 21(4), 445-458.
- Case, T. J., Bolger, D. T., & Richman, A. D. (1992). Reptilian extinctions: the last ten thousand years. In *Conservation biology*. Springer, Boston, MA, 91-125.
- Chivers, D. P., & Ferrari, M. C. (2013). Tadpole antipredator responses change over time: what is the role of learning and generalization?. *Behavioral Ecology*, 24(5), 1114-1121.
- Chivers, D. P., Kiesecker, J. M., Marco, A., Wildy, E. L., & Blaustein, A. R. (1999). Shifts in life history as a response to predation in western toads (*Bufo boreas*). *Journal of Chemical Ecology*, 25(11), 2455-2463.
- Chivers, D. P., Kiesecker, J. M., Marco, A., Devito, J., Anderson, M. T., & Blaustein, A. R. (2001). Predator-induced life history changes in amphibians: egg predation induces hatching. *Oikos*, 92(1), 135-142.
- Chivers, D. P., Mathiron, A., Sloychuk, J. R., & Ferrari, M. C. (2015). Responses of tadpoles to hybrid predator odours: strong maternal signatures and the potential risk/response mismatch. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1809), 20150365.
- Cox, J. G., & Lima, S. L. (2006). Naiveté and an aquatic-terrestrial dichotomy in the effects of introduced predators. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(12), 674-680.
- Crump, M. L. (1986). Cannibalism by younger tadpoles: another hazard of metamorphosis. *Copeia*, 1986(4), 1007-1009.
- Daisie (2009). *Handbook of alien species in Europe*. Springer, Dordrecht, 428.
- Damien, M., & Tougeron, K. (2019). Prey-predator phenological mismatch under climate change. *Current opinion in insect science*, 35, 60-68.

- Denver, R. J. (1997). Environmental stress as a developmental cue: corticotropin-releasing hormone is a proximate mediator of adaptive phenotypic plasticity in amphibian metamorphosis. *Hormones and behavior*, 31(2), 169-179.
- DeSantis, D. L., Davis, D. R., & Gabor, C. R. (2013). Chemically mediated predator avoidance in the Barton Springs salamander (*Eurycea sosorum*). *Herpetologica*, 69(3), 291-297.
- DeWitt, T. J., Sih, A., & Wilson, D. S. (1998). Costs and limits of phenotypic plasticity. *Trends in ecology & evolution*, 13(2), 77-81.
- Diamond, J. M. (1989). Overview of recent extinctions. *Conservation for the twenty-first century*, 37-41.
- Epelbaum, A., Pearce, C. M., Barker, D. J., Paulson, A., & Therriault, T. W. (2009). Susceptibility of non-indigenous ascidian species in British Columbia (Canada) to invertebrate predation. *Marine Biology*, 156(6), 1311-1320.
- Epp, K. J., & Gabor, C. R. (2008). Innate and learned predator recognition mediated by chemical signals in *Eurycea nana*. *Ethology*, 114(6), 607-615.
- Ernst, C. H., & Lovich, J. E. (2009). *Turtles of the united states and Canada*. JHU Press.
- Falaschi, M., Melotto, A., Manenti, R., & Ficetola, G. F. (2020). Invasive species and amphibian conservation. *Herpetologica*, 76(2), 216-227.
- Ferrari, M. C., Messier, F., & Chivers, D. P. (2008). Can prey exhibit threat-sensitive generalization of predator recognition? Extending the predator recognition continuum hypothesis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1644), 1811-1816.
- Ferrari, M. C., Wisenden, B. D., & Chivers, D. P. (2010). Chemical ecology of predator-prey interactions in aquatic ecosystems: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, 88(7), 698-724.
- Ficetola, G. F., Rödder, D. & Padoa-Schioppa, E. (2012). In *Handbook of global freshwater invasive species* (ed R Francis) 331-339 (Earthscan, Taylor and Francis Group).
- Frankel, O., & Soulé, M. E. (1981). *Conservation and evolution*. CUP Archive.

- Gazzola, A., Balestrieri, A., Ghitti, M., Paganelli, D., & Galeotti, P. (2017). Behavioural and life history responses to predation risk by common frog tadpoles exposed to two predators during ontogeny. *acta ethologica*, 20(3), 235-241.
- Gerber, B. D., Karpanty, S. M., & Randrianantenaina, J. (2012). Activity patterns of carnivores in the rain forests of Madagascar: implications for species coexistence. *Journal of Mammalogy*, 93(3), 667-676.
- GISD. Global Invasive Species Database. <http://www.issg.org/database> (2022).
- Gomez-Mestre, I., Saccoccio, V. L., Iijima, T., Collins, E. M., Rosenthal, G. G., & Warkentin, K. M. (2010). The shape of things to come: linking developmental plasticity to post-metamorphic morphology in anurans. *Journal of Evolutionary Biology*, 23(7), 1364-1373.
- Gonzalo, A., López, P., & Martín, J. (2009). Learning, memorizing and apparent forgetting of chemical cues from new predators by Iberian green frog tadpoles. *Animal cognition*, 12(5), 745-750.
- Groner, M. L., Buck, J. C., Gervasi, S., Blaustein, A. R., Reinert, L. K., Rollins-Smith, L. A., ... & Relyea, R. A. (2013). Larval exposure to predator cues alters immune function and response to a fungal pathogen in post-metamorphic wood frogs. *Ecological Applications*, 23(6), 1443-1454.
- Grözinger, F., Wertz, A., Thein, J., Feldhaar, H., & Rödel, M. O. (2012). Environmental factors fail to explain oviposition site use in the European common frog. *Journal of Zoology*, 288(2), 103-111.
- Harvell, C. D. (1990). The ecology and evolution of inducible defenses. *The Quarterly review of biology*, 65(3), 323-340.
- Heidy Kikillus, K., Hare, K. M., & Hartley, S. (2010). Minimizing false-negatives when predicting the potential distribution of an invasive species: A bioclimatic envelope for the red-eared slider at global and regional scales. *Animal Conservation*, 13, 5-15.
- 519.

- Ireland, D. H., Wirsing, A. J., & Murray, D. L. (2007). Phenotypically plastic responses
- Johnson, J. B., Saenz, D., Adams, C. K., Conner, R. N. (2003) The influence of predator threat on the timing of a life-history switch point: predator-induced hatching in the southern leopard frog (*Rana sphenoccephala*). *Canadian Journal of Zoology* 81: 1608-1613.
- Kishida, O., Costa, Z., Tezuka, A., & Michimae, H. (2014). Inducible offences affect predator–prey interactions and life-history plasticity in both predators and prey. *Journal of Animal Ecology*, 83(4), 899-906.
- Kloskowski, J., Nieoczym, M., & Stryjecki, R. (2020). Between-habitat distributions of pond tadpoles and their insect predators in response to fish presence. *Hydrobiologia*, 847(5), 1343-1356.
- Knapp, R. A., Matthews, K. R., & Sarnelle, O. (2001). Resistance and resilience of alpine lake fauna to fish introductions. *Ecological monographs*, 71(3), 401-421.
- Kraus, F. (Eds.). (2009). *Alien reptiles and amphibians: a scientific compendium and analysis*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Laurila, A. (2000). Behavioural responses to predator chemical cues and local variation in antipredator performance in *Rana temporaria* tadpoles. *Oikos*, 88(1), 159-168.
- Laurila, A., Järvi-Laturi, M., Pakkasmaa, S., & Merilä, J. (2004). Temporal variation in predation risk: stage-dependency, graded responses and fitness costs in tadpole antipredator defences. *Oikos*, 107(1), 90-99.
- Laurila, A., & Kujasalo, J. (1999). Habitat duration, predation risk and phenotypic plasticity in common frog (*Rana temporaria*) tadpoles. *Journal of Animal Ecology*, 68(6), 1123-1132.
- Laurila, A., Pakkasmaa, S., Crochet, P. A., & Merilä, J. (2002). Predator-induced plasticity in early life history and morphology in two anuran amphibians. *Oecologia*, 132(4), 524-530.
- Laurila, A., Pakkasmaa, S., & Merilä, J. (2001). Influence of seasonal time constraints on growth and development of common frog tadpoles: a photoperiod experiment. *Oikos*, 95(3), 451-460.

- Leung, B. Lodge, D. M. Finnoff, D. Shogren, J. F. Lewis, M. A. & Lamberti, G. (2002).
An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 269(1508), 2407-2413.
- Lima, S. L. (1998). Nonlethal effects in the ecology of predator-prey interactions. *Bioscience*, 48(1), 25-34.
- MacCallum, C. J., Nürnbergger, B., & Barton, N. H. (1995). Experimental evidence for habitat dependent selection in a *Bombina* hybrid zone. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 260(1359), 257-264.
- Maag, N., Gehrler, L., & Woodhams, D. C. (2012). Sink or swim: a test of tadpole behavioral responses to predator cues and potential alarm pheromones from skin secretions. *Journal of Comparative Physiology A*, 198(11), 841-846.
- Mandrillon, A. L., & Saglio, P. (2007). Herbicide exposure affects the chemical recognition of a non native predator in common toad tadpoles (*Bufo bufo*). *Chemoecology*, 17(1), 31-36.
- Marquis, O., Saglio, P., & Neveu, A. (2004). Effects of predators and conspecific chemical cues on the swimming activity of *Rana temporaria* and *Bufo bufo* tadpoles. *Archiv für Hydrobiologie*, 153-170.
- McCollum, S. A., & Van Buskirk, J. (1996). Costs and benefits of a predator-induced polyphenism in the gray treefrog *Hyla chrysoscelis*. *Evolution*, 50(2), 583-593.
- Millennium Ecosystem Assessment, M. E. (2005). *Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis*. World resources Institute, Washington, DC, 5.
- Mitchell, M. D., Bairos-Novak, K. R., & Ferrari, M. C. (2017). Mechanisms underlying the control of responses to predator odours in aquatic prey. *Journal of Experimental Biology*, 220(11), 1937-1946.

- Monclús, R., Rödel, H. G., Von Holst, D., & De Miguel, J. (2005). Behavioural and physiological responses of naive European rabbits to predator odour. *Animal Behaviour*, 70(4), 753-761.
- Moore, R. D., Newton, B., & Sih, A. (1996). Delayed hatching as a response of streamside salamander eggs to chemical cues from predatory sunfish. *Oikos*, 331-335.
- Nentwig, W., Kühnel, E. & Bacher, S. (2010). A Generic Impact-Scoring System Applied to Alien Mammals in Europe. *Conservation Biology*, 24(1), 302-311.
- Newman, R. A. (1992). Adaptive plasticity in amphibian metamorphosis. *BioScience*, 42(9), 671-678.
- Nicieza, A. G. (1999). Context-dependent aggregation in Common Frog *Rana temporaria* tadpoles: influence of developmental stage, predation risk and social environment. *Functional Ecology*, 13(6), 852-858.
- Nicieza, A. G., Alvarez, D., & Atienza, E. M. S. (2006). Delayed effects of larval predation risk and food quality on anuran juvenile performance. *Journal of Evolutionary Biology*, 19(4), 1092-1103.
- Nunes, A. L., Orizaola, G., Laurila, A., & Rebelo, R. (2014). Rapid evolution of constitutive and inducible defenses against an invasive predator. *Ecology*, 95(6), 1520-1530.
- Nylin, S., & Gotthard, K. (1998). Plasticity in life-history traits. *Annual review of entomology*, 43(1), 63-83.
- Orizaola, G., & Braña, F. (2004). Hatching responses of four newt species to predatory fish chemical cues. In *Annales Zoologici Fennici*. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, 635-645.
- Orr, M. V., Hittel, K., & Lukowiak, K. (2009). Different strokes for different folks': geographically isolated strains of *Lymnaea stagnalis* only respond to sympatric predators and have different memory forming capabilities. *Journal of Experimental Biology*, 212(14), 2237-2247.

- Peluc, S. I., Sillett, T. S., Rotenberry, J. T., & Ghalambor, C. K. (2008). Adaptive phenotypic plasticity in an island songbird exposed to a novel predation risk. *Behavioral Ecology*, 19(4), 830-835.
- Pimentel, D. Zuniga, R. & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological economics*, 52(3), 273-288.
- Plesník, J. (2011). Někdo to rád horké. *Invazní nepůvodní druhy. Ochrana přírody*, 5, 37-29.
- Polo-Cavia, N., Gonzalo, A., López, P., & Martín, J. (2010). Predator recognition of native but not invasive turtle predators by naïve anuran tadpoles. *Animal Behaviour*, 80(3), 461-466.
- Rehage, J. S., Dunlop, K. L., & Loftus, W. F. (2009). Antipredator responses by native mosquitofish to non-native cichlids: an examination of the role of prey naiveté. *Ethology*, 115(11), 1046-1056.
- Relyea, R. A. (2001). Morphological and behavioral plasticity of larval anurans in response to different predators. *Ecology*, 82(2), 523-540.
- Relyea, R. A. (2002). Competitor-induced plasticity in tadpoles: consequences, cues, and connections to predator-induced plasticity. *Ecological Monographs*, 72(4), 523-540.
- Relyea, R. A. (2003). Predators come and predators go: the reversibility of predator-induced traits. *Ecology*, 84(7), 1840-1848.
- Relyea, R. A. (2007). Getting out alive: how predators affect the decision to metamorphose. *Oecologia*, 152(3), 389-400.
- Relyea, R. A., & Werner, E. E. (1999). Quantifying the relation between predator-induced behavior and growth performance in larval anurans. *Ecology*, 80(6), 2117-2124.
- Richards, S. J., & Bull, C. M. (1990). Size-limited predation on tadpoles of three Australian frogs. *Copeia*, 1041-1046.

- Sakai, A. K., Allendorf, F. W., Holt, J. S., Lodge, D. M., Molofsky, J., With, K. A., McCauley, D. E. (2001). The population biology of invasive species. *Annual review of ecology and systematics*, 32(1), 305-332.
- Sazima, I., & Eterovick, P. C. (2000). Structure of an anuran community in a montane meadow in southeastern Brazil: effects of seasonality, habitat, and predation. *Amphibia-Reptilia*, 21(4), 439-461.
- Schalk, G., Forbes, M. R., & Weatherhead, P. J. (2002). Developmental plasticity and growth rates of green frog (*Rana clamitans*) embryos and tadpoles in relation to a leech (*Macrobdella decora*) predator. *Copeia*, 2002(2), 445-449.
- Scheibe, K. M., Berger, A., Langbein, J., Streich, W. J., & Eichhorn, K. (1999). Comparative analysis of ultradian and circadian behavioural rhythms for diagnosis of biorhythmic state of animals. *Biological rhythm research*, 30(2), 216-233.
- Segev, O., Rodríguez, A., Hauswaldt, S., Hugemann, K., & Vences, M. (2015). Flatworms (*Schmidtea nova*) prey upon embryos of the common frog (*Rana temporaria*) and induce minor developmental acceleration. *Amphibia-Reptilia*, 36(2), 155-163.
- Semlitsch, R. D., & Caldwell, J. P. (1982). Effects of density of growth, metamorphosis, and survivorship in tadpoles of *Scaphiopus holbrooki*. *Ecology*, 63(4), 905-911.
- Short, J., & Smith, A. (1994). Mammal decline and recovery in Australia. *Journal of Mammalogy*, 75(2), 288-297.
- Sih, A. (1987). Predator and prey lifestyles: an evolutionary and ecological overview. *Predation: direct and indirect impacts on aquatic communities*, 203-224.
- Sih, A. (1992). Prey uncertainty and the balancing of antipredator and feeding needs. *The American Naturalist*, 139(5), 1052-1069.
- Sih, A., & Moore, R. D. (1993). Delayed hatching of salamander eggs in response to enhanced larval predation risk. *The American Naturalist*, 142(6), 947-960.
- Skelly, D. K. (1994). Activity level and the susceptibility of anuran larvae to predation.

- Skelly, D. K. (1997). Tadpole communities: pond permanence and predation are powerful forces shaping the structure of tadpole communities. *American Scientist*, 85(1), 36-45.
- Speybroeck, J., Beukema, W., Bok, B., & Van Der Voort, J. (2016). *Field guide to the amphibians and reptiles of Britain and Europe*. Bloomsbury publishing.
- Stearns, S. C. (1989). The evolutionary significance of phenotypic plasticity. *Bioscience*, 39(7), 436-445.
- Storm, R. M., Leonard, W. P., Brown, H. A., Bury, R. B., Darda, D. M., Diller, L. V., & Peterson, C. R. (1995). *Reptiles of Washington and Oregon*. Seattle Audubon Society, Seattle, WA.
- Strauss, S. Y., Lau, J. A., & Carroll, S. P. (2006). Evolutionary responses of natives to introduced species: what do introductions tell us about natural communities?. *Ecology letters*, 9(3), 357-374.
- Strayer, D. L. (2012). Eight questions about invasions and ecosystem functioning. *Ecology letters*, 15(10), 1199-1210.
- Takatsu, K., & Kishida, O. (2013). An offensive predator phenotype selects for an amplified defensive phenotype in its prey. *Evolutionary Ecology*, 27(1), 1-11.
- Tollrian, R., & Harvell, C. D. (Eds.). (1999). *The ecology and evolution of inducible defenses*. Princeton university press.
- Touchon, J. C., McCoy, M. W., Vonesh, J. R., & Warkentin, K. M. (2013). Effects of plastic hatching timing carry over through metamorphosis in red-eyed treefrogs. *Ecology*, 94(4), 850-860.
- Touchon, J. C., & Warkentin, K. M. (2008). Fish and dragonfly nymph predators induce opposite shifts in color and morphology of tadpoles. *Oikos*, 117(4), 634-640.
- Turtle Taxonomy Working Group (2017): *Turtles of the World: Annotated checklist and atlas of taxonomy, synonymy, distribution, and conservation status (8th edition)*. IN: Rhodin, A.G.J., et al. (Editors), *Conservation Biology of Freshwater Turtles and Tortoises*. Chelonian Research Monographs 7: 1–292.

- Van Allen, B. G., Briggs, V. S., McCoy, M. W., & Vonesh, J. R. (2010). Carry-over effects of the larval environment on post-metamorphic performance in two hylid frogs. *Oecologia*, 164(4), 891-898.
- Van Buskirk, J., & Schmidt, B. R. (2000). Predator-induced phenotypic plasticity in larval newts: trade-offs, selection, and variation in nature. *Ecology*, 81(11), 3009-3028.
- Vodrážková, M., Šetlíková, I., & Berc, M. (2020). Chemical cues of an invasive turtle reduce development time and size at metamorphosis in the common frog. *Scientific Reports*, 10(1), 1-6.
- Vodrážková, M., Šetlíková, I., Navrátil, J., & Berc, M. (2022a). Different time patterns of the presence of red-eared slider influence the ontogeny dynamics of common frog tadpoles. *Scientific Reports*, 12(1), 1-9.
- Vodrážková M., Šetlíková I., Navrátil J., Berc M. (2022b). Presence of an alien turtle accelerates hatching of common frog (*Rana temporaria*) tadpoles. *NeoBiota* 74: 155-169.
- Vonesh, J. R., & Bolker, B. M. (2005). Compensatory larval responses shift trade-offs associated with predator-induced hatching plasticity. *Ecology*, 86(6), 1580-1591.
- Warkentin, K. M. (1995). Adaptive plasticity in hatching age: a response to predation risk trade-offs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(8), 3507-3510.
- Warkentin, K. M. (2000). Wasp predation and wasp-induced hatching of red-eyed treefrog eggs. *Animal Behaviour*, 60(4), 503-510.
- Warkentin, K. M. (2007). Oxygen, gills, and embryo behavior: mechanisms of adaptive plasticity in hatching. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 148(4), 720-731.
- Wells, K. D., & Schwartz, J. J. (2007). The behavioral ecology of anuran communication. In *Hearing and sound communication in amphibians*. Springer, New York, NY, 44-86.
- West-Eberhard, M. J. (2003). *Developmental plasticity and evolution*. Oxford University Press.

- Wilbur, H. M. (1987). Regulation of structure in complex systems: experimental temporary pond communities. *Ecology*, 68(5), 1437-1452.
- Wilbur, H. M., & Collins, J. P. (1973). Ecological Aspects of Amphibian Metamorphosis: Nonnormal distributions of competitive ability reflect selection for facultative metamorphosis. *Science*, 182(4119), 1305-1314.
- Wilbur, H. M., & Fauth, J. E. (1990). Experimental aquatic food webs: interactions between two predators and two prey. *The American Naturalist*, 135(2), 176-204.
- Willink, B., Palmer, M. S., Landberg, T., Vonesh, J. R., & Warkentin, K. M. (2014). Environmental context shapes immediate and cumulative costs of risk-induced early hatching. *Evolutionary Ecology*, 28(1), 103-116.
- Willmer, P. G., & Stone, G. N. (2004). Behavioral, ecological, and physiological determinants of the activity patterns of bees. *Advances in the Study of Behavior*, 34(34), 347-466.
- Wisenden, B. D. (2000). Olfactory assessment of predation risk in the aquatic environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1401), 1205-1208.
- Wittenberg, R. & Cock, M. J. (2001). Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices. CABI.
- Young, C. M., & Chia, F. S. (1984). Microhabitat-associated variability in survival and growth of subtidal solitary ascidians during the first 21 days after settlement. *Marine Biology*, 81(1), 61-68.
- Zapata-Ríos, G., & Branch, L. C. (2016). Altered activity patterns and reduced abundance of native mammals in sites with feral dogs in the high Andes. *Biological Conservation*, 193, 9-16.
- Zhang, F., Zhao, J., Zhang, Y., Messenger, K., & Wang, Y. (2015). Antipredator behavioral responses of native and exotic tadpoles to novel predator. *Asian Herpetol. Res*, 6, 51-58.

8. Další publikační činnost

Články v impaktovaných časopisech

Během doktorského studia jsem se rovněž zapojila do projektů zaměstnanců Katedry biologických disciplín na hodnocení vztahu objemu mezinárodního obchodu s živočichy a produkty z nich a jejich ohrožením, jehož výsledkem jsou dvě publikace, a to v časopisech *Biological Conservation* (Slábová *et al.* 2021; IF 5,991; Q1 Biodiversity Conservation) a *Global Ecology and Conservation* (Berec *et al.* 2021; IF 3,38; Q1 Biodiversity Conservation).

Slábová, M., Šetlíková, I., **Vodrážková, M.**, Richtrová, Z., & Berec, M. (2021). The number of shipments in the CITES Trade Database does not accurately reflect the volume of traded wildlife. *Biological Conservation*, 253, 108917.

Berec, M., **Vodrážková, M.**, & Šetlíková, I. (2021). Tracking the wildlife trade: Usability of shipment identifiers in the CITES Trade Database. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01635.

Články ve sbornících

Vodrážková M., Berec M. (2019). Is the growth of brown frog's tadpoles influenced by the presence of red-eared sliders? In: Conference: XX European Congress of Herpetology. Milano, S.E.H. ISBN: 979-12-200-5284-9;

Vodrážková M., Šetlíková I., Berec M. (2020). Smell of fear: presence of an invasive turtle reduces development time and size at metamorphosis in the common frog. In: Zoologické dny Olomouc, Ústav biologie obratlovců AV ČR, v.v.i., ISBN: 978-80-87189-32-0

Vodrážková M., Šetlíková I., Berec M. (2021). Smell of fear: the presence of an invasive turtle influences embryonic and larval development in the common frog. In: XIII. ročník konference Kostecké inspirování, Kostelec nad Černými lesy, ISBN: 978-80-213-3145-7

Člen řešitelského týmu GA JU 045/2019/Z, GA JU 069/2022/Z

Spolupráce NAZV QK22020144

9. Curriculum vitae

Příjmení, jméno, titul: Vodrážková, Magda, Ing.
Narozen(a) (datum a místo): 11. 01. 1994, Prachatice
Trvalé bydliště: Na Vyšehradě 617, Netolice 384 11
Telefonní číslo, E-mail: +420 607 133 970, vodrazkova@fzt.jcu.cz

Dosažené vzdělání

2017 - současnost **Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích**, Zemědělská fakulta
Doktorské studium
Obor: Aplikovaná a krajinná ekologie

2016 - 2017 **Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích**, Zemědělská fakulta
Magisterské studium
Obor: Biologie a ochrana zájmových organismů

2013 - 2016 **Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích**, Zemědělská fakulta
Bakalářské studium
Obor: Biologie a ochrana zájmových organismů

2008 - 2013 **Gymnázium Česká v Českých Budějovicích**

Pracovní zkušenosti

2021 - současnost Správa Národního parku Šumava
Náplň práce: pomocné práce při terénním šetření v rámci projektu
Biomonitoring lesních ekosystémů na území Národního parku Šumava.
Pomocné práce při dalších monitoračních projektech

2021 Česká ornitologická společnost
Pozice: odborný pracovník - monitoring ptáků
Náplň práce: Monitoring PO Českobudějovické rybníky

2021 ENKI, o.p.s.
Náplň práce: Batrachologický a herpetologický průzkum na akci
Vávrovské rybníky

2021 Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pozice a náplň práce: Úprava a analýza půdních vzorků a sumarizace
výsledků v rámci VHČ

- 2020 - současnost Biologické centrum AV ČR, v. v. i.
Pozice: Pomocná práce v laboratoři molekulární chronobiologie
- 2019 - 2023 Agentura ochrany přírody a krajiny ČR
Externí pracovník: Mapování a inventarizace obojživelníků a plazů na vybraných lokalitách
- 2018 Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pozice a náplň práce: Asistence na cvičení ze Zemědělské zoologie a Speciální zoologie
- 2014 - 2022 Nadace Tomistoma
Pozice: Ošetřovatel exotických zvířat a průvodce
Náplň práce: Zajišťování péče o zvláště ohrožená, chráněná zvířata.
Zajišťování návštěvníckého provozu ve zpřístupněné části krokodýlí farmy