

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA EKOLOGIE



**Odolnost střevlíků vůči stresu z nedostatku
vody**

Desiccation resistance in carabid beetles

BAKALAŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Michal Knapp, Ph.D.

Autor práce: Dziana Chyvirova

2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dziana Chyvirova

Aplikovaná ekologie

Název práce

Odolnost střevlíků vůči stresu z nedostatku vody

Název anglicky

Desiccation resistance in carabid beetles

Cíle práce

Cílem práce bude vypracovat literární rešerši na téma "odolnost vůči vysychání u terestrického hmyzu". Na teoretickou část bude navazovat experimentální část, kde bude zkoumána odolnost různých druhů střevlíků vůči vysychání. Brouci budou vystaveni extrémně suchému vzduchu v laboratorních podmínkách a bude měřena délka jejich přežívání. Cílem bude porovnat délku přežívání mezi různými druhy střevlíků a otestovat možný vliv velikosti těla a obývaného biotopu na délku přežívání daného druhu.

Metodika

Literární rešerše bude vypracována na základě dostupných knižních publikací, ale především na základě anglicky psaných vědeckých článků vyhledaných v databázi Web of Knowledge. Během experimentu budou sebráni v terénu jedinci (min. 20 pro druh) minimálně 8 druhů střevlíků (4 ze suchých biotopů, 4 z vlhkých biotopů), kteří budou následně v laboratoři vystaveni působení extrémně suchého vzduchu (cca 10-20 % RH) a bude měřena délka jejich přežívání. Měření odolnosti vůči vysychání bude realizováno za standardizovaných podmínek v počítačem řízených klimaboxech.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran textu + přílohy dle potřeby

Klíčová slova

hmyz, přežívání, stres, střeblíci, sucho

Doporučené zdroje informací

- Bjerke R, Zachariassen KE (1997): Effects of dehydration on water content, metabolism, and body fluid solutes of a carabid beetle from dry savanna in East Africa. *COMPARATIVE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY A-PHYSIOLOGY* 118: 779-787.
- Juliano SA (1986): Resistance to desiccation and starvation of 2 species of *Brachinus* (Coleoptera, Carabidae) from Southeastern Arizona. *Canadian Journal of Zoology* 64: 73-80.
- Ouisse T, Bonte D, Lebouvier M, Hendrickx F, Renault D (2016): The importance of relative humidity and trophic resources in governing ecological niche of the invasive carabid beetle *Merizodus soledadinus* in the Kerguelen archipelago. *Journal of Insect Physiology* 93: 42-49.
- Slatyer RA, Schoville SD (2016): Physiological Limits along an Elevational Gradient in a Radiation of Montane Ground Beetles. *PLoS ONE* 11: e0151959.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Michal Knapp, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2018

doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 11. 04. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Michala Knappa, Ph.D. Další informace mi poskytla Eliška Baranovská, a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 25.04.2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Elišce Baranovské, která mi pomáhala při sběru dat a určování a měření vzorků. Mockrát děkuju Ing. Petrovi Chajmě že mě pomohl se statistickou analýzou dat. Nejvíce děkuji Ing. Michalu Knappovi, Ph.D., který si mě vybral za svoji bakalantku. Moc mě bavila naše spolupráce v terénu, a následně v laboratořích, která pro mě byla zábavou. Díky jeho pomoci a odborným radám jsem sepsala tuto práci a zároveň jsem se naučila spoustu věcí, které využiji dále ve svém životě.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá odolností vůči vysychání u terestrického hmyzu. V teoretické části práce je charakterizován stres u hmyzu. Další kapitolou teoretické části je posouzení vysychání a žíznivění u hmyzu. Součástí teoretické části také je hodnocení vysychání u střevlíků. V praktické části bakalářské práce je proveden výzkum, zaměřený na zjištění délky přežití jednotlivých druhů zkoumaných střevlíků v podmínkách vysychání. V praktické části je popsána metodika výzkumu a jeho výsledky a je provedena diskuze, týkající se zmíněných výsledků.

Hlavním cílem předkládané bakalářské práce je porovnání délky přežívání u různých druhů střevlíků a testování možného vlivu velikosti těla a biotopu na délku přežívání jednotlivých druhů střevlíků. Délka přežívání stresu ze sucha se výrazně liší mezi druhy. Nejdéle přežíval druh *Pseudoophonus rufipes*. Obecně platí, že druhy žijící ve vlhkých biotopech přežívají stres kratší dobu než druhy ze suchých a polosuchých podmínek. Větší druhy mají tendenci přežít déle než druhy menší a tento trend byl pozorován především pro druhy obývající suché biotopy.

Klíčová slova: hmyz, střevlíci, vysychání, stres, odolnost

Abstract

The bachelor thesis deals with the resistance to drying in terrestrial insects. In the theoretical part of the thesis, characterizing insects in stressful condition. The next chapter of the theoretical part is assessing the drying and thirst of insects. Part of the theoretical chapter is also evaluating drying condition of ground beetles. In the practical part of the thesis, research is conducted to determine the survival of individual species of ground beetles under drying conditions. The practical part describes the research methodology and its results and discussion of those results.

The main aim of this bachelor thesis is to compare the survival time of various types of ground beetles and to test the possible influence of body size and habitat on the survival of individual species of ground beetles. There was the significant difference in survival of stressed individuals between species. *Pseudoophonus rufipes* was the most resistant investigated species. In general, species occurring in humid (mesic) habitats were less desiccation resistant compared to species occurring in dry habitats. Large species tended to survive stressful conditions for a longer period compared to smaller species and this trend was highly significant especially for species occurring in dry habitats.

Keywords: insects, ground beetles, desiccation, stress, resistance.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Stres vs. Hmyz.....	3
3. Vysychání/žiznivění.....	7
3.1. Faktory ovlivňující rozdíly mezi druhy hmyzu (velikost, fyziologické adaptace, behaviorální adaptace).	12
3.1.1. Velikost těla.....	12
3.1.2. Fyziologické adaptace.	13
3.1.3. Fertilita a životaschopnost vejce při dospívání.	13
3.1.4. Behaviorální adaptace.....	14
4. Vysychání u střevlíku.	15
4.1. Obecné informace.	15
4.2. Vysychání u různých druhů střevlíkovitých.	16
5. Metodika.....	22
5.1. Popis zájmového území.	22
5.2. Sběr dat.....	23
5.3. Charakteristika zkoumaných druhů.....	23
5.4. Laboratorní měření.....	27
5.5. Statistická analýza dat.	29
6. Výsledky.	30
8. Závěr.	34
Seznam použité literatury.....	35
Seznam obrázků a tabulek.	38

1. Úvod.

Bakalářská práce je rozdělená na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je členěna na několik kapitol. První kapitola se zabývá sledování stressu u hmyzu. Problematice stressu u hmyzu se věnují autoři, zmínění v dané práci – např. Even et al. (2012), Kodrík (2014), Eremina & Gruntěnko (2017). Even et al. (2012) hodnotí stres v kontextu faktorů, které se vznikem a průběhem stressu souvisejí. Kodrík (2014) poukazuje na to, že stres je zcela přirozeným fenoménem pro různé živé organismy. Nicméně z hlediska přežití organismů největší význam má intenzita stressu. Eremina & Gruntěnko (2017) zkoumají vliv délky působení stressu na organismy a uvádí, že existuje tři stadia stressu, v nichž se mění adaptace organismu na stres. Ve druhé kapitole jsou charakterizovány procesy vysychání a žíznivění u různých druhů hmyzu. Chown (2011) zmiňuje, jaké mechanismy umožňují hmyzu vyhnout se vysychání a jakým způsobem fungují. Gomez (2015) uvádí, jaký je význam odolnosti vůči vysychání pro různé druhy hmyzu. Autor se věnuje způsobu fungování mechanismů, bránících vysychání a žíznivění u druhu *Drosophila*. Tejeda (2014) se zabýval sledováním vztahu mezi odolností vůči stressu a velikostí much *Drosophila*. Třetí kapitola teoretické části se věnuje faktorům, ovlivňujícím rozdíly mezi druhy hmyzu. Jedná se o takové faktory jako velikost, fyziologické adaptace a behaviorální adaptace.

Tejeda (2016) uvedl, že u much *Anastrepha ludens* (Loew, 1873) byla sledována pozitivní korelace mezi velikostí těla, zásobami vody a lipidů a odolností proti vysychání. Andersen et al (2010) na základě výzkumu zjistil existenci vlivu pohlaví a způsobu stravování hmyzu na životaschopnost vejce při dospívání. Chown (2011) píše, že behaviorální fyziologické vlastnosti brouka z čeledi potěmnikovitých *Tenebrionidae*. Jedná se o např. o koadaptaci k vodní citlivosti, o fyziologii vysychání při zvýšených teplotách, které jsou důležitým znakem adaptace jedinců tohoto druhu vůči

teplotnímu stresu. Čtvrtá kapitola se zabývá vysycháním u střevlíků. Hůrka (2005) uvádí, že Carabidae střevlíkovití jsou jednou z druhově nejpočetnějších čeledí brouků. Boer et al.(1979) píšou, že v podmínkách relativní vlhkosti ve výši 95 % a 25 stupních Celsia, vejce umírají z důvodů vysychání, zatímco při relativní vlhkosti ve výši 100 %, některé vejce měly schopnost přežít. Tato adaptace nebyla předtím zjištěna u střevlíků.

Druhou částí bakalářské práce je vlastní výzkum, který se zabýval odolností střevlíků vůči nedostatku vody. Jeho cílem bylo porovnání délky přežívání u různých druhů střevlíků a testování možného vlivu velikosti těla a biotopu na délku přežívání jednotlivých druhů střevlíků.

2. Stres vs. Hmyz.

Stres je ve mnoha výzkumech popsán jako negativní působení, které souvisí např. S výživovými, teplotními nebo oxidativními faktory (Even et al., 2012).

Stres je fenoménem, který je přirozenou každodenností všech živých organismů. Lze ho definovat jako souhrn nepříznivých faktorů působících na tělesné funkce. Pokud se jedná o vliv v menším rozsahu, lze působení stresu hodnotit jako přínosné, neboť testuje účinnost obranných systémů organismu (Even et al., 2012).

Nicméně, zvýšená míra stresu může vést k nepříznivým důsledkům, poškozujícím funkci organismu. Za překročení určité úrovně, může způsobit selhání, a dokonce i smrt organismu. Pro zvládnutí stresu vyvinuly živé organismy, díky svému evolučnímu vývoji, efektivní obranné mechanismy, které umožňují důsledky působení nepříznivých vlivů odstranit nebo přinejmenším zmírnit jejich nežádoucí dopad. Takovým způsobem získávají živé organismy možnost obnovit homeostázu vlastních fyziologických a biochemických procesů (Kodrík, 2014).

V souhrnu nespecifických ochranných reakcí organismu zaměřených na vytvoření stabilní rezistentnosti na stresové působení lze vymezit 3 stadia (obecného adaptačního syndromu):

- úzkostní reakce,
- rezistentní stadium,
- stadium vyčerpávání.

Délka trvání a intenzita každého z výše uvedených stadií se může lišit v závislosti na povaze a síle působení stresového faktoru, popř. na druhu živého organismu a jeho stavu. První stadium syndromu (úzkostní reakce) je charakteristické pro intenzivní a aktivní mobilizaci adaptačních procesů v organismu. Jedná se o reakci na jakékoliv posouvání homeostázy při vzniku

stresové situace (jestliže dojde k prvotnímu stresu). V tomto stadiu prudce roste odolnost organismu vůči vnějšímu působení. Během druhého stadia (rezistentnost) dochází ke zvýšení odolnosti organismu vůči stresoru, který má obecný a nespecifický charakter. Například je-li stres způsoben chladem, zvyšuje se v rezistentním stadiu odolnost organismu nejen vůči chladu, ale i vůči zvýšené teplotě, toxinům apod (Eremina & Gruntěnko, 2017).

V případech, kdy stres je nadměrný nebo delší, se ochranné mechanismy organismu mohou vyčerpávat a celkový adaptační syndrom přechází do třetího stadia (stadium vyčerpávání). Třetí stadium se vyznačuje klesající odolností organismu vůči působícímu stresoru a také vůči jiným druhům stresového působení. Třetí stadium bývá rovněž nazýváno druhotným šokem (Eremina & Gruntěnko, 2017).

Andersen et al (2010) vysvětlují předpoklad, že velké množství organismů v přirozených podmínkách čelí výzvám vůči svým optimálním stravovacím potřebám, zajišťujícím somatický a reprodukční růst. Na to navazuje že během svého života vyžaduje tělo hmyzu určité množství živin, jež jsou potřebné k tomu, aby došlo k maximálnímu růstu a výkonu. Nedostatek nebo nerovnováha tuků, uhlohydrátů nebo bílkovin v organismu hmyzu může ovlivnit takové charakteristiky jako somatický růst a reprodukci. Například, nedostatek bílkovin omezuje plodnost a růst u octomilek obecných. (Andersen et al., 2010)

Oproti tomu, částečné omezení stravy nebo mírnější hladovění může zvýšit dlouhověkost hmyzu, stejně jako odolnost vůči ostatním stresorům, jako je teplota, což dokládá komplexnost získávání a využívání živin. Mnoho rozmanitých faktorů může ovlivnit odolnost organismu vůči stresům. Jde jak o fyziologické, tak i o behaviorální změny (Andersen et al., 2010).

Teplotní stres. Klimatické změny mohou souviset s takovými fyziologickými procesy jako kóma nebo produkce metabolitů. Jedná se o procesy, které umožňují organismu hmyzu odolávat extrémním teplotám. Organismus hmyzu může kompenzovat stravovací stres a omezit velikost

těla prodlužováním období jeho růstu. Jde o využití energie organismu k růstu, odloženému do nástupu reprodukčního období. Organismus hmyzu může také reagovat na stres z nedostatku potravy prostřednictvím migrací, nalezením bezpečného místa, využitím náhradních zdrojů živin, či snížením spotřeby energie (Andersen et al., 2010).

Ve výzkumu Bing & Le (2005) bylo zjištěno, že různé druhy hmyzu mohou různě reagovat na působení extrémních teplot. Může jít o takové reakce jako je vyhnutí se nepříznivému vlivu nebo adaptace na změny. V průběhu evoluce se reakce organismu na teplotní stres stala zděděným znakem, který se postupně zdokonaluje na základě nově vznikajících stresových situací.

Jedním z dobře prozkoumaných stresorů je teplota. Změny v teplotách okolního prostředí ovlivňují velké množství fyziologických procesů a životních vlastností hmyzu, protože způsobují stres, zranění, nebo i smrt. Vliv teplot na fyziologické reakce hmyzu byl zkoumán prostřednictvím velkého množství výzkumů, které se konaly v kontrolovaných teplotních podmínkách (Gallego et al., 2016).

Různé faktory mohou ovlivnit odolnost organismu vůči stresu. Jedná se jak o fyziologické, tak také o behaviorální změny. Výzvy spojené s klimatickými změnami mohou být odstraněny jak procesy aklimatizace, tak produkcí metabolitů, umožňujících organismu vzdorovat stresu (Andersen et al., 2010).

Existuje několik možných fyziologických vysvětlení rychlého zotavení ze slabšího kómatu, přičemž například u much hraje určitou roli strava bohatá na uhlohydráty. Uhlohydráty jsou totiž živinami umožňující zvýšení obsahu tuku v organismu much. Vědecké výzkumy Andresena et al. (2010) zaznamenaly pozitivní korelaci mezi obsahem lipidů v octomilce obecné a její odolnosti vůči nízkým teplotám a jiným stresům (např. hladovění nebo vysychání).

Také Andersen et al. (2010) předpokládají, že rychlejší zotavení se ze slabšího kómatu u tohoto řádu dvoukřídlého hmyzu je podmíněno většími

zásobami lipidů. Tyto zásoby jsou poskytovány prostřednictvím živin se zvýšeným obsahem uhlohydrátů. Nicméně není zjištěn fyziologický mechanismus toho, jak zásoby lipidů mohou zlepšit zotavení hmyzu ze slabšího kómatu. Je ale známo, že větší zásoby lipidů mohou ovlivnit kvalitu, a případně i množství uhlovodíků. Právě uhlovodíky mají vliv na ztrátu vody a její vstřebávání v buňkách.

Stravování bohaté na bílkoviny může zajistit energetické zdroje, které jsou složitěji odstraňovány z těla a v porovnání se stravou bohatou na uhlohydráty či aminokyseliny vyžadují komplikovanější katabolické procesy, jako například deaminaci nebo glukoneogenezi. Fyziologické vysvětlení rostoucí odolnosti vůči teplu u much, které je způsobeno živinami bohatými na bílkoviny, není zatím známo. Jedna z teorií přikládá význam objemu bílkovin (heat shock proteins), vzniklých v důsledku teplotního stresu, které jsou důležité pro vyrovnání s několika druhy stresu (Andersen et al., 2010).

Stres spojený s vysycháním. Vyšší odolnost vůči vysychání, sledovaná u much díky živinám bohatým na bílkoviny, nebyla zjištěna ve studiích, kde odolnost vůči vysychání a akumulace lipidů má pozitivní korelaci. Může být, že konečný produkt metabolisme bílkovin – močová kyselina – může chránit při rostoucím osmotickém tlaku během vysychání tím způsobem, že dojde k omezení ztráty vody z buněk (Andersen et al., 2010).

Produkce vajíček v případě samic, které se stravovaly stravou se zvýšeným obsahem bílkovin, je podstatně vyšší než u samic, které měli stravu bohatou na uhlohydráty. Tato korelace byla sledována nejen u much daného rodu, ale i u jiných druhů hmyzu. Vysoký význam bílkovin pro produkci vajíček může vypovídat o tom, že syntéza bílkovin ve vajíčkách u samic závisí na začlenění aminokyselin (Andersen et al., 2010).

3. Vysychání/žíznivění.

Řada mechanismů u hmyzu slouží k vyhýbání se vysychání, resp. zajišťuje odolnost vůči vysychání. Tyto mechanismy zahrnují začlenění kutikulárních uhlovodíků a osmoregulaci, která souvisí s překážkami ztráty vody. Za druhé, jiný mechanismus se týká buněčné hranice, pohybu vody v organismu hmyzu a schopnosti tolerovat nerovnováhu, tj. odolnost vůči vysychání. Některé mechanismy souvisejí s předcházením a s vyrovnáním se s následky, jež způsobila extenzivní ztráta vody (Chown, 2011).

*“Biologové a fyziologové často využívají *Drosophila melanogaster* (Meigen, 1830) jako modelový organismus ke zkoumání adaptace k vnějším stresům, takovým jako hladovění, vysychání nebo teplotní stres. Krátký život, dobře známá genetika, vysoká plodnost a jednoduchost, se kterou tento živočišný druh může chovat v laboratoři, činí z něj ideální model ke zkoumání hmyzu na stresující podmínky.”* (Kristensen, 2016).

Vysychání způsobené extrémním suchem v terénních podmínkách je vážnou překážkou k přežití organismu. Voda je životně důležitá pro podporu mezibuněčné struktury a zabránění nezvratné ztráty funkce buněk. Většina organismů (především zvířata a rostliny) žijící suchým prostředím zažívají období sucha. Hmyz využívá různých strategií chování, které umožňují vyhnout se některým formám abiotického stresu (např. takovému, jakým je vysychání). Fyziologická a behaviorální adaptace hmyzu k nedostatku vody, konkrétně na rychlejší ztrátu tělesné vody, je nutná ke zvýšení šance na přežití. U octomilek *Drosophila melanogaster* jsou podrobně zkoumány a charakterizovány reakce na stresy z vnějšího prostředí, takovými je i vysychání (Gomez, 2015).

Odolnost vůči vysychání je znakem evolučních procesů a procesů hospodárného využití energie organismu hmyzu. Většina zvířat a rostlin nepřežije dlouhé vysychání, neboť jejich metabolismus je nenávratně poškozen nedostatkem vody. Voda podporuje strukturu mezibuněčných

makromolekul a membrán, brání nezvratnému vytvoření makromolekulárních celků a ztrátě funkcí organel (Gomez, 2015).

Dále Gomez (2015) uvádí že organismy tolerují vysychání především prostřednictvím dvou různých mechanismů – jednak podporou chronické nerovnováhy mezi vnitřním obsahem vody a vnější dostupností vody, a jednak vyhýbáním se nepříznivým vnějším podmínkám. Hmyz obývá široké spektrum různých druhů životních prostředí a vyznačuje se celou řadou strategií odolnosti vůči vysychání, přičemž mezi ty nejrozšířenější patří strategie úkrytu v norách a noční aktivita.

Konzervace tělesné vody u hmyzu se potýká s takovými výzvami, jako např. vysoká povrchní plocha v poměru k tělesné hmotnosti (objemu těla). Fyziologická adaptace v podobě rozšíření zásob vody a nižší míra ztráty vody vedou ke zvýšení odolnosti vůči dehydrataci, a následně i k rostoucí rezistenci vůči vysychání (Gomez, 2015).

U much *Drosophila melanogaster* přežití v podmínkách relativně nižší vlhkosti je komplexním znakem s genetickou variabilitou. Vědecké výzkumy populace hmyzu v terénu a v laboratorních podmínkách ukazují stalou korelaci mezi odolností vůči vysychání, řízením obsahu tělesné vody a propustností epidermis (Gomez, 2015).

U některých druhů much *Drosophila*, rostoucí rezistence vůči hladovění, vysychání a oxidativnímu stresu je spojována s prodlužující se délkou života. Daný fakt znamená úzkou vzájemnou propojenost mezi životními charakteristikami hmyzu a odolnosti vůči vnějším stresům (Gomez, 2015).

Mechanismy adaptace, jakými jsou i bílkoviny produkované v důsledku teplotního stresu (tzv. *stress-induced heat-shock proteins*), se zapojují do reakcí na některé formy vnějšího stresu. Dané bílkoviny svědčí o existenci obecné rezistentní reakce na různé formy stresu. Nicméně proces produkce bílkovin jakožto reakce na teplotní stres sám o sobě nemůže kompletně popsat odolnost hmyzu vůči stresu a zapojení jiných mechanismů a genů do rezistentních reakcí. Umělá selekce dospělých much za účelem zkoumání odolnosti vůči vysychání se stala důvodem ke změně sledovaných

charakteristik jejich fyziologického vývoje. Konkrétně jde o prodlužování délky vývojového období selektovaných much (Gomez, 2015).

Pro suchozemské členovce je v sušším přirozeném prostředí homeostáze vodní rovnováhy kriticky důležitá. U hmyzu existuje několik způsobů dosažení vodní rovnováhy při stresu z vysychání:

- akumulace vyššího objemu vody,
- omezení ztráty vody,
- tolerování větší ztráty tělesné vody.

U much *Drosophila* byly sledovány možnosti jejich odolnosti vůči vysychání jak na vnitřní (fyziologické), tak na vnější (behaviorální) úrovni. Laboratorní selektivní experimenty odolnosti vůči vysychání ukázaly, že nižší ztráta vody, ztráta uhlovodíků s delším kutikulárním řetězcem, rostoucí objem tělesné vody a metabolické zásoby energie, se u much *Drosophila melanogaster* liší v závislosti na pohlaví. Z vědeckého hlediska je pozoruhodné zkoumání skrytých mechanismů úspory vody u divoce žijících druhů much *Drosophila*. Takovéto výzkumy by mohlo potvrdit různé rezistentní schopnosti hmyzu vůči vysychání s ohledem na různé pohlaví (Kalra & Parkash, 2014).

Studenokrevný hmyz se potýká s vysokou mírou stresu z vysychání v sušším prostředí, což je způsobeno jeho malé velikosti. Některé výzkumy Kalra & Parkash (2014) zaznamenaly pozitivní korelaci mezi velikostí těla a odolností vůči vysychání u různých druhů hmyzu, které se značně lišily velikostí těla. Nicméně jiné experimenty Kalra & Parkash (2014), naopak, potvrdily větší význam rozdílnosti ve velikosti těla hmyzu při vysychání mezi vybranými druhy much a jinými sledovanými druhy hmyzu.

Gibbs et al. (2003) uvádí, že výzkumy různých druhů much *Drosophila* ukázaly vyšší odolnost vůči vysychání u samic větší velikosti než u samců menší velikosti. Nehledě na skutečnost, že dimorfismus vyvolaný velikostí jedinců různého pohlaví je rozšířen u různých druhů much *Drosophila*, fy-

ziologické hodnocení odolnosti vůči vysychání je zřídka uvedeno z hlediska pohlavního dimorfismu.

U hmyzu je vnější kostra důležitou styčnou plochou mezi jeho fyziologií a vnějším prostředím. U much *Drosophila* souvisí více než 90 % ztráty tělesné vody s kutikulárním vypařováním při vysychání (Gibbs et al., 2003). Níže uvedené výzkumy poukazují na propojenost mezi množstvím kutikulárních lipidů a odolnosti vůči vysychání u obou pohlaví dvou druhů hmyzu – *Melanoplus sanguinipes* (Rourke, 2000), a *Drosophila melanogaster* (Foley and Telonis-Scott, 2011).

Nezávislá role množství kutikulárních lipidů u samců a melanizace samic na odolnost při vysychání byla sledována podél výškového gradientu pro octomilky *Drosophila kikkawai* (Parkash et al., 2010). Kromě kutikulárních prvků je však pravděpodobné, že objem hemolymfy a obsah uhlohydrátů se může lišit mezi pohlavími. Takové odlišnosti nebyly však doposud testovány pro různé druhy rodu *Drosophila* (Kalra & Parkash. 2014).

Velké množství výzkumů poukazuje na vliv zásob energie na odolnost vůči vysychání u druhu *Drosophila melanogaster*. Nicméně většina těchto výzkumů neurčuje, jaké substráty jsou metabolizovány v podmínkách vysychání. Ovšem výzkumy se zabývaly zkoumáním zásob a využití energetických metabolitů při vysychání u obou pohlaví 4 druhů much *Drosophila*. Došlo ke sledování stejných schémat spotřeby energie u obou pohlaví různých druhů much *Drosophila* (Kalra & Parkash. 2014).

Co se týče much *Drosophila* (Tejeda, 2014) sledoval pozitivní korelaci mezi velikostí těla a odolnosti vůči stresu (včetně vysychání). Ale nejde o stabilně sledovanou korelaci, protože v některých výzkumech tato korelace nebyla zjištěna. Velikost těla je u většiny druhů hmyzu podmíněna z pohlavního hlediska. Odlišná velikost těla u samců a samic může hrát důležitou roli, i když u různých druhů hmyzu rozdíl velikostí těla mezi samicemi a samci závisí na obývaném prostředí. Odolnost různých druhů hmyzu vůči vysychání je dána nejen rozdíly ve velikosti těla samců a samic, ale i

odlišnými tvary jejich těla.

U odlišných druhů hmyzu, jak uvádí Tejeda (2014), odolnost vůči stresu je také podmíněna i způsobem alokace zásob živin v organismu, který se liší z pohlavního hlediska. Jelikož se u samců a samic liší potřeby živin, může to způsobit i odlišnou u samců a samic odolnost vůči stresu. Lze tedy očekávat, že tvar těla a fyziologické odlišnosti samců a samic mohou mít vliv jak na velikost těla, tak i na odolnost vůči stresu. Za účelem rozdělení efektů velikosti těla a morfologických efektů, sledovaných u hmyzu, je nutné využití statického metodu alometrie, což umožní určení relativní působení daných efektů na odolnost vůči stresu.

Ve výzkumu Tejeda (2014) byl sledován skalární vztah mezi odolností vůči stresu a celkovou velikostí pozorovaného hmyzu (respektive much). Na základě provedené analýzy se podařilo zjistit, že existují významné pozitivní korelace mezi jednotlivými znaky těla (např. délkou křídel) a odolnosti vůči stresu, jelikož větší mouchy, jak bylo prokázáno, jsou odolnější vůči stresu než mouchy menší velikosti.

Obsah tělesné vody je téměř stejný u všech sledovaných druhů střevlíků. U 13 druhů průměr hodnot kolísá mezi 56 % až 64 %, a to bez zjištěné vazby na vnější prostředí. Druh *Laemostenus oblongus* (Dejean, 1828), disponuje velmi malým množstvím vody ve výši 48,5 %. Příbuzný druh *Laemostenus navaricus* (Vuillefroy, 1893) má tělesný obsah vody ve výši 52,7%. Druh *Laemostenus terricola* (Herbst, 1784) disponuje nadprůměrným množstvím oproti podobným druhům, a to ve výši 58,4%. Zpravidla platí, že úroveň vody, po které druh umírá, je 40 % až 58 % a ve výjimečných případech se odchyluje od hodnoty 50 % u většiny sledovaných druhů hmyzu (Thiele, 1977).

Ačkoliv selekce odolnosti vůči vysychání může vést ke zvýšení délky života a k omezení plodnosti, založené na pohlavních specifikách, korelace mezi danými životními charakteristikami se může lišit v různých experimentech, což je ukázkou toho, že adaptace k uvedenému typu stresu může být dosažena více fyziologickými mechanismy. Některé výzkumy uvádějí, že

rozdíly ve velikosti těla u zástupců jednotlivých populací hmyzu ovlivňují jejich odolnost vůči stresu. Lze konstatovat, že opakovanost daných korelací v budoucích experimentech může vypovídat o podstatných rozdílech v selekcích různých hmyzů ke sledování jeho odolnosti vůči stresu (Tejeda, 2016).

Tyto parametry uvedené v práci (Tejeda, 2016) mohou být částečně významné pro vysvětlení schopnosti tefritových mušek usadit se v různém prostředí. Stejně jako v případě much *Drosophila*, u *Bactrocera tryoni* (Macquart, 1835) byly sledovány smíšené vzorce mezi velikostí, pohlavím a odolností vůči stresu. Bylo zjištěno, že odolnost při vysychání nekoreluje s velikostí a obě pohlaví much vykazují podobnou odolnost.

Nicméně když je jako charakteristika velikosti využívána tělesná hmota, odolnost vůči vysychání koreluje s velikostí a samci přežívají ve větší míře než samice. Nezávisle na modelovém systému, je důležité vzít v potaz, že k rozlišení efektivní propojenosti mezi velikostí a stresem se musí zohlednit více vzájemných vazeb (Tejeda, 2016).

3.1. Faktory ovlivňující rozdíly mezi druhy hmyzu (velikost, fyziologické adaptace, behaviorální adaptace).

3.1.1. Velikost těla.

V některých výjimečných případech, zvýšení velikosti těla u některých druhů hmyzu (např. much) nekoreluje se zvýšením jejich plodnosti. Nedostatečná korelace mezi velikostí mouchy a její plodnosti může svědčit o nepřímém negativním působení takového druhu stresu, jakým je vysychání (Tejeda, 2016). Bylo vysledováno, že např. plodnost much *Anastrepha ludens* (Loew, 1873) souvisí s jejich velikostí těla. U daného druhu mouchy byla zaznamenána pozitivní korelace mezi velikostí těla a zásobami vody a lipidů na jedné straně a odolností vůči vysychání na straně druhé (Tejeda, 2016).

Je možné se domnívat, že větší mouchy mají zvýhodnění při utilizaci zásob živin. U mouchy *Scatophaga stercoraria* (Linnaeus, 1758) mohou větší jedinci přežít déle s poměrně menšími zásobami živin. Rostoucí zásoby vody jsou jedním z mechanismů u hmyzu, které slouží k přežití v podmínkách suššího prostředí a nedostatku vody. Ačkoliv vyšší množství lipidů nekoreluje s vyšší odolností vůči vysychání, nárůst zásob lipidů může způsobit zvýšení odolnosti vůči hladovění, což je spojováno s rostoucí odolností vůči vysychání (Tejeda, 2016).

3.1.2. Fyziologické adaptace.

Bylo sledováno, že produkce vajec je vyšší u samic, které dospívaly na stravě bohaté na bílkoviny. Ovšem byl zároveň zjištěn vliv pohlaví a způsobu stravování hmyzu na životaschopnost vejce při dospívání. Vyšší životaschopnost samců byla sledována při stravování bohatém na sacharózu, zatímco vyšší životaschopnost samic byla zjištěna při stravování bohatém na bílkoviny (Andersen et al., 2010).

3.1.3. Fertilita a životaschopnost vejce při dospívání.

Bylo zjištěno, že vyšší úspěšnost samic při dospívání, je způsobena živinami, bohatými na uhlohydráty, což znamená, že obě pohlaví mají odlišné požadavky při dospívání a růstu. Reakce charakteristická pro jednotlivá pohlaví v různých vlastnostech života je dobře známa u octomilek obecných. Aktuálně zjištěné údaje ukazují, že samice zmíněných much oproti samcům akumulují více lipidů a méně bílkovin v poměru ke své tělesné hmotě. Zatímco samice hromadí bílkoviny pro vaječníky, samci akumulují bílkoviny k posílení svalové hmoty, jež lze považovat za nezbytnou pro námluvy. Z výsledků studií také vyplynulo, že samice ve větší míře trpí nedostatkem bílkovin než samci (Andersen et al., 2010).

3.1.4. Behaviorální adaptace.

Výzkumy, zkoumající behaviorální reakce hmyzu na změnu obsahu vody v těle, mohou být členěny na 2 druhy. Prvním druhem jsou výzkumy, které nabízejí stálý pokles ve vnějších vlhkých podmínkách, zatímco druhým typem výzkumů jsou takové, jenž poskytují 2 nebo více samostatných úrovní vlhkosti prostředí. Různé ukazatele – například množství času stráveného hmyzem v určité lokalitě nebo počet hmyzu, který byl zaznamenán v určitých podmínkách, jsou následně využity k nalezení optimálního stavu (Chown, 2011).

Chown (2011) uvádí, že nicméně není prokázáno, jestli dané dva odlišné přístupy obecně nabízejí podobné výsledky. Hmyz má schopnosti vyhnout se některým hrozbám vysychání prostřednictvím behaviorálních nástrojů. Klasickým příkladem behaviorální adaptace hmyzu, jejímž cílem je maximalizace vstřebávání vlhkosti z okolního prostředí, je vstřebávání vody z mlhy druhem brouka z čeledi potěmnickovitých *Tenebrionidae* (Latreille, 1802). Během zamlženého rána druh brouka *Onymacris unguicularis* (Haag-Rutenberg, 1875) může vstřebávat až 34 % vlastní tělesné hmoty. Tato a další behaviorální strategie mají důležitý dopad na demografické charakteristiky tohoto druhu.

Behaviorální fyziologické vlastnosti uvedeného hmyzu (např. koadaptace k vodní citlivosti), různé behaviorální reakce a fyziologie vysychání při zvýšených teplotách je podstatným znakem jejich adaptace vůči teplotnímu stresu. I když taková koadaptace nevzniká zcela jistě jako reakce na nedostatek vody, bude pravděpodobně mít vliv na vývoj jiných generací zmíněného druhu hmyzu. Může se např. jednat o zvolení samicemi mikroklimatu pro kladení vajec, která jsou často náchylnější k vodním stresům než dospělí jedinci hmyzu (Chown, 2011).

4. Vysychání u střevlíku.

4.1. Obecné informace.

Carabidae střevlíkovití patří mezi jednu z druhově nejpočetnějších čeledí brouků (čítá zhruba 32000 druhů). Velikost střeoevropských zástupců dané čeledi se nachází v rozmezí mezi 1,6 a 40 mm. Jedinci zmíněného druhu jsou zpravidla štíhlí, dobří běžci mající silné a dlouhé nohy. Někteří střevlíkovití mohou hrabat pomocí upravených předních nohou (Hůrka, 2005).

Mnozí představitelé čeledi (např. druhy rodu *Carabus*) ztratili schopnost letu. Z 15 podčeledí, které byly zmíněny (Lawrencem & Newtonem, 1995), území České a Slovenské republiky obývá 9 podčeledí a více než 600 druhů. Jedno z posledních zpracování čeledi na území daných států bylo publikováno K. Hůrkou (19 %) (Hůrka, 2005).

Střevlíkovití obývají různé druhy stanovišť, jako jsou mokrá, bažinatá či pobřežní, ale také i suchá a pouštní stanoviště. Většina druhů Carabidae obývá povrch půdy a žije pod kameny nebo v hrabance. Některé druhy žijí na bylinách, keřích nebo stromech, případně pod kůrou popř. V hničícím dřevě

(např. *Rhysodini*). Význam Carabidae v přirozených a umělých suchozemských biocenózách lze pokládat za podstatný (Hůrka, 2005).

Zpravidla se jedná o predátory ostatních druhů bezobratlých živočichů, a to především členovců a měkkýšů, které mají v antropocenozech, na nichž se podílí, postavení významných entomofágů. V přirozených biocenózách díky diverzitě a abundanci Carabidae hrají důležitou roli při udržování rovnováhy a při koloběhu různých látek a energie. Zmíněný druh už dlouhodobě slouží jako modelová skupina pro nejrůznější studie, zejména ekologického charakteru (Hůrka, 2005).

Lze konstatovat, že střevlíkovité jsou důležitou skupinou živočichů, která vůči člověku a lidské činnosti vykonává pozitivní roli. Lze je chápat jako

užitečné predátory různých, bezobratlých živočichů, kteří působí negativně na lidskou činnost, a jsou rovněž využívány k bioindikačním účelům při sledování změn přírodního a životního prostředí, kde se člověk nachází (Hůrka, 2005).

4.2. Vysychání u různých druhů střevlíkovitých.

Pro mnohé druhy živočichů zahrnuje odolnost vůči vysychání 3 prvky:

- omezení ztráty vody,
- fyziologickou odolnost vůči snížení obsahu vody v těle,
- objem vodních zásob v organismu.

Čeď brouků Carabidae byla pouze sporadicky zkoumána v problematice její odolnosti vůči vysychání a hladovění. Lze vysledovat jen vágní vztah mezi suchostí prostředí, které hmyz obývá a jeho odolnosti vůči vysychání, a proto mnohé druhy střevlíků jsou ovlivněny takovými abiotickými faktory jako vysychání. V některých výzkumech byly shrnuty výsledky pozorování odolnosti střevlíků vůči vysychání. Z těchto výzkumů vyplývá, že při relativní vlhkosti v rozmezí 20 % až 30 % a 20 stupňů Celsia, žijí sledované druhy v rozmezí od 15 do 97 hodin (Juliano, 1986).

Druh střevlíků *Brachinus* (Weber, 1801) je schopen přežít vysychání při 35 % relativní vlhkosti a při 25 stupních Celsia. Je nutné ale dodat, že většina sledovaných druhů střevlíků obývali lesy, nikoliv např. vodní nádrže. Bylo zjištěno, že existuje pozitivní korelace mezi suchostí prostředí, které střevlíci obývají a jejich odolnosti vůči vysychání. Jiný druh střevlíků – *Brachinus mexicanus* (Dejean, 1831) – lépe přežívá hladovění a nedostatek vody než druh *Brachinus lateralis* (Dejean, 1831), a to pravděpodobně vzhledem k mírně pomalejším metabolickým procesům (Juliano, 1986).

Výsledkem výzkumu bylo také zjištěno, že rychlost metabolismu a intenzita ztráty vody pozitivně korelují, a proto lze předpokládat, že ztráta vody bude

nižší u střevlíků *Brachinus mexicanus*, než u *Brachinus lateralis*. Jelikož intenzita ztráty vody se u různých sledovaných druhů střevlíků výrazně neliší, existuje domněnka, že intenzita metabolismu má vliv výhradně jen na odolnost vůči vysychání (Juliano, 1986).

Jak uvádí Laparie & Renault (2016) ve výzkumu Lindorth (1949) byla testována odolnost vůči vysychání u 16 různých druhů střevlíků *Harpalus* (Latreille, 1802). Živočichové byli umístěni do suché místnosti do malé skleněné mísy byl jim zamezen přístup k vodě. Průměrný čas přežití odlišných druhů hmyzu se značně lišil: pohyboval se od 492,5 hodin u střevlíků *Harpalus serripes* (Quensel in Schönherr, 1806) a pouhých 50 hodin u *Harpalus ruficornis* (Sturm, 1818). Ačkoliv oba zmíněné druhy střevlíků obývají xerothermické oblasti, lze konstatovat, že jejich odolnost vůči vysychání není podmínkou potřebnou k organizaci jejich každodenního života (Laparie & Renault, 2016).

Příliš malé druhy střevlíků *Pterostichus nigrita* (Paykull, 1790) a *Patrobus atrorufus* (Ström, 1768) mohou být dobře přizpůsobení k proměnlivé vlhkosti vzduchu. Odsud vyplývá, že jiné způsoby chování než preference určitého typu vlhkosti, mohou umožnit těmto živočichům vyhnout se vysychání, jež způsobuje smrt. Např. může jít o preferenci nočního způsobu života, což předpokládá pouze noční aktivity. U daných druhů nebyla zjištěna korelace mezi velikostí těla a odolností vůči vysychání (Thiele, 1977).

Dva přibližně stejné druhy střevlíků – *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) a *Pterostichus angustatus* (Duftschmid, 1812) - jsou sice podobné, ale podstatně se liší ve své odolnosti vůči vlhkosti. *Pterostichus angustatus* obývá především lesní paseky, kde je vysoká aktivita slunce, a proto jsou jeho zástupci odolnější vůči vysychání než *Pterostichus oblongopunctatus*, obývající pouze eurytopní lesy (Thiele, 1977).

Čas přežití těchto dvou druhů při 21 stupních Celsia činí 67 hodin, resp. 35,6 hodin a 28,3 hodin, resp. 18 hodin při 28 stupních Celsia. *Pterostichus*

angustatus se vyznačuje relativně vyšší odolností vůči vysychání než *Pterostichus oblongopunctatus*. Co se týče všech sledovaných druhů střevlíků – čas přežití u nejméně odolných druhů střevlíků kolísá od 43 hodin do 102 hodin (průměr činí 74 hodin). V tomto případě jde o druh *Agonum assimile* (Paykull, 1790). Naopak nejodolnější druhy střevlíků *Harpalus rufipes* (De Geer, 1774) mají rozmezí času přežití od 65 hodin do 126 hodin (průměrně tedy 87 hodin) (Thiele, 1977).

U střevlíků žijících nad zemským povrchem závisí stres spojený s vysycháním nejen na výparech, ale i na převažující rychlosti větru. U živočichů, které se z hlediska velikosti a tvaru těla podobají střevlíkům, mají tepelné proudění a s tím spojené následné vypařování přibližně souměrné k druhé odmocnině rychlosti větru (Selly & Mitchell, 1987).

Jak uvádí Laparie & Renault (2016), u druhu *Merizodus soledadinus* (Guerin Meneville, 1830) je z molekulárního hlediska vyšší množství erythritolu spojováno s vysycháním a vykonává ochrannou funkci proti stresoru. Vysychání u daného druhu může být úzce spjato s působením tepla tak, že při snížení relativní míry vlhkosti a rostoucí teplotě stoupá citlivost vůči vysychání. Nižší koncentrace erythritolu u druhu *Merizodus soledadinus* stanovená autory ve výzkumu, nejspíš neposkytuje efektivní ochranu proti ztrátě tělesné vody. Různé projevy ztráty tělesné vody lze u zmíněného druhu sledovat již při vysychání od 20 °C.

Produkce energie je pravděpodobně modulována prostřednictvím změn v počtu mitochondrií, který závisí na teplotní aklimatizaci. Dle těchto představ, energetické zásoby (takové jako uhlohydráty, především glukóza a trehalóza) s rostoucí teplotou klesají. Trehalóza je známá jako multifunkcionální molekula, která je akumulována při různých nepříznivých podmínkách, takových jako horko, chladno, oxidace nebo vysychání. Akumulace trehalózy poskytuje možnost ochrany buněčných membrán. Ale postupné snížení teplot v preferovaných daným druhem podmínkách vede k tomu, že trehalóza slouží jako zdroj energie (Laparie & Renault, 2016).

Jak uvádí Boer et al (1979) brouci čeledi Carabidae, žijící v dočasně sušších oblastech afrických tropů a subtropů, mají určitou roční periodicitu. Tráví horkou sezónu ve stavu nečinnosti gonádů. Procesy reprodukce a rozvoje aktivně probíhají především během deštivé sezóny. Jenom dospělé jedince této čeledi jsou schopni přežít v sušších podmínkách, protože tato schopnost přežití není známá v různých stádiích rozvoje. Larvy jsou velice citlivé na vysychání, zatímco vejce jsou ještě citlivější na vysychání. Pro úspěšný rozvoj nevyžadují jenom 100 % relativní vlhkosti, ale také vodu v oblasti, kterou obývají.

Neschopnost Carabidae v určitých stádiích vývoje přežít v sušších sezónních podmínkách, lze považovat za jejich hlavní problém při adaptaci k suchým oblastem. Je nutné ale dodat, že některé druhy Carabidae mohou žít v pouštních oblastech. Proto středem zájmu mnoha vědců jsou právě adaptační mechanismy určitých druhů Carabidae v různých fázích jejich vývoje. Jedná se o mechanismy, které se projevují v podmínkách extrémně suchých podmínek (Boer et al., 1979).

Dle výzkumu, který byl proveden v roce 1977, dva poddruhy druhu *Thermophilum sexmaculatum* - *T.s. sexmaculatum* a *T.s. marginatum* (druh *Thermophilum sexmaculatum* (Fabricius, 1787)). V laboratorních podmínkách, samice obou poddruhů snášely vejce, ale jenom ve vlhkém substrátu (v písku) (Boer et al., 1979).

Ke sledování toho, jak zmíněné druhy Carabidae snášejí vejce, několik jedinců bylo umístěno v plastovém kontejneru s pěticentimetrovou vrstvou písku. Tento kontejner byl rozdělen do dvou stejných částí. V jedné části kontejneru se nacházel písek se suchým vzduchem, zatímco v té druhé části – vlhký písek. Samice mohly zvolit, v jaké části kontejneru chtějí snášet vejce. Všechny 10 samic, které se nacházely v uvedených podmínkách, snášely vejce ve vlhkém písku (Boer et al., 1979).

Při relativní vlhkosti ve výši 95 % a 25 stupních Celsia, vejce umírají kvůli vysychání. Ale při relativní vlhkosti ve výši 100 %, některé vejce byly schopny přežít. Jedná se o adaptaci, která nebyla předtím sledována u střevlíků. Nicméně vejce při relativní vlhkosti ve výši 100 % nezvětšily

svůj objem bez kontaktu s vodou. Proto larvy, které se vyklubaly z takových vajec, jsou menší, než normální vejce (Boer et al., 1979).

Odolnost larev *Thermophilum sexmaculatum* proti vysychání je vyšší, než byla sledována u severoamerických střevlíků. Jedním z projevů této vyšší odolnosti je schopnost vajec dospívat při relativní vlhkosti ve výši 100 % bez kontaktu s vodou. Právě zmíněná vyšší odolnost umožnila těmto druhům Carabidae přežít v podmínkách prostředí pouští a polopouští. (Boer et al., 1979)

Jak uvádí Ouisse et al. (2016) délka přežití v rozmezí 7 až 55 dnů byla sledována u brouků, podobných druhu *Merizodus soledadinus*. Dle zjištěných údajů, predátor druhu *Merizodus soledadinus* je mimo konkurenci oproti jinému hmyzu s podobnou velikostí, protože má délku přežití, dosahující 100 dnů. Nicméně schopnost přežití *Merizodus soledadinus* rapidně klesá při umírněných (na 70 %) a nízkých podmínkách vlhkosti (na 30 %) (Ouisse et al., 2016).

Výsledky u druhu *Merizodus soledadinus*, podobné výše uvedeným, byly zjištěny u zástupců daného druhu z Jižní Gruzie, kde průměrná délka přežití při relativní vlhkosti v 5 % kolísala mezi 8 až 17 hodinami a 20 až 10 stupni Celsia. Uvedená omezená odolnost vůči vysychání je společná pro všechny druhy, které obývají geograficky jižnější oblasti. Tato odolnost je nejvíce patrná u subantarktických a antarktických druhů, ale byla sledována rovněž u druhů, obývajících území s mírnějším klimatem (jde např. o druh European riparian Carabidae) (Ouisse et al., 2016).

Ve skutečnosti většina metabolitů druhu *Merizodus soledadinus*, které byly měřeny v rámci výzkumu, zaznamenaly zvýšení svých hodnot při 30 % až 70 % relativní vlhkosti po 4 a 8 hodinách zacházení s nimi. Tyto hodnoty po 16 hodinách klesají při relativní vlhkosti ve výši 70 %. Několik sloučenin (částečně aminokyseliny a polyol) se akumuluje v hmyzu, který čelí stresu z vysychání, ale žádná z uvedených sloučenin není efektivním osmoprotektantem. Jde v podstatě o znak, který může vypovídat o vzniku metabolické

deregulace a postupného fyziologického zhroucení zástupců druhů, u nichž dochází k dehydrataci (Ouisse et al., 2016).

Výsledky kolísání vlhkosti, sledované v experimentu, jak uvádějí Schreiner & Irmeler (2009), ukázaly vyšší odolnost vůči nízké vlhkosti u druhu *Elaphrus uliginosus* (Fabricius, 1792) než u druhu *Elaphrus cupreus* (Duftschmidt, 1812). Preference podmínek vlhkosti různých druhů závisí na času, který vyžadují brouci k tomu, aby zvolili vhodné podmínky, protože změny v preferencích vycházejí z vysychání brouků. Samci *Elaphrus cupreus* preferovali vyšší vlhkost hned po zahájení experimentu, zatímco samci *Elaphrus uliginosus* tuto vlhkost preferovaly teprve po 3 hodinách. Kromě toho, bylo zjištěno, že samice jsou odolnější vůči vysychání v porovnání se samci (Schreiner & Irmeler, 2009).

Preference vyšší vlhkosti u druhu *Elaphrus cupreus* v porovnání s *Elaphrus uliginosus* také byly podpořeny výsledky experimentu, zkoumajícího ztráty vody. Ale ztráta vody u jednotlivých druhů se v rámci experimentu lišila. Např. byli zjištěni jedinci, u nichž je životu nebezpečná ztráta vody 20 %, resp. méně než 5 %. Tak velký rozdíl pravděpodobně souvisí s věkem jedinců, protože starší jedinci ukázali vyšší ztrátu vody oproti mladším jedincům (Schreiner & Irmeler, 2009).

PRAKTICKÁ ČÁST

5. Metodika.

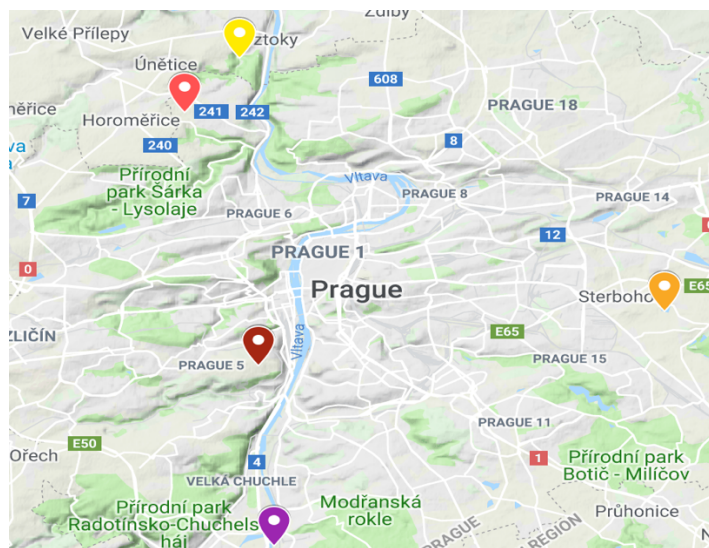
5.1. Popis zájmového území.

Sběr dat probíhal ve třech typech biotopů: suchý otevřený, vlhký otevřený a lesní (středně vlhký).

První lokalitou bylo pole na Dívčích hradech, městská část Praha 5, suchý trávník ($50^{\circ} 04' 95''$ s. š., $14^{\circ} 39' 47''$ v. d.) Další lokalita byla rovněž suchého typu, a nacházela se v poli na Praze 6, na Suchdole ($50^{\circ} 13' 36''$ s. š., $14^{\circ} 36' 25''$ v. d.).

Lokalitami vlhkého typu byly Komořanské tůně, městská část Praha 12 ($49^{\circ} 98' 95''$ s. š., $14^{\circ} 40' 15''$ v. d.) a Slatina, městská část Praha-Dubeč ($50^{\circ} 06' 77''$ s. š., $14^{\circ} 57' 28''$ v. d.).

Poslední lokalitou byl les, který se nacházel u Únětického potoku v Roztokách ($50^{\circ} 15' 17''$ s. š., $14^{\circ} 38' 67''$ v. d.). - viz Obrázek 1.



Obrázek č. 1: Mapa studovaných oblastí, ve kterých se nacházejí zkoumané lokality.

5.2. Sběr dat.

Zkoumanou skupinou pro tento experiment byly brouci z čeledi střevlíkovitých (Coleoptera: Carabidae), které byly odchyceny do exhaustorů (otevřená stanoviště) a zemních pastí (les). Sběr vzorků z otevřených biotopů byl zahájen 3.5.2017 a probíhal cca 5 dní.

Druhá část sběru brouků započala o dva týdny později v lesním biotopu. Dne 16.5.2017 byly zakopány zemní pasti a následně byly obden vybírány. Nejdříve se vyskytovalo hodně jedinců rodu *Abax*, ale s každým výběrem se snižovalo množství. Od 19.5.2017 byly instalované i pasti s návnadou (kaprem) v epruvetách. Lov pomocí zemních pastí probíhal 8 dní.

5.3. Charakteristika zkoumaných druhů.

Dohromady na všech pěti územích, tedy na Suchdole, Dívčích hradech, v Komořanských tůních, na Slatině a v lese bylo zatím odchyceno 18 druhů brouků z čeledi střevlíkovitých, a k této studii byli použiti jedinci s vahou nad 5 mg.

***Anchomenus dorsalis* (Pontoppidan, 1763), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Anchomenus* – střevlíček.**

Velikost těla daného druhu činí 5,6- 7,7 (6,8) mm, západopaleartický, pozorován v letu, euryekní druh, zasahující na východ po Střední Asii. V ČR se obecně vyskytuje na nezastíněných, suchých až polovlhkých stanovištích: pole, stepi, pastviny, okraje remízku, často pospolitě (Hůrka a kol. 1996).

***Amara ovata* (Fabricius, 1792), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Amara* - kvapník » podrod *Amara*.**

Velikost těla daného druhu činí 7,0- 10,2 (9,0) mm, pozorován v letu, transpaleartický druh, který je rozšířen až po Kamčatku. V ČR obecný, indiferentní k zastínění: pole, louky, křoviny, nížiny až hory, nejčastěji v pahorkatinách. Převážně býložravý (Hůrka a kol. 1996).

***Brachinus explodens* (Duftschmid, 1812), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Brachinus* – prskavec.**

Velikost těla daného druhu činí 4,5-7,2 (6,0) mm, palearktický druh, který je rozšířený po Bajkal, v ČR hojný na suchých a polovlhkých stanovištích bez zastínění: stepi, pole, nížiny a hory (Hůrka a kol. 1996).

***Europhilus micans* (Nicolai, 1822), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae – střevlíkovití » rod *Agonum* – střevlíček.**

Velikost těla daného druhu činí 5,7-7,2 mm, obývá většinou vlhké zarostlé břehy vod, mokré nivy a louky a lužní lesy od nížin do podhůří (Hůrka a kol. 1996).

***Paranchus albipes* (Fabricius, 1796), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » podtribus Platynina.**

Velikost těla daného druhu činí 6,1-8,8 (7,8) mm. Obecně se v ČR vyskytuje na štěrkových, štěrkopískových, štěrkohlinitých až kamenných březích vod od nížin do hor, nezávislý na zastínění a do značné míry i na znečištění (Hůrka a kol. 1996).

***Stenolophus teutonius* (Schrank, 1781), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Stenolophus* - střevlík » podrod *Stenolophus*.**

Velikost těla daného druhu činí 5,6-7,1 (6,6) mm. Je nejhojnějším z 5 druhů rodu nalezených v ČR. Běžně se vyskytuje na nezastíněných, rostlinami porostlých březích vod a močálech, od nížin do podhůří (Hůrka a kol. 1996).

***Amara familiaris* (Duftschmid, 1812), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Amara* - kvapník » podrod *Amara*.**

Velikost těla daného druhu činí 5,5-7,1 (6,4) mm. Palearktický druh, areál rozšíření po střední Sibiř a severní Mongolsko, zavlčeny do Severní Ameriky. V ČR eurytopní druh: pole, ruderaly, nížiny až hory (Hůrka a kol. 1996).

***Oxypselaphus obscurus* (Herbst, 1784), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Oxypselaphus* – střevlík.**

Velikost těla daného druhu činí 4,5-6,6 (5,5) mm. Pozorován v letu. Holarktický druh, hojně se vyskytuje v ČR na zarostlých březích močálu a vod, od nížin po pahorkatiny a v lužních lesích (Hůrka a kol. 1996).

***Oodes helopioides* (Fabricius, 1792), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Oodes*.**

Velikost těla daného druhu činí 7,6-9,4 (8,7) mm. Palearktický druh, v ČR obecný na velmi vlhkých, nezastíněných a částečně zastíněných stanovištích: břehy vod, močály, nížiny až podhůří. (Hůrka a kol. 1996)

***Harpalus affinis* (Schrank, 1781), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Harpalus* – kvapník.**

Velikost těla daného druhu činí 8,1-12,4 (10,2) mm. Pozorován v letu, transpalearktický eurytopní druh, zavlečený do Severní Ameriky. V ČR je obecný. Vyskytuje se na suchých až polovlhkých stanovištích bez zastínění: pole, louky, ruderaly, nížiny až hory. (Hůrka a kol. 1996)

***Harpalus distinguendus* (Duftschmid, 1812), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Harpalus* - kvapník » podrod *Lasioharpalus*.**

Velikost těla daného druhu činí 7,9-11,2 (9,7) mm. Pozorován v letu, transpalearktický druh. Rozšířený od Azorských ostrovů a sz. Afriky až na Dálný Východ. V ČR se obecně vyskytuje na suchých až polovlhkých stanovištích bez zastínění: pole, stepi, ruderaly, nížiny až pahorkatiny (Hůrka a kol. 1996).

***Poecilus cupreus* (Linnaeus, 1758), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Poecilus* - střevlíček » podrod *Poecilus*.**

Velikost těla daného druhu činí 9,6-14,0 mm. Nejběžnější barevně variabilní zástupce rodu. Je to eurytopní druh, který se většinou vyskytuje na nezastíněných stanovištích: stepi, polí, ruderaly, lučky a břehy vod, běžný od nížin do hor (Hůrka a kol. 1996).

***Amara similata* (Gyllenhal, 1810), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Amara* – kvapník.**

Velikost těla daného druhu činí 7,5-9,8 (8,7) mm. Pozorovaný v letu. Transpalearktický druh. V ČR se obecně vyskytuje na suchých až polovlhkých stanovištích bez zastínění: polích, loukách, ruderalech, od nížin až po hory, nejčastěji v pahorkatinách (Hůrka, 2006).

***Europhilus fuliginosus* (Panzer, 1809), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Agonum* » podrod *Euriphilus*.**

Velikost těla daného druhu činí 5,7-7,4 (6,5) mm. Pozorovaný v letu. Palearktický druh, rozšířený na východ po Sachalin, v ČR obecný. Obývá břehy vod, většinou močály, močalovité lesy, pahorkatiny, nížiny až hory (Hůrka, 2006).

***Pseudoophonus rufipes* (De Geer, 1774), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Pseudoophonus*» podrod *Pseudoophonus*.**

Velikost těla daného druhu činí 10,2-16,1 (13,8) mm. Pozorovaný v letu. Palearktický druh. V ČR se obecně vyskytuje na suchých až polovlhkých, spíše nezastíněných stanovištích: pole, louky, ruderaly okraje lesu, nížiny až hory (Hůrka, 2006).

***Nebria brevicollis* (Fabricius, 1792), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Nebria* - střevlíček » podrod *Nebria*.**

Velikost těla daného druhu činí 10,2-13,0 (11,5) mm. Zapadopalearktický druh. V ČR je rozšířený hojně po celém uzemi: lesy, louky, park, nížiny až hory (Hůrka, 2006).

***Abax parallelepipedus* (Piller & Mitterpacher, 1783), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Abax* - čtvercoštítník » podrod *Abax*.**

Velikost těla daného druhu činí 15,8-20,8 (18,6) mm. Druh severní a střední Evropy, v ČR se obecně vyskytuje v lesích všech typu od nížin do hor (Hůrka, 2006).

Abax parallelus (Duftschmid, 1812), třída Insecta - hmyz » řád Coleoptera - brouci » čeleď Carabidae - střevlíkovití » rod *Abax* - čtvercoštitník » podrod *Abax*.

Velikost těla daného druhu činí 12,8-16,5 (15,1) mm. Druh východní a střední Evropy, v ČR a SR hojný v lesích nížin až hor (Hůrka, 2006).

5.4. Laboratorní měření.

Před začátkem měření bylo jedincům vykrmeným na standardizovanou kondici individuálně přiřazeno vlastní (unikátní) číslo. Ke každému jedinci byly vyplněny detailní informace do připraveného formuláře: druh a rod, pohlaví, změřená velikost těla (délka krovky), tělesná hmotnost. Střevlíci byli určeni do druhů pomocí klíče k střeoevropským druhům střevlíků (Hůrka, 1996).

Větší druhy nad 5 mg živé váhy (analyzované v této práci) byli 10.05.2017 zváženi pomocí analytické váhy Sartorius.

Brouci byli váženi Eliškou Baranovskou a Helčou Antošovou (FLD). Každý brouk byl zvlášť umístěn do Petriho misky spolu s pytlíčkem silikagelu (0,5g). Hned po tom všechny brouci byli postupně cca 15-19h umísťováni do klimatických boxů, které byly nastaveny na teplotu 20 °C.

V klimaboxech byla nízká vzdušná vlhkost okolo 30 % (v Petriho miskách díky silikagelu zřejmě ještě nižší). První kontrola byla naplánována na 11.5. 6:00 – 7:00 hodin, dělala ji Baranovská Eliška a mezi stresovanými zvířaty se již vyskytlo několik mrtvol. Mrtvé brouky spolu s jejich vlastním číslem jsme vytrídili a umístili do eppendorfek.

Druhá kontrola byla provedena 11.5.2017 13:30-15:00 mnou spolu s Michalem Knappem. Třetí kontrola byla provedena 11.5.2017, 20:00 – 22:00 mnou. Čtvrtá kontrola byla provedena 12.5.2017, 5:00-7:00 Eliškou Baranovskou. Pátá kontrola byla provedena 12.5.2017, 12:00-14:00 Katkou Zákostelskou, Helčou Antošovou a Eliškou Baranovskou. Šestá kontrola byla provedena 12.5.2017, 20:00- 22:00 Eliškou Baranovskou. Sedmá

kontrola byla provedena 13.5.2017, 05:00-7:00 Katkou Zákostelskou. Osmá kontrola byla provedena 13.5.2017, 12:00–14:00 Katkou Zákostelskou. Devátá kontrola byla provedena 13.5.2017, 20:00 – 22:00 Eliškou Baranovskou. Desátá kontrola byla provedena 14.5.2017, 05:00– 07:00 Katkou Zákostelskou. Jedenáctá kontrola byla provedena 14.5.2017,12:00-13:00 mnou.

Dvanáctá kontrola byla provedena 14.5.2017, 20:00 mnou. Třináctá kontrola byla provedena 15. 5. 2017, 08:00 Eliškou Baranovskou a stejně jako poslední, čtrnáctá kontrola 16.5.2017 v 08:00.

Experiment pokračoval a 29.5.2017 v 11:00, sešli jsme v laboratoři a připravovali jsme našich jedinců. Brouci byli roztríděné, zvážené a umístěné do misek Petřího s vlastním číslem a silikagelem. Do klimatických boxů byli uloženi v 15:00. První kontrola probíhala už večer 29.5.2017 v 20:00 Eliškou Baranovskou. Druhá kontrola byla provedena 30.5.2017 v 08:00 Katkou Zákostelskou. Třetí kontrola byla provedena 30.5.2017 v 15:00 Helčou Antořovou – už bylo pár jedinců mrtvých, ale neumírali v takovém množství jako předchozí běh. Čtvrtá kontrola byla provedena 30.5.2017 v 18:00

Eliškou Baranovskou. Pátá kontrola byla provedena 31.5.2017 v 08:00 Katkou Zákostelskou. Šestá kontrola byla provedena 30.5.2017 v 15:00 Helčou Antořovou. Sedmou kontrolu 30.5.2017 v 18:00 jsem dělala sama. Osmá kontrola 1.6.2017 v 08:00 byla provedena Eliškou Baranovskou. Devátá kontrola byla provedena 1.6.2017 v 15:00 Eliškou Baranovskou. Desátá kontrola 1.6.2017 v 18:00 byla provedena mnou. Jedenáctá kontrola byla provedena 2.6.2017 v 08:00 Eliškou Baranovskou. Dvanáctá kontrola byla provedena 2.6.2017 v 15:00 Helčou Antořovou. Třináctá kontrola byla provedena 2.6.2017 v 18:00 Eliškou Baranovskou. Zbytek se postarala Eliška Baranovská. Poslední brouk umřel 11.06.2017.

Následně byla pro všechny mrtvé brouky změřena velikost těla (délka krovky).

5.5. Statistická analýza dat.

Cílem statistické analýzy dat bylo především stanovit, jestli délka přežívání v suchém prostředí závisí na druhové příslušnosti jedince. Data pro délku přežívání (v hodinách) byla logaritmičsky transformována. Následně jsem vliv druhové identity testovala pomocí analýzy variance ANOVA s transformovanými daty o délce přežívání jako závislé proměnné a druhové identitě jako nezávislé proměnné. Byl použit lineární model s lognormálním rozdělením. Průkaznost závislé proměnné byla testována pomocí F-testu. Konkrétní rozdíly mezi druhy byly následně otestovány pomocí Tukey post-hoc testů (funkce „glht“ v balíčku „multcomp“).

K otestování vlivu biotopové preference a velikosti těla druhu na jeho schopnost přežívání v extrémním suchu byla použita analýza kovariance (ANCOVA). Pro každý druh byl spočítána průměrná doba přežívání v suchu, tato hodnota byla logaritmičsky transformována a následně použita jako závislá proměnná v modelu. Biotopová preference druhu (suchý, polosuchý či vlhký biotop) a průměrná hmotnost druhu (viz Tabulka 1) byly použity jako nezávislé proměnné. Průkaznost závislých proměnných byla testována pomocí F-testu. Konkrétní rozdíly mezi preferovanými biotopy byly následně otestovány pomocí Tukey post-hoc testů (funkce „glht“ v balíčku „multcomp“).

Všechny analýzy byly provedeny pomocí programu R verze 3.5.2 "Good Sport" (R Core Development Team, 2018).

6. Výsledky.

Analýza délky přežívání v extrémně suchých podmínkách byla provedena pro 643 jedinců střevlíků z osmnácti druhů této čeledi: *Anchomenus dorsalis*, *Amara ovata*, *Brachinus eximius*, *Europhilus micans*, *Paranchus albipes*, *Stenolophus teutonius*, *Amara familiaris*, *Oxytelus obscurus*, *Oodes helioides*, *Harpalus affinis*, *Harpalus distinguendus*, *Poecilus cupreus*, *Amara similata*, *Europhilus fuliginosus*, *Pseudoophonus rufipes*, *Nebria brevicollis*, *Abax parallelepipedus*, *Abax parallelus*.

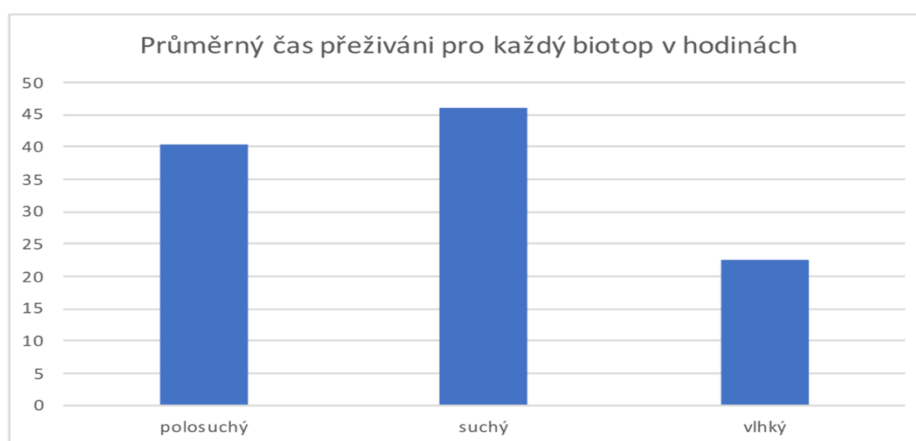
Druh	Počet jedinců	Průměrná hmotnost (mg)	Biotop	Průměrný čas přežívání (h)
<i>Anchomenus dorsalis</i>	50	13,5	suchý	17,9
<i>Amara ovata</i>	50	52,6	suchý	34,2
<i>Brachinus eximius</i>	50	13,9	suchý	33,2
<i>Europhilus micans</i>	47	11,9	vlhký	27,2
<i>Paranchus albipes</i>	16	17,4	vlhký	17,4
<i>Stenolophus teutonius</i>	32	13,2	vlhký	15,3
<i>Amara familiaris</i>	41	16,3	suchý	41,7
<i>Europhilus fuliginosus</i>	15	12,4	suchý	25,9
<i>Oxytelus obscurus</i>	32	24,4	vlhký	24,4
<i>Oodes helioides</i>	42	29,5	vlhký	28,9
<i>Harpalus affinis</i>	31	60,6	suchý	55,2
<i>Harpalus distinguendus</i>	20	52,9	suchý	37,5
<i>Poecilus cupreus</i>	44	84,7	suchý	62,5
<i>Amara similata</i>	20	41,1	suchý	41,7
<i>Pseudoophonus rufipes</i>	36	121	suchý	121,2
<i>Nebria brevicollis</i>	35	56,2	polosuchý	50,2
<i>Abax parallelepipedus</i>	50	287,7	polosuchý	35,9
<i>Abax parallelus</i>	50	139,9	polosuchý	35,4

Tabulka č. 1: Průměrný čas přežívání zkoumaných druhů, jejich početnost, průměrná hmotnost a typ biotopu.

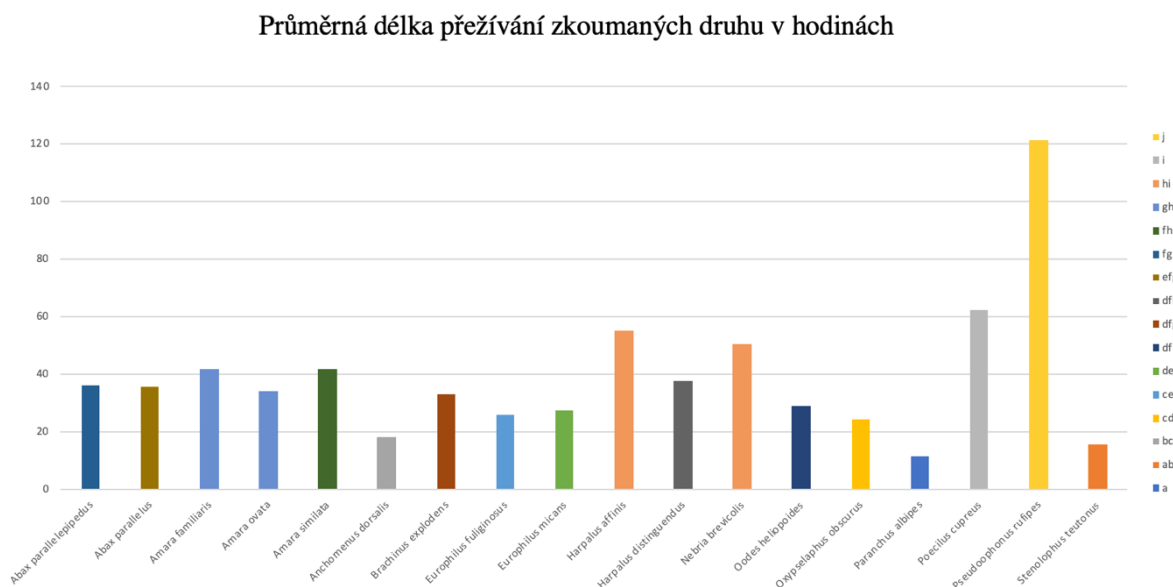
Délka přežívání se významně lišila mezi druhy (ANOVA: $F = 53,24$; $P = 2,2 \cdot 10^{-16}$). Nejdéle přežíval *Pseudoophonus rufipes*, poslední brouk zemřel až po 263 hodinách v extrémním suchu. Střední čas přežívání pro tento druh je kolem 120 hodin. Dalším druhem dobře přežívajícím suchu byl *Poecilus cupreus*, poslední brouk daného druhu zemřel po 137 hodinách, což je ovšem skoro dvakrát menší čas než pro druh *Pseudoophonus rufipes*, střední čas přežívání cca 60 hodin. Třetí místo se rozdělilo mezi *Harpalus affinis* a *Nebria brevicollis*, střední délky jejich přežívání jsou skoro stejné a přesahují 50 hodin (Tabulka 1).

Průměrná délka přežívání druhu byla průkazně ovlivněna jeho biotopovou preferencí ($F = 4,18$; $P = 0,045$). Brouci žijící v suchém či polosuchém biotopu přežívali v extrémně suchém prostředí déle než druhy vyskytující se ve vlhkých biotopech (Obrázek 2). Velikost těla (tělesná hmotnost) sama o

sobě průkazně neovlivňovala délku přežívání střevlíků ($F = 2,95$; $P = 0,114$), ale existovala průkazná interakce mezi velikostí těla a biotopovou preferencí druhu ($F = 7,59$; $P = 0,008$). Tato interakce byla zřejmě způsobena především extrémní délkou přežívání velkých druhů žijících v suchém prostředí (*Pseudoophonus rufipes* a *Poecilus cupreus*), zatímco doba přežívání větších druhů z vlhkého typu prostředí se příliš nelišila od délky přežívání druhů menších.



Obrázek č. 2: Grafický znázorněný průměrný čas přežívání všech zkoumaných druhů podle jejich původního biotopu v hodinách, osa X- typ biotopu, osa Y- čas v hodinách.



Obrázek č. 3: Grafický znázorněná průměrná délka přežívání zkoumaných druhů, osa X – druhová příslušnost, osa Y – průměrný čas přežívání v hodinách.

7. Diskuze.

Tato studie potvrdila mezidruhové rozdíly v přežívání sucha pro zkoumané druhy střevlíků. V porovnání s výzkumem, popsáním v teoretické části práce, analýza v praktické části probíhala v suchých, polosuchých a vlhkých biotopech a střevlíci neměli možnost přejít do jiného, vlhkého prostředí. Nehledě na rozdíly v přístupech je pozoruhodné porovnat výsledky dvou výzkumů. Je zcela logické, že délka přežití nebyla zcela závislá na preferovaném biotopu, ale i na dalších vlastnostech jednotlivých druhů.

Z 10 druhů, které se nacházeli v suchých biotopech, nejdelší dobu přežití měl *Pseudoophonus rufipes* (121,2 hodin), zatímco tu nejkratší – druh *Anchomenus Dorsalis* (17,9 hodin). Jde o hodnoty, které téměř 6 až 20 násobně převyšují délky dobu, po které *Elaphrus ullrichii* přecházel do vlhkého písku. Jde o druh, který nejdelší dobu volil suché prostředí.

U dvou druhů, s nejdelší a nejkratší dobou přežití v dvou jiných biotopech – polosuchém a vlhkém prostředí, nejdelší dobu přežití v polosuchém biotopu má *Nebria Brevicollis* (50,2 hodin) a ve vlhkém – *Europhilus micans* (27,2 hodin). Jsou to hodnoty, které 8 resp. 4násobně převyšují dobu, po které *Elaphrus ullrichii* přecházel do vlhkého prostředí.

Z výsledku našeho experimentu vyplývá, že délka přežívání různých druhů střevlíků byla průkazně ovlivněna jejich biotopovou preferencí, a že druhy vyskytující ve vlhkých biotopech přežívali v extrémně suchem prostředí kratší dobu, než druhy preferující suché nebo polosuché biotopy. Velké a malé druhy, žijící v suchem prostředí měli průkazné rozdíly v délkách přežití, zatímco doba přežívání větších druhů z vlhkého typu prostředí se příliš nelišila od délky přežívání druhů menších. Nutno však podotknout, že mezi druhy z vlhkého prostředí jsem nezkoumala žádné skutečně velké druhy (maximální živá hmotnost byla 29,5 mg).

Čeď brouků Carabidae byla pouze sporadicky zkoumána v problematice její odolnosti vůči vysychání a hladovění. Lze vysledovat relativně vágní vztah mezi suchostí prostředí, které hmyz obývá, a jeho odolností vůči

vysychání, a proto mnohé druhy střevlíků jsou ovlivněny takovými abiotickými faktory jako vysychání. Ve výzkumu Juliano (1986) byly shrnuty výsledky pozorování odolnosti střevlíků vůči vysychání. Z tohoto výzkumu vyplývá, že při relativní vlhkosti v rozmezí 20 % až 30 % a teplotě 20 °C stupňů Celsia, žijí sledované druhy v rozmezí od 15 do 97 hodin. To jsou hodnoty porovnatelné s daty naměřenými v této bakalářské práci.

Dle výzkumu, který provedli Todd & Block (1997) v Jižní Gruzii, menší masožravci *O. Soledadinus* (Guérin-Méneville, 1832) a *T. antarcticus* (Dejean, 1831) obývající vlhčí biotopy, ztráceli vodu rychleji, a měli s tím spojenou i nižší odolnost vůči vysychání. Fyziologické adaptace pro omezení ztráty vody nebyly u těchto druhů zřejmé. Na rozdíl od těchto druhů, měli zkoumaní brouci obývající suché biotopy (pole nebo skalní oblasti). *P. antarcticus* Müller (1884) vyšší obsah tělesné vody po experimentu. Z toho vyplývá, že druhy žijící na sušších stanovištích se mohou lépe přizpůsobit k fyziologickým podmínkám, které jim ukládá mikroklima, než druhy, které původně obývají vlhčí biotopy.

Podle mého názoru výsledky našeho výzkumu se mohou výrazně lišit od mnoha dosud publikovaných prací kvůli tomu, že v našem experimentu se zkoumaní jedinci nacházeli v téměř absolutním suchu, na rozdíl od předchozích výzkumu Thiele (1977), kde druhy byli zkoumané při 20-30 % RH nebo 52-54% RH.

Výsledky této práce mohou být využité jako podklad pro analýzu možných vlivu klimatických změn a extrémních teplot na stabilitu početnosti populací a ekologickou rovnováhu. Také změny abiotických faktorů, které ovlivňují jedince, vyskytujících se na typech stanovišť zmíněných v mém výzkumu. Toto téma mě zaujalo a chtěla bych i nadále pokračovat ve studiu entomologie.

8. Závěr.

V rámci této studie, jejíž terénní část probíhala v roce 2017, bylo analyzováno přežívání vybraných druhů střevlíků při nedostatku vody v extrémně suchém prostředí. Během měsíce května byly provedeny sběry v pěti lokalitách v okolí Prahy, a to na Suchdole, Dívčích hradech, Slatině, v Komořanských tůních a v lese nedaleko Roztok. Z hlediska vlastností lokality byly vybrány tři typy biotopů: suchý, vlhký a polovlhký. Za celou studii bylo sebráno 18 druhů střevlíků. Pro analýzu vlivu tělesné hmotnosti na přežívání byly použity druhy s tělesnou hmotností nad 5 mg. Cílem statistické analýzy dat bylo stanovení vlivu sucha na určité druhy a jejich přežívání pod tímto vlivem. Analýzou dat byl prokázán systematický vliv konkrétního druhu na přežívání sucha.

Cíle vytýčené pro tuto práci byly splněny. V terénu se podařilo sebrat značné množství brouků, z nichž podstatná část (643) byla proměřena. Studie prokázala vliv druhové identity a biotopové preferenci na přežívání sucha u všech studovaných druhů. Délka přežívání stresu ze sucha se výrazně lišila mezi druhy. Nejdéle přežíval druh *Pseudoophonus rufipes*. Tato studie potvrdila, že druhy žijící ve vlhkých biotopech přežívají stres kratší dobu než druhy ze suchých a polosuchých podmínek. Větší druhy měli tendenci přežívat déle než druhy menší a tento trend byl pozorován především pro druhy obývající suché biotopy.

Seznam použité literatury.

ANDERSEN, Laila H., Torsten N. KRISTENSEN, Volker LOESCHCKE, Søren TOFT a David MAYNTZ. Protein and carbohydrate composition of larval food affects tolerance to thermal stress and desiccation in adult *Drosophila melanogaster*. *Journal of Insect Physiology*. 2010, (56), 336–340.

BING, Chen a Kang LE. Insect population differentiation in response to environmental thermal stress. *Progress in Natural Science*. 2005, **15**(4), 289–296.

BUJAN, Jelena, Stephen P. YANOVIK a Michael KASPARI. Desiccation resistance in tropical insects: causes and mechanisms underlying variability in a Panama ant community. *Ecology and Evolution*. 2016, **6**(17), 6282–6291.

DEN BOER, P. J., H. U. THIELE a F. WEBER. On the evolution of behaviour in carabid beetles. 1. WAGENINGEN: H. VEENMAN & ZONEN B.V., 1979.

EREMINA, M.A. a N.E. GRUNTĚNKO. Nějoendokrinnaja stress-reakcija nasekomych: istorija razvitija koncepcii. *Vavilovskij žurnal genětiki i selekcii*. 2017, 21(7), 825-832.

EVEN, Naïla, Jean-Marc DEVAUD a Andrew B. BARRON. General Stress Responses in the Honey Bee. *Insects*. 2012, (3), 1271-1298.

FOLEY, B.R., TELONIS-SCOTT, M., 2011. Quantitative genetic analysis suggests causal association between cuticular hydrocarbon composition and desiccation survival in *Drosophila melanogaster*. *Heredity* 106, 68–77.

GALLEGO, Belén, José R. VERDÚ, Luis M. CARRASCA a Jorge M. LOBO. A protocol for analysing thermal stress in insects using infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*. 2016, (56), 113–121.

GIBBS, Allen G., Fernando FUKUZATO a Luciano M. MATZKIN. Evolution of water conservation mechanisms in *Drosophila*. *Journal of Experimental Biology* [online]. 13 January 2003, **2003**, 1190 [cit. 2019-04-21]. DOI: 10.1242.

GOMEZ, FEDERICOH. Patterns of variation in desiccation resistance in a set of recombinant inbred lines in *Drosophila melanogaster*. *Physiological Entomology*. 2015, (40), 205–211. DOI: 10.1111/phen.12103.

HŮRKA, Karel. *Brouci České a Slovenské republiky: Beetles of the Czech and Slovak Republics*. 1. Zlín: Kabourek, 2005. ISBN 80-864-4711-1.

- HŮRKA, Karel. *Brouci české a slovenské republiky*. 2. nezměněné vydání. Zlín: Kabourek, 2006. ISBN 978-80-86447-17-9.
- HŮRKA, Karel. *Carabidae of the Czech and Slovak Republics: [illustrated key]*. 1. Zlín: Kabourek, 1996. ISBN 80-901-4662-7.
- CHOWN, Steven L. Water loss in insects: An environmental change perspective. *Journal of Insect Physiology*. 2011, (57), 1070–1084.
- J.F. LAWRENCE, A.F. NEWTON. 1995. Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and data on family-group names). In: *Biology, Phylogeny, and Classification of Coleoptera*. Eds. J. Pakaluk and S.A. Slipinski. Warszawa, 1995. P. 779-1006.
- JULIANO, STEVEN A. Resistance to desiccation and starvation of two species of *Brachinus* (Coleoptera: Carabidae) from southeastern Arizona. *Canadian Journal of Zoology*. 1986, **64**, 73-80.
- KALRA, Bhawna a Ravi PARKASH. Sex-specific divergence for body size and desiccation-related traits in *Drosophila hydei* from the western Himalayas. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 2014, **177**, 1–10.
- KODRÍK, Dalibor. Hormony a hormonální řízení antistresové odpovědi u hmyzu. *Živa*. 2014, (5), 206-208.
- KRISTENSEN, Torsten Nygaard. Fitness components of *Drosophila melanogaster* developed on a standard laboratory diet or a typical natural food source. *Insect Science*. 2016, (23), 771–779. DOI: 10.1111/1744-7917.12239.
- LAPARIE, M. a D. RENAULT. Physiological responses to temperature in *Merizodus soledadinus* (Col., Carabidae), a subpolar carabid beetle invading sub-Antarctic islands. *Polar Biology*. 2016, **39**(1), 35-45.
- LAWRENCE, J. F. a A. F. NEWTON, JR. *Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and data on family-group names)*. 2. Warszawa: Muzeum i Instytut Zoologii PAN, 1995. ISBN 83-85192-34-4.
- LINDROTH, C. H.: Die Fennoskandischen Carabidae. Kungl. Vetensk. Vitterh. Samh. Handl. (Ser. B4) 1, Spezieller Teil, 1-709 (1945); 3, Allgemeiner Teil, 1-911 (1949).
- M. TODD, Catherine a William BLOCK. Responses to Desiccation in Four Coleopterans from Sub-Antarctic South Georgia. *J. Insect Physiol.* Printed in Great Britain: Elsevier Science, 1997, 1996, 911.
- OUISSÉ, Tiphaine, Dries BONTE a Marc LÉBOUVIER. The importance of relative humidity and trophic resources in governing ecological niche of the

invasive carabid beetle *Merizodus soledadinus* in the Kerguelen archipelago. *Journal of Insect Physiology*. 2016, **93–94**, 42–49.

PARKASH, Ravi, Vineeta SHARMA a Bhawna KALRA. Sexual dimorphism for water balance mechanisms in montane populations of *Drosophila kikkawai*. *Biology letters*. Printed in Great Britain: The Royal society publishing, 2010, **2010**, 571.

R Core Team (2018) R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

ROURKE, BRYAN C. Geographic and altitudinal variation in water balance and metabolic rate in a california grasshopper, *melanoplus sanguinipes*. *The Journal of Experimental Biology*. Printed in Great Britain: The Company of Biologists Limited, 2000, **2000**(2699–2712), 2700.

SEELY, M.K. a D. MITCHELL. Is the subsurface environment of the Namib Desert dunes a thermal haven for chthonic beetles. *South African Journal of Zoology*. 1987, **22**(1), 57-61.

SCHREINER, Rosvita a Ulrich IRMLER. Niche differentiation and preferences of *Elaphrus cupreus* Duftschmid, 1812 and *Elaphrus uliginosus* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Carabidae) as reason for their different endangerment in Central Europe. *Journal of Insect Conservation*. 2009, (13), 193–202. DOI: 10.1007/s10841-008-9142-9.

TEJEDA, M.T. Effects of size, sex and teneral resources on the resistance to hydric stress in the tephritid fruit fly *Anastrepha ludens*. *Journal of Insect Physiology*. 2014, (70), 73–80.

TEJEDA, Marco T. Reasons for success: Rapid evolution for desiccation resistance and life-history changes in the polyphagous fly *Anastrepha ludens*. *The Society for the Study of Evolution. Evolution*. 2016, **70**(11), 2583–2594. DOI: 10.1111/evo.13070.

THIELE, Hans-Ulrich. Carabid Beetles in Their Environments: A Study on Habitat Selection by Adaptations in Physiology and Behaviour. 1. Berlin: Springer-Verlag, 1977. ISBN 978-3-642-81156-2.

Seznam obrázků a tabulek.

Obrázek č. 1: Mapa studovaných oblastí, ve kterých se nacházejí zkoumané lokality.	22
<i>Obrázek č. 2: Grafický znázorněný průměrný čas přežívání všech zkoumaných druhů podle jejich původního biotopu v hodinách, osa X- typ biotopu, osa Y- čas v hodinách.</i>	31
Obrázek č. 3: Grafický znázorněná průměrná délka přežívání zkoumaných druhů, osa X – druhová příslušnost, osa Y – průměrný čas přežívání v hodinách.	31
Tabulka č. 1: Průměrný čas přežívání zkoumaných druhů, jejich početnost, průměrná hmotnost a typ biotopu.....	30