

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Predační chování a potravní preference štíra *Buthus ibericus* Lourenço & Vachon, 2004

Diplomová práce

Bc. Jan Albl

Výživa zvířat a dietetika

doc. Mgr. Stanislav Korenko, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Predační chování a potravní preference štíra *Buthus ibericus* Lourenço & Vachon, 2004" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26. 4. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Mgr. Stanislavu Korenkovi, Ph.D. za možnost zpracování této práce a pomoc při stanovení metodiky práce. Rovněž děkuji prof. Mgr. Stanislavu Pekárovi, Ph.D., který se spolupodílel na odchytu štírů, již byli hlavní součástí výzkumu. Také bych rád poděkoval Ing. Jakubu Sýkorovi za pomoc s chovem testovaných jedinců a ochotu přečíst si výslednou práci. V neposlední řadě děkuji své přítelkyni, která mi byla po celou dobu psaní práce oporou.

Predační chování a potravní preference štíra *Buthus ibericus* Lourenço & Vachon, 2004

Souhrn

Buthus ibericus vyskytující se v Portugalsku a západním Španělsku byl v roce 2015 přivezen do České republiky za účelem sledování jeho predačního chování a potravních preferencí. Tento výzkum probíhal v laboratorních podmínkách v budově České zemědělské univerzity v Praze. Sledování jedinci štíra *B. ibericus* byli krmeni testovanými druhy kořisti: šváb turkistánský *Shelfordella lateralis*, šváb šedý *Nauphoeta cinerea*, cvrček domácí *Acheta domestica*, potěmník moučný *Tenebrio molitor*, zákeřnice dvojtečná *Platymeris biguttatus*, blíže neurčení brouci rodu potěmník *Tenebrio*, mnohonožky z třídy Diplopoda, svinka obecná *Armadillidium vulgare*, saranče obecná *Chorthippus parallelus*, pavouci rodu *Eusparassus*, ruměnice pospolná *Pyrrhocoris apterus* a mravenci rodu *Messor*. Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda je štír *B. ibericus* potravním generalistou a zda je jeho potravní chování uzpůsobeno k širokému spektru kořisti. Na základě statistických analýz spočítaných v RStudio nebylo zamítnuto, že *B. ibericus* je potravním generalistou, a tedy neupřednostňuje žádný typ potravy. Zároveň nebylo zamítnuto, že jeho potravní chování je uzpůsobené k širokému spektru kořisti. U predačního chování bylo zjištěno, že u štíra *B. ibericus* záleží na druhu kořisti. Většina druhů kořisti ovlivňuje čas jednotlivých úseků a aspektů predačního chování. Dále byl zkoumán poměr velikosti kořisti ku velikosti štíra *B. ibericus* a zdali má tento poměr vliv na míru úspěšnosti sežraných jedinců. Testy ukázaly, že všem sledovaným jedincům štíra *B. ibericus* nezáleželo na velikosti kořisti.

Klíčová slova: interakce, chování, predátor, kořist, krmení

Predatory behaviour and prey preference of scorpion *Buthus ibericus* Lourenço & Vachon, 2004

Summary

In 2015, *Buthus ibericus*, a scorpion living in Portugal and western Spain, was brought to the Czech Republic in order to observe its predatory behavior and prey preference. This research was executed in laboratory conditions at the Czech University of Life Sciences Prague. Observed scorpions of *Buthus ibericus* species were fed with testing species of prey: the turkestan cockroach *Shelfordella lateralis*, the cinereous cockroach *Nauphoeta cinerea*, the house cricket *Acheta domestica*, larvae of yellow mealworm *Tenebrio molitor*, the white-eyed assassin bug *Platyeris biguttata*, an unknown beetle of the genus *Tenebrio*, species of the class Diplopoda, the pillbug *Armadillidium vulgare*, the meadow grasshopper *Chorthippus parallelus*, huntsman spiders of the genus *Eusparassus*, the fire bug *Pyrrhocoris apterus* and ants of genus *Messor*. The aim of this diploma thesis was to find out, if the *Buthus ibericus* scorpion is a food generalist and if its predatory behavior is fitting for a large scale of prey. Based on statistical analyses counted in RStudio programme was confirmed, that *Buthus ibericus* is a food generalist, therefore it doesn't prefer any type of prey. There was also confirmed that its predatory behavior is adapted for a wide range of prey. In predatory behavior, it has been found that in the case of a scorpion *B. ibericus*, the type of prey does matter. Most of the types of prey affect the time of individual sections and aspects of predatory behavior. The ratio of the size of the prey to the size of the scorpion *B. ibericus* was also examined and if this ratio affects the success rate of eaten individuals. Tests showed that observed *B. ibericus* scorpions did not care about the prey size.

Keywords: interaction, behavior, predator, prey, feeding

Obsah

1 Úvod	7
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	8
3 Literární rešerše.....	9
3.1 Obecná charakteristika štírů	9
3.1.1 Taxonomické zařazení	9
3.1.2 Anatomie a morfologie	9
3.1.3 Jed	13
3.1.4 Adaptace na biotopy	15
3.1.5 Predační chování.....	17
3.1.6 Rozmnožování	18
3.1.7 Obranné mechanismy	20
3.2 Čeleď Buthidae.....	22
3.3 <i>Buthus ibericus</i>.....	22
4 Metodika	24
4.1 Odchyt a následný chov pozorovaných jedinců <i>B. ibericus</i>	24
4.1.1 Chov <i>B. ibericus</i> v laboratorních podmínkách	24
4.2 Testované druhy kořisti.....	26
4.2.1 Testované druhy získané odchytém.....	29
4.3 Pozorování predálního chování.....	29
4.3.1 Příprava na pozorování	29
4.3.2 Průběh pozorování	29
4.4 Použité statistické metody	30
5 Výsledky.....	33
6 Diskuze	41
6.1 Získání štírů.....	41
6.2 Ubikace.....	41
6.3 Používané druhy kořisti.....	42
6.4 Pozorování predálního chování.....	42
7 Závěr	44
8 Literatura.....	45

1 Úvod

Počátky starobylého taxonu štírů sahají až do siluru. Tehdy žili ve vodě, suchozemské druhy se objevily až v devonu (Polis 1990b; Brownell & Polis 2001; Ruppert et al. 2004; Stockmann & Ythier 2010). Až na změny v pohybovém a dýchacím ústrojí zůstalo jejich tělo z doby devonu téměř nezměněné (Polis 1990b, Brownell & Polis 2001; Sridhara et al. 2016). Jejich tělo je rozdělené na hlavohrud' (prosomu), která nese mediánové a laterální oči, chelicery, pedipalpy zakončené klepety a čtyři páry kráčivých končetin, a zadeček (opisthosomu). Zadeček je dále rozdělen na širší mesosomu s vývodem pohlavního ústrojí. Dále mesosoma nese pektiny, útvary, které slouží k detekci otřesů a jako chemoreceptory, a nakonec vyústění dýchací soustavy. Druhou částí zadečku je štíhlá metasoma. Na jejím konci se nachází anus a navazuje na ni telson s jedovým ostnem (Hjelle 1990; Farley 2001; Mullen & Stockwell 2002; Ruppert et al. 2004).

Štíři se vyskytují na všech kontinentech kromě Antarktidy a úspěšně osídlili pouště, savany, tropické deštné lesy, listnaté i jehličnaté lesy a travnaté oblasti (Cloudsley-Thompson 1968; Due 2001; Sridhara et al. 2016). Některé druhy žijí ve svém mikrohabitatu, jiné se vyskytují v jedné oblasti, avšak osídlují různé biotopy. Pouštní druhy zadržují vodu lépe než jiní obratlovci. Mají extrémně suché výměšky, téměř nepropustný exoskelet a některým druhům stačí získávat vodu jen z kořisti. Nejvyšší naměřené teploty, ve kterých štíři dokázali přežít, se pohybovaly okolo 50 °C, avšak před vysokými teplotami se raději schovávají do nor nebo pod kameny (Hadley 1974; Polis 1990b; Sridhara et al. 2016; Cowles 2018).

Potrava štírů se skládá z velké části z různých druhů bezobratlých, velké druhy loví i malé obratlovce. Jako modelový druh pro tento pokus byl vybrán druh štíra *Buthus ibericus* žijící v Portugalsku a Španělsku. Cílem pokusu bylo zjistit, zda je tento druh štíra potravní generalista.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce je zjistit predační chování a potravní preferenci štíra *Buthus ibericus* Lourenço & Vachon, 2004.

Hypotéza: Štír *Buthus ibericus* je potravní generalista a jeho potravní chování je uzpůsobené k širokému spektru kořisti.

3 Literární rešerše

Literární rešerše je rozdělena na tři kapitoly. První kapitola pojednává o štírech obecně. Začíná taxonomickým zařazením, anatomii a morfologií, pokračuje přes štíří jed, adaptace na biotopy, ve kterých štíří žijí, predační chování a končí u jejich rozmnožování a obranných mechanismů. Druhá kapitola se věnuje čeledi Buthidae a třetí kapitola popisuje konkrétně druh *Buthus ibericus*.

3.1 Obecná charakteristika štírů

Štíří Scorpiones C. L. Koch, 1837 patří do starobylého taxonu, jehož počátky sahají až do siluru (443–416 mil. let př. n. l.). První štíří žili ve vodě, suchozemské druhy se objevily až v devonu (416–359 mil. let př. n. l.) (Polis 1990b; Brownell & Polis 2001; Ruppert et al. 2004; Stockmann & Ythier 2010) Polis (1990b) uvádí, že nejstaršími štíry byli zástupci rodu *Palaeopisthacanthus* Petrunkevitch 1913. V současnosti štíří osidlují všechny kontinenty kromě Antarktidy (Polis 1990b; Ruppert et al. 2004).

3.1.1 Taxonomické zařazení

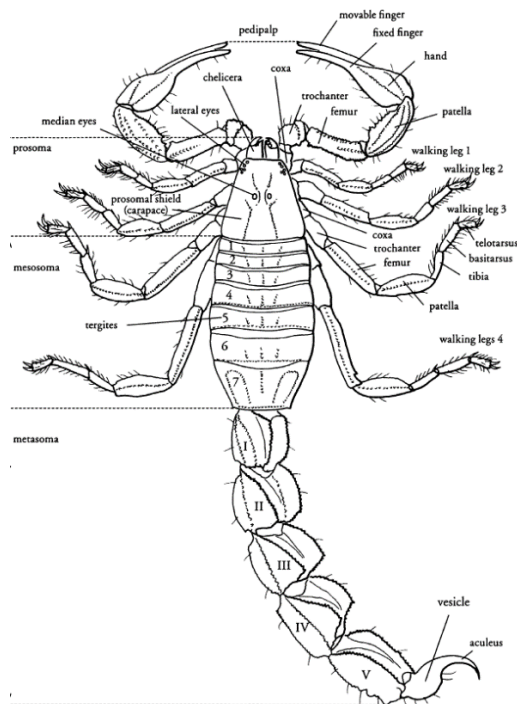
Štíří spadají do kmene členovci Arthropoda Latreille, 1829, podkmene klepítkatci Chelicerata Heymons, 1901 a třídy pavoukovci Arachnida Cuvier, 1812 (Kořínek 2017). V rámci svého řádu se dále dělí do 23 čeledí, 226 rodů a v současné době je popsáno 2597 druhů (Rein 2021b).

3.1.2 Anatomie a morfologie

Tělo štírů (obrázek 1) zůstalo téměř beze změny už od siluru. S výjimkou změn v pohybovém (posílení kráčivých končetin) a dýchacím (vývin plicních vaků) ústrojí je stavba těla současných štírů podobná té, jakou měli štíří před více než 400 miliony lety. To nasvědčuje tomu, že tato stavba těla byla úspěšná a přizpůsobivá (Polis 1990b, Brownell & Polis 2001; Sridhara et al. 2016; Cowles 2018). Všechny druhy štírů si jsou vzhledem podobné, liší se jen velikostí těla, případně jeho částí (Cloudsley-Thompson 1968; Polis 1990b). Stejně jako u ostatních pavoukoců je i štíří tělo rozděleno na hlavohrud' (prosomu, cephalothorax) a zadeček (opisthosomu, abdomen), které od sebe nejsou odděleny stopkou. Zadeček se dále dělí na širší mesosomu (preabdomen) a metasomu (postabdomen) připomínající ocas (Brownell & Polis 2001; Mullen & Stockwell 2002; Leeming 2003; Ruppert et al. 2004).

Hlavohrud' je z dorzální strany kryta karapaxem, v jehož středu se nachází mediánové oči a po jeho okrajích oči laterální. Mediánové oči dokážou vytvořit kvalitnější obraz než laterální oči, laterální oči jsou pak nejméně desetkrát citlivější na světlo, čímž štírům umožňují žít nočním způsobem života. Uvnitř očí se také nachází granulovaný pigment, který během dne chrání vysoce citlivou sítnici. Jeho funkce by se dala přirovnat ke slunečním brýlím (Hjelle, 1990; Cowles 2018). Některé druhy, které žijí převážně v jeskyních, oči kompletně postrádají (Hjelle 1990; Farley 2001; Mullen & Stockwell 2002). Povrch ventrální strany se skládá z malého sternu a kyčlí končetin. Kyčle prvních dvou párů kráčivých končetin jsou v přední části upraveny a tvoří coxapofýzy, které společně s kyčlemi pedipalp tvoří dorzální a postranní části předústní dutiny. Dorzální část dutiny tvoří chelicery a na

konci této dutiny začíná trávicí trakt. První článek hlavohrudi nese chelicery (klepítka), které slouží k příjmu potravy a čištění klepet. Každá z chelicer je složena ze tří článků. K tělu je připevněna coxa, následuje tibia s nepohyblivým prstem a tarsus (pohyblivý prst) (Sissom et al. 1990). Druhý článek hlavohrudi nese pro štíry charakteristické výrazné pedipalpy (makadla) zakončené klepety, jež slouží k úchopu kořisti, obraně, hloubení nor, případně i k prozkoumávání okolí (Kovařík 1999; Mullen & Stockwell 2002; Stockmann & Ythier 2010). Samečci rovněž klepeta používají k uchopení klepet samiček při námluvách. Pedipalpy mají šest článků nazývajících se (směrem od těla) coxa, trochanter, femur, patella, tibia s nepohyblivým prstem a tarsus (pohyblivý prst). Tibia a tarsus se souhrnně označují jako chela. Na povrchu těchto článků, stejně jako na mnoha dalších částech těla, se nacházejí vyvýšené lineární struktury nazývané kýly. Ty mohou být silně granulované či mohou mít pouze tmavé zbarvení. Vnitřní části pohyblivého i nepohyblivého prstu jsou pokryty výběžky různých tvarů a množství, záleží na druhu štíra (Hjelle 1990). Na klepetech se nachází specializované chloupky nazývané trichobotrie. Tyto chloupky jsou velice citlivé na proudění vzduchu a nízkofrekvenční zvuky. Štíři s jejich pomocí dokážou přesně zacílit kořist vzdálenou několik centimetrů od nich a chytit i létající hmyz (Hjelle 1990; McCormick & Polis 1990; Cowles 2018). Další čtyři články hlavohrudi nesou čtyři páry kráčivých končetin skládajících se z osmi článků. Tyto články se nazývají (směrem od těla) coxa, trochanter, femur, patella, basitarsus, tarsus a apotele. Apotele je navíc zakončen laterálními drápkami (ungues) a krátkým středovým drápkem (dactyl). Kráčivé končetiny umožňují kromě pohybu po substrátu také hrabání a samičky jimi chytají rodící se mláďata. Rovněž jsou tyto končetiny vybaveny množstvím proprioreceptorů a senzoričkových štětín. Mezi třetím a čtvrtým párem kráčivých končetin se nachází sternum. Může mít různé tvary, například trojúhelníkový či pětiúhelníkový, a sloužit tak jako prvek, podle kterého lze rozlišovat čeledi. Jelikož embrya v pozdní fázi a první instary všech štírů mají pětiúhelníkové sternum, lze předpokládat, že je tento tvar primitivní (Hjelle 1990).



Obrázek 1– schéma těla štíra, převzato ze Stockmann & Ythier 2010

Mesosoma je širší část zadečku složená ze sedmi článků. Součástí prvního mesosomálního článku je gonopor krytý párovým genitálním operkulem (Farley 2001; Mullen & Stockwell 2002; Ruppert et al. 2004). Druhý článek z ventrální strany nese štítek se dvěma pektiny (obrázek 2). Pektiny jsou útvary připomínající hřebínky, které slouží k detekci otřesů a zároveň jako chemoreceptory. Délka pektinů a počet „zoubků“ na nich je u mnoha druhů znakem pohlavního dimorfismu. U samců bývají pektiny silněji vyvinuté než u samic (Gaffin & Brownell 2001; Stockmann & Ythier 2010). Každý z dalších čtyř článků mesosomy nese jeden pár průduchů či stigmat, což jsou otvory, kterými vyúsťují plicní vaky. Tyto otvory mohou mít štěrbinový, elipsovitý, oválný či kruhovitý tvar. Poslední článek mesosomy na sobě nenese žádné významné externí struktury, avšak ostře se zužuje a navazuje na první článek metasomy (Hjelle 1990; Gaffin & Brownell 2001). Každý článek mesosomy je dorzálně kryt sklerotizovanou destičkou, která se nazývá tergit. Ventrálně jsou články kryty rovněž sklerotizovanými destičkami, nazývanými se sternity. Sternity se ale vyskytují pouze od třetího do sedmého článku mesosomy. Články jsou mezi sebou spojené mezičláňkovými membránami, sternity a tergity jsou laterálně spojeny pleurálními membránami (Hjelle 1990).



Obrázek 2– Ventrální strana těla štíra s pektinami, převzato z Cowles 2018

Metasoma (někdy též chybně označována jako „ocas“) se skládá z pěti článků a telsonu, který se za pravý článek nepovažuje (Hjelle 1990; Farley 2001; Leeming 2003). Články jsou jednoduché, bez patrných sternitů či tergitů. Postupně jsou stále delší a poslední článek je vždy nejdelší. Články jsou rovněž pokryty různými kýly, chloupky a štětinkami, které jsou důležité z taxonomického hlediska. Na posledním článku se na ventrální straně nachází anus obklopený čtyřmi análními papilami. Zároveň na poslední článek navazuje telson. Telson cibulkovitého tvaru je zakončen ostnem, do něž ústí jeden pár jedových žláz (Farley 2001; Ruppert et al. 2004; Sridhara et al. 2016).

Kutikula štíry chrání mimo jiné před dehydratací a poškozením ultrafialovým (UV) zářením (Cowles 2018). Zvláštní vlastností štírů kutikuly je, že pod UV světlem fluoreskuje (obrázek 3). Je to způsobeno zejména dvěma sloučeninami, a sice β -karbolinem a 7-hydroxy-4-methylkumarinem. Tyto sloučeniny jsou schopny absorbovat určité rozmezí hodnot vlnových délek UV záření s excitací 320–360 nm, a mohou tak chránit DNA štírů před poškozením slunečním UV zářením (Cowles 2018; Yoshimoto et al. 2020). Yoshimoto et al. (2020) při experimentu objevili další fluorescenční sloučeninu. Jedná se o makrocyclický diftalát, který má velmi slabou absorpci UV záření, hraje však roli v ochraně před parazity.

Schopnost fluorescence si kutikula udržuje i po svlékání. Čerstvě svlečený štír nefluoreskuje, plně fluoreskovat začne až po 48 hodinách (Hjelle 1990). Fluorescence je velmi užitečná při pozorování, protože ulehčuje pozorování štírů v noci, kdy jsou nejaktivnější (Ruppert et al. 2004; Stockmann & Ythier 2010; Lourenço 2012). Tuto vlastnost postrádají štíři z čeledi Chaerilidae Pocock, 1893 (Lourenço 2012; Yoshimoto et al. 2020).

Části kutikuly, které jsou nejvíce vystavované oděrům a jsou tím pádem náchylné k opotřebení, jmenovitě kutikulární výběžky na chelicerách a pedipalpách, tarzální drápky a špička jedového ostnu, byly během svého vývoje obohaceny o těžké kovy. U všech druhů štírů se jedná o mangan a zinek, výjimkou jsou druhy z čeledi Buthidae C. L. Koch, 1837, jejichž kutikula je navíc obohacena o železo. Tyto kovy se ve jmenovaných částech kutikuly vyskytují v koncentracích až 25 % u zinku, 4 % u manganu a 9 % u železa. Zinek převládá na okrajích a špičkách struktur, zatímco mangan spíše ve štěrbinách (Schofield 1990; Cowles 2018).



Obrázek 3 – štír pod UV světlem, převzato z Cowles 2018

Protože je kutikula pevná schránka, musí ji štíři, stejně jako ostatní členovci, během růstu svlékat. Tento proces se nazývá ekdyse. U štírů probíhá tak, že kutikula praskne v přední části hlavohruďi a štír tudý opustí svůj starý exoskeleton. Starý, prázdný exoskeleton se nazývá svlečka či exuvie (obrázek 4). Během dospívání proběhne u štírů ekdyse ve většině případů 6–9krát. Dospívání může trvat 6 měsíců až 7 let. Většina druhů žije 2 až 10 let, některé druhy však mohou žít déle než 25 let (Polis 1990; Cowles 2018).



Obrázek 4 – svlečky štírů *Buthus ibericus*, zdroj: autor

Trávicí trakt štírů tvoří jednoduchá, mírně diferenciovaná trubice. Skládá se ze tří oddílů: stomodea (přední část), mesenteronu (střední část) a proctodea (zadní část). Stomodeum je tvořeno ústy, hltanem a jícnem. Ústa navazují na předústní dutinu. Šťávy vytvořené z kořisti se do úst dostávají rytmickými pohyby coxapofýz prvního páru kráčivých končetin. Coxapofýzy jsou posety krátkými štětinkami tvořícími „kartáč“, přes který se šťávy filtrují a může také čistit povrch coxapofýz druhého páru kráčivých končetin. Ústa následně pokračují do hltanu. Hltan má tvar podobný hrušce a byl přeměněn v sací orgán. Je vybaven mnoha svaly umožňující jeho stahování a roztahování. Na hltan navazuje jícen. Jícen je tenká trubice, která se na konci roztahuje. Toto roztažení může zabraňovat navrácení obsahu žaludku. Mesenteron je tvořen žaludkem a žaludečními žlázami, střevem a hepatopankreatem. Žaludek je rozšířená trubice v hlavohruďi mezi jícnem a bránicí, do které ústí dvojice kanálků z trojlaločných žaludečních žláz. Od bránice až do čtvrtého metasomálního článku pokračuje střevo, nejdelší část trávicího traktu štírů. Do úseku střeva nacházejícího se v mesosomě ústí na každé straně pět párů kanálků vedoucích do pěti párů žláz, souhrnně nazývaných jako hepatopankreas. Hepatopankreas je hlavní trávicí žláza, která vyplňuje celou dutinu mesosomy, přičemž poslední pár žláz navíc přesahuje do prvního článku metasomy. Je tvořen jak trávicími buňkami, produkujícími enzymy rozkládající potravu, tak i buňkami vstřebávacími, které natrávenou potravu vstřebávají. Hepatopankreas rovněž slouží jako zásobárna, do které se ukládají přebytky potravy a umožňuje štírům přežít dlouhá období bez potravy. Proctodeum zahrnuje poslední úsek střeva a anus (Hjelle 1990).

3.1.3 Jed

Jed je do kořisti vstříknut telsonem zakončeným ostnem. Je to látka, která v sobě obsahuje soli, nukleotidy, biogenní aminy, mukoproteiny a zejména toxiny. Toxin je bílkovina tvořena přibližně 30–70 aminokyselinami, podle typu toxinu. Dlouhé peptidové řetězce jsou zesíťovány čtyřmi disulfidickými můstky, krátké pouze třemi či vůbec žádnými. Disulfidické můstky zamezují volnému pohybu peptidů a stabilizují strukturu bílkoviny. Takto zesíťované toxiny jsou pak mimořádně odolné vůči mnoha změnám v prostředí, které by jiné bílkoviny nevydržely. Nejsou inaktivované velkými výkyvy pH, různými denaturačními činidly, běžnými proteolytickými enzymy či velkými rozsahy teplot. Jsou inaktivovány činidly, které redukují disulfidické můstky, jako jsou například dithiotreitol (známý také jako Clelandovo činidlo) či β -merkaptoethanol, a reagují s aminovými a karboxylovými funkčními skupinami (Simard & Watt 1990). Peptidy bez disulfidických můstků jsou mnohem kratší, skládají se z 13–50 aminokyselin, a vykazují antimikrobiální aktivitu (Abdel-Rahman et al. 2015).

Toxiny mají účinek na iontové kanály vzrušivých buněk, a to na sodíkové, draslíkové, chloridové a vápníkové, přičemž většina toxinů působí na kanály sodíkové. Štíří toxiny působící na sodíkové kanály (NaScTxS) jsou složeny z 55–70 aminokyselin a zesíťované čtyřmi disulfidickými můstky. Podle toho, na které úseky sodíkových kanálů mají vliv, se NaScTxS dělí na α - a β - toxiny (α -NaScTxS a β -NaScTxS) (Possani 1999; Mejri et al. 2003; Schwartz et al. 2003; Rowe et al. 2011)). α -NaScTxS se vážou na segment 3 domény IV, čímž zpomalují inaktivaci kanálu. Podle jejich struktury a účinků se α -NaScTxS dělí do tří podskupin: klasické α -toxiny, které jsou vysoce toxické pro savce (například toxin AaHIT štíra tlustorepého *Androctonus australis* (Linnaeus, 1758) či LqhIT poddruhu štíra

nejjedovatějšího *Leiurus quinquestriatus hebraeus* (Birula, 1908)), proti hmyzí α -toxiny vysoce toxické pro hmyz a α -toxinům podobné toxiny působící na sodíkové kanály savců i hmyzu. β -NaScTxS se vážou na segment 4 domény II, čímž způsobují, že se kanál může otevřít v takovém membránovém potenciálu, ve kterém by se za běžné situace neotevíral. Mohou se dělit do čtyř podskupin: β -toxiny vysoce toxické pro savce a modulující aktivaci sodíkových kanálů v mozku savců, β -vzrušivé proti hmyzí toxiny, které jsou neškodné pro savce, β -tlumící proti hmyzí toxiny způsobující u hmyzu ochablost a nakonec β -toxinům podobné toxiny, které jsou vysoce aktivní u savců i hmyzu (Schwartz et al. 2012). Jedy mohou rovněž obsahovat proteolytické a lipolytické enzymy zlepšující průnik toxinů do tkání. Jed slouží ke znehybnění a usmrcení kořisti, případně aby odradil predátory (Herrmann et al. 1995; Brownell & Polis 2001; Mejri et al. 2003).

Ačkoliv jsou všechny druhy štírů jedovaté, pro člověka je nebezpečná pouze malá část z nich (Lourenço & Cuellar 1995; Leeming 2003; Ward et al. 2018). Tyto nebezpečné druhy patří do rodů *Androctonus* Ehrenberg, 1828, *Apistobuthus* Finnegan, 1932, *Buthacus* Birula, 1908, *Buthus* Leach, 1815, *Compsobuthus* Vachon, 1949, *Jaguajir* Esposito, Yamaguti, Souza, Pinto da Rocha & Prendini, 2017, *Hemiscorpius* Peters, 1861, *Hottentotta* Birula, 1908, *Leiurus* Ehrenberg, 1828, *Odontobuthus* Vachon, 1950, *Orthochirus* Karsch, 1891, *Nebo* Simon, 1878 (severní Afrika a Střední východ), *Tityus* C. L. Koch, 1836 (Jižní Amerika), *Mesobuthus* Vachon, 1950 (Blízký východ a Balkán), *Centruroides* Marx, 1889 (jih USA, Střední Amerika a Karibik) a *Parabuthus* Pocock, 1890 (západní a jižní Afrika) (Ward et al. 2018). Mullen & Sissom (2019) uvádí seznam nejnebezpečnějších druhů štírů z čeledi Buthidae (Tabulka 1). Za nejnebezpečnější druh je považován štír nejjedovatější *Leiurus quinquestriatus* (Ehrenberg, 1828), který sice má jeden z nejsilnějších jedů, ale vzhledem k malému vstříknutému množství bývají bodnutí méně fatální, avšak pro malé děti stále představují vážnou hrozbu (Ross 2008). Závažnost bodnutí štírem závisí na druhu štíra a na věku a zdravotním stavu bodnutého člověka (Mullen & Stockwell 2002; Sridhara et al. 2016). Nejvíce jsou ohroženy děti a starší lidé. Po bodnutí obvykle nejdříve projevuje pocení, bledost, zrychlené dýchání, tachykardie a vysoký krevní tlak. Dále může následovat slinění, sípání, rozostřené vidění, samovolné obrácení očí v sloup, nezřetelná mluva, potíže při polykání a křeče hltanu. Pokročilými symptomy mohou být svalové křeče, hyperaktivita, nekoordinovanost, zvýšené svalové napětí, myoklonické záškuby a někdy dokonce opistotonus. Rovněž byly zaznamenány bolesti na hrudi, zvracení, distenze žaludku, průjem, křeče v břiše či poruchy regulace teploty. Mezi poslední symptomy patří pozměněné smyslové vnímání, namodralá kůže, nízký krevní tlak, bradykardie, obrna, inkontinence, záchvaty a respirační a srdeční selhání. Tyto symptomy nemusí být způsobeny přímo otravou, ale mohou být způsobeny druhotně selháním celkového systému, které otrava uspíšila. Úmrtí bývají připisována selhání kardiovaskulárního systému, které bývá navíc zkomplikované edémem plic, a zástavě dechu. (Simard & Watt 1990; de Wolff & de Wolff 2011; Ding et al. 2014; Isbister & Bawastar 2014). Jedinci, kteří jsou bodnuti opakovaně, si mohou vyvinout vůči jedu rezistenci (pravděpodobně v podobě protilátek), což může vést ke značně zmírněné reakci (Cowles 2018).

Druh	LD ₅₀	Výskyt
Štír nejjedovatější <i>Leiurus quinquestriatus</i>	0,25	Turecko, Izrael, Egypt, Alžírsko, Libye, Súdán
Štír mauretánský <i>Androctonus mauritanicus</i>	0,31	Maroko
Štír tlustorepý <i>Androctonus australis</i>	0,32	Maroko, Alžírsko, Libye, Tunisko, Egypt
Štír tlustoocasý <i>Androctonus crassicauda</i>	0,40	Turecko, Izrael, Irák, Arabský poloostrov
Štír samičí <i>Tityus serrulatus</i>	0,43	Brazílie
Štír jasný <i>Centruroides limpidus</i>	0,69	Mexiko
Štír Amoreuxův <i>Androctonus amoreuxi</i>	0,75	Střední východ
Štír středomořský <i>Buthus occitanus</i>	0,90	Maroko, Alžírsko, Jordánsko, jižní Evropa
Štír štíhloocasý <i>Centruroides exilicauda</i>	1,12	Spojené státy americké, severní Mexiko
Štír transvaalský <i>Parabuthus transvaalicus</i>	4,25	jižní Afrika

Tabulka 1 – Seznam nejjedovatějších druhů z čeledi Buthidae. LD₅₀ vyjadřuje množství jedu (v mg/kg) potřebného k usmrcení 50 % myši. Čím nižší je hodnota LD₅₀, tím je jed silnější.

Štíři a jejich jedy mají ale také využití v medicíně. V Číně, Indii a Africe byli štíři a jejich jedy používáni v tradiční medicíně po tisíce let. Například sušená štíří těla byla v Číně používána jako antiepileptika a analgetika už od dynastie Sung (960–1279 n. l.). Bylo také prokázáno, že surový štíří jed a některé purifikované proteiny a peptidy mohou narušit rakovinové množení, zastavit buněčný cyklus, vyvolat apoptózu buněk a inhibovat metastázi rakoviny v *in vivo* a *in vitro* prostředích (Ding et al. 2014). Rovněž bylo zjištěno, že se chlorotoxin, peptid z jedu štíra nejjedovatějšího složený ze 36 aminokyselin, má schopnost se vázat na rakovinné buňky, včetně gliomu, melanomu, malobuněčného karcinomu plic, neuroblastomu či meduloblastomu, aniž by se vázal na buňky zdravé či je poškodil. Přidáním fluorescenčního činidla tak může chlorotoxin označit rakovinné buňky, které následně může chirurg vyoperovat (Dardevet et al. 2015; Ward et al. 2018).

3.1.4 Adaptace na biotopy

Jak již bylo zmíněno výše, štíři žijí na všech kontinentech kromě Antarktidy. Úspěšně osídlili pouště, savany, tropické deštné lesy, listnaté i jehličnaté lesy a travnaté oblasti (Cloudsley-Thompson 1968; Due 2001; Sridhara et al. 2016). I přesto, že jejich areál výskytu nezahrnuje severské oblasti, lze některé druhy nalézt ve vyšších nadmořských výškách. Byly nalezeny druhy ve výšce 2 000 m. n. m. v Alpách, 3 000 m. n. m. na severovýchodě USA, 4 000 m. n. m. v Himálaji a až 5 500 m. n. m. v Andách. Štíři žijící ve vysokých nadmořských výškách mají malé rozměry, zřejmě kvůli krátké době, během které jsou schopni lovit kořist žijící v téže nadmořské výšce. Rovněž překvapivě nežijí v hlubokých norách, které by končily až pod vrstvou zmrzlého povrchu, ale v relativně mělkých norách a pod kameny. (Polis 1990a; Cowles 2018). Žít ve vysoko položených a polárních oblastech jim rovněž umožňuje schopnost jejich tělní tekutiny, hemolymfy, přechladit se. Teplota hemolymfy může klesnout pod bod mrazu, aniž by docházelo k jejímu tuhnutí nebo krystalizaci a zároveň poškození tělních tkání (Hadley 1990).

Jiné druhy se naopak vyskytují v jeskyních, případně poblíž jejich vstupu. Některé druhy žijí hluboko pod zemským povrchem, například štír pekelný *Alacran tartarus* Francke, 1982 byl objeven v hloubce 812 metrů (Polis 1990a; Polis 1990b; Sridhara et al. 2016;

Cowles 2018). Štíři žijící v jeskyních si osvojili pro život pod povrchem různé adaptace. Může se jednat o velmi ztenčené končetiny, nízkou či naprosto žádnou pigmentaci, snížený počet mediánových a laterálních očí či jejich absenci a redukované nebo chybějící kýly na metasomě a pedipalpách. Pohyb jeskynním a dalším druhům žijícím na kamenitém substrátu umožňují robustní štětinky společně s velmi zahnutými drápkami na kráčivých končetinách, díky kterým lze pevně uchopit drsný povrch kamenů. Štíři se tak mohou na těchto površích hbitě pohybovat, a to i vzhůru nohama. Druhy žijící na kamenitém substrátu mají rovněž značně prodloužené, zploštělé tělo a končetiny, což jim umožňuje se pohybovat v úzkých prostorech mezi kameny. Mezi tyto štíry patří i nejdelší druh štíra, štír nejdelší *Hadogenes troglodytes* (Peters, 1861), dorůstající do délky až 21 cm. Nejpřizpůsobenější jsou pro život v jeskyních štíři rodu *Sotanochactas* Francke, 1986 a *Typhlochactas* Mitchell, 1968 (Polis 1990a).

Štíři žijí také na mořských březích a v záplavových zónách. Žijí pod kameny, naplaveným dřevem a odpadky, norách vyhloubených v písku či v rozkládajících se tělech mořských živočichů. Kromě menšího vzrůstu nevykazují téměř žádné vnější znaky, které by jim pomáhaly přežít v těchto oblastech (Polis 1990a).

Nejvíce druhů obývá pouště (Hadley 1990; Polis 1990b; Due 2001). Pouštní druhy štírů dokážou zadržet vodu lépe než ostatní členovci. Jejich výměšky jsou extrémně suché (Hadley 1974; Polis 1990b; Leeming 2003). Vylučovány jsou téměř nerozpustné dusíkaté látky, jako jsou guanin, xantin či kyselina močová, z nichž je guanin hlavní odpadní látkou (Cowles 2018). Některé druhy nepotřebují vůbec pít, protože vodu získávají z kořisti (Hadley 1974; Polis 1990b; Leeming 2003). Ztráty vody minimalizuje téměř nepropustná kutikula a lipidy a vosky vedené z epidermálních žláz na její povrch. V extrémních podmínkách štírům pomáhá také jejich pomalý metabolismus. V porovnání se stejně velikým hmyzem v klidovém stavu má štír v klidovém stavu pouze 25% rychlost metabolismu. Nižší rychlost metabolismu mají už jen klíšťata (Cowles 2018). Dokážou rovněž přežít v extrémně vysokých teplotách. Nejvyšší naměřené teploty, ve kterých štíři dokázali přežít, se pohybovaly kolem 50 °C. Před vysokými teplotami se schovávají do nor (ať už si je vytvořili sami, nebo je vytvořily jiní živočichové), případně pod kameny (Hadley 1974; Polis et al. 1986; Cowles 2018). Druhy, které si nory hloubí samy, mají zpravidla mohutnější pedipalpy (Hadley 1974). Na svých končetinách mají rovněž senzorické chloupky, které jim pomáhají detekovat vlhkost, díky čemuž mohou štíři nalézt nejpříznivější mikrohabitat (Cowles 2018). Pohyb na písku nejen pouštním, ale i jiným pískomilným druhům usnadňují dlouhé drápkami a specializované štětinky na kráčivých končetinách, které společně umožňují štírům bezproblémově chodit po písku, aniž by se do něj bořili či po něm sklouzávali. Takto uzpůsobené končetiny umožňují rovněž efektivně pracovat s pískem během hloubení nor. Pískomilné druhy obvykle hloubí nory do hloubky 30 až 100 cm nebo i více, podle druhu štíra. Některé tyto druhy mají metasomu a telson uzpůsobeny tak, že jim mohou pomoci dostat se z písku ven, pokud by v něm byly zasypány. Druhy, které nežijí na žádném jiném než písčitém substrátu, mohou mít značně redukované pektiny. Jelikož pektiny slouží mimo jiné k vyhledávání ideálního substrátu na umístění spermatoforu, ve vysoce homogenních oblastech není jejich funkce příliš potřebná (Polis 1990a).

3.1.5 Predační chování

Štíři jsou noční predátoři. Živí se převážně bezobratlými, zejména hmyzem, pavouky, solifugami, stonožkami, korýši, měkkýši, ale i menšími obratlovci, jako jsou žáby, ještěrky, hadi z čeledi slepákovití Merrem, 1820 či hlodavci (Polis & McCormick 1986; Armas & Abud-Antún 1992; Braendle 1995; Armas 2001; Wharton & Reddick 2014; Jestrzemski & Schütz 2016). Ačkoliv převážně loví živou kořist, byly pozorovány případy, kdy štíři konzumovali mrtvá či vysušená těla (Armas 1975). U štírů se rovněž může vyskytovat kanibalismus, tedy požívání jedinců vlastního druhu, či vzájemná predace, tedy požívání jedinců jiného druhu štírů (Polis & McCormick 1987; Sánchez-Piñero & Urbano-Tenorio 2016; Lisboa et al. 2017). Téměř v každém případě kanibalismu nebo vzájemné predace bývá predátorem větší jedinec, protože má delší metasomu a má tudíž větší šanci na bodnutí (McCormick & Polis 1990).

Většina druhů využívá tzv. „sit and wait“ taktiku, kdy u vchodu nebo poblíž svého úkrytu vyčkávají, až se přiblíží kořist, a v momentě, kdy je kořist dostatečně blízko, zaútočí. Aktivní pátrání po kořisti, kdy je potřeba vynaložit větší množství energie, je méně časté (McCormick & Polis 1990; Leeming 2003). Kořist je chycena pedipalpami a většinou následně bodnuta jedovým ostnem. Zda bude nebo nebude bodnuta, záleží na její velikosti a velikosti pedipalp štíra (McCormick & Polis 1990; Leeming 2003; Ruppert et al. 2004). Bývá pravidlem, že druhy s tenkými pedipalpami kořist bodají, kdežto druhy s velkými pedipalpami kořist drtí. Bodnuta kořist zpravidla nebývá, když je výrazně menší než štír, zvláště pokud je pevně zajištěna v pedipalpách. Naopak velká či nepoddajná kořist bodnuta je. Z toho plyne, že dospělí jedinci či velké druhy by nemuseli otrávit tu kořist, kterou by mladší jedinci či menší druhy otrávil. U veleštíra obrovského *Pandinus imperator* (C. L. Koch, 1841) byla pozorována změna stylu lovu během ontogenetického vývoje. Zatímco mladí jedinci při lovu používají jed, dospělí jedinci používají jen pedipalpy. Experimentálně bylo rovněž zjištěno, že štíři aktivně manipulují s tělem kořisti před konzumací. Mnoho druhů si například kořist natočí tak, že konzumuje hlavu jako první (McCormick & Polis 1990).

Jako u ostatních pavoukoců je i u štírů trávení mimotělní. Do předústní dutiny jsou skrze kanálky dopravovány trávicí šťávy. Ty jsou smíchány s malými kousky potravy, které byly natrhány chelicerami. Takto částečně natrávená směs následně putuje dál do trávicího traktu. Tvrdý a nestravitelný materiál je zachycen „kartáčem“ ze štětín a vyloučen z dutiny ve v podobě suchých pelet (Anderson 1983; McCormick & Polis 1990; Cowles 2018). Směs je následně z předústní dutiny vsána jícnem do střední části trávicího traktu, kde také probíhá trávení. Odpadní látky jsou vylučovány anem umístěným těsně před telsonem (McCormick & Polis 1990).

Štíři jsou schopni zkonzumovat najednou značné množství potravy v poměru s jejich hmotností těla, v některých případech pozřeli potravu odpovídající 17 až 30 % své hmotnosti. Kalorie získané navíc jsou pak ukládány v podobě glykogenu v hepatopankreatu, orgánu podobném játrům, který může tvořit až 20 % tělesné hmotnosti (McCormick & Polis 1990; Cowles 2018). Zároveň štíři přežijí dlouhá období bez potravy. Byly zaznamenány případy, kdy štír bez potravy přežil přes rok (Anderson 1983; Polis 1990b). Tato adaptace, kdy štír buď hladoví nebo přijme velké množství potravy, je velmi důležitá pro přežití v prostředích, jako je například poušť, kde mohou nastat období nečinnosti kvůli extrémním teplotám. Může

být rovněž užitečná pro život v jeskyních, kde je možnost nalezení potravy značně omezená (Cowles 2018).

3.1.6 Rozmnožování

Štíři jsou gonochoristé, jejichž rozmnožování je spjato s předáním spermatoforu samcem samicí (Hjelle 1990; Ruppert et al. 2004; Sridhara et al. 2016). Námluvy jsou pro samce poměrně riskantní záležitost. Jelikož dospělé samice bývají zpravidla větší než samci, mohou svého nápadníka zahnat nebo v horším případě pozřít. Propracované námluvy jí umožňují nalézt vhodného otce pro svá mláďata (Cowles 2018).

Nejprve musí samec na substrátu zachytit chemickou stopu samice. K tomu používá pektiny, které mají u samců více „zoubků“ než u samic a dokážou detekovat i velmi slabou chemickou stopu. Během hledání samice samec vynakládá méně energie na lov a více energie na putování za samicí. Mohou tím pádem ztrácet na hmotnosti a dojít až k hladovění. Zároveň může být samec mimo svůj úkryt vystaven nebezpečí v podobě predátorů (Cowles 2018).

Poté, co samec najde samicí, začne rychle pohybovat tělem směrem dopředu a dozadu, přičemž kráčivé končetiny zůstávají na místě. Tento pohyb se označuje jako „juddering“. Tím dává samec najevo úmysl pářit se. Pokud se samice pářit zdráhá, mohou se oba jedinci začít přetlačovat či tlouct metasomami. Je-li samice stále ochotna se spářit, uchopí samec její pedipalpy svými. Když je samice pevně chycena, následuje jev typický pro štíry, tzv. „promenade à deux“ (volně přeloženo jako „procházka ve dvou“) připomínající tanec (obrázek 5). Během něho samec vede samicí a snaží se s pomocí pektinů najít na substrátu ideální místo, na které umístí spermatofor (pouzdro sloužící k přenosu spermií do samicích orgánů). Na ten se pak snaží samicí nasměrovat, aby jej přijala. Pokud se samice před začátkem nebo těsně na začátku vzpírá, může ji samec bodnout, nikoliv za účelem ji usmrtit, ale pouze zklidnit. Během „tance“ se můžou oba jedinci navzájem chytit i chelicerami. Jedná se o chelicerální masáž. Vzhledem k podobnosti tohoto aktu s polibkem se tento jev též nazývá „kissing“ (obrázek 6). V méně častých případech se během „tance“ mohou oba jedinci zaplést metasomami. Tento jev je označován „arbré droit“ (volně přeloženo jako „rovný strom“). Pokud není samec dostatečně silný, aby větší samicí vedl, začne ho samice vléct, a páření se tudíž nemusí podařit. Doba trvání námluv a páření se nejčastěji pohybuje mezi 30 a 60 minutami (Anderson 1983; Polis & Sissom 1990; Cowles 2018). Po spáření může v některých případech samice samce usmrtit a pozřít (Polis & Sissom 1990).



Obrázek 5 – „promenade à deux“, převzato z Cowles 2018



Obrázek 6 – chelicerální masáž neboli *kissing*, převzato z Cowles 2018

Březost může trvat 3 až 7 a půl měsíce u druhů čeledi Buthidae a 8 až 18 měsíců u ostatních druhů. U štírů se vyskytují 2 různé typy embryonálního vývoje – apoikogenický a katoikogenický. U apoikogenického vývoje rostou embrya ve folikulech na stěně ovariuteru a vajíčka jsou vyživována malým nebo středním množstvím žloutku. Výživu přímo od matky dostávají skrze embryonální membránu, která je obklopuje. Embrya nejsou nijak orientována, takže se mláďata rodí náhodně hlavou, respektive hlavohrudí, nebo zadečkem napřed. Rodí se obalena membránou, která je při porodu svlečena. Celý porod pak trvá jen několik hodin, jedno mládě za jednu minutu. Během katoikogenického vývoje se embrya vyvíjí v divertiklech, vychlípeninách ovariuteru. Embrya nejsou obalena žádnou membránou a nejsou vyživována žloutkem, ale mají vyvinutý speciální krmicí aparát, kterým přijímají živiny. Katoikogenické embrya jsou všechna stejně orientována a mláďata se rodí zadečkem napřed, Porod trvá několikanásobně déle než u apoikogenických mláďat, jedno mládě se může na svět dostávat 7 až 62 minut, celý porod pak může trvat více než dva dny (Polis & Sissom 1990; Cowles 2018).

Samice rodí živá mláďata, čímž se štíři liší od ostatních pavoukoců. Během porodu zdvihne tělo nad zem. Tento postoj se nazývá „*stilting*“, v překladu „chůze na chůdách“. Rodící se mláďata pak samice zachytává do „porodního koše“ tvořeného prvním, případně dvěma prvními páry kráčivých končetin. Mláďata jsou hned po narození aktivní a snaží se dostat na hřbet matky. Pokud není mládě schopno se na hřbet dostat, je matkou sežráno. Jsou tak vyřazeni jedinci, kteří by nepřežili, a samice si tak navíc obnoví část energie. Mláďata se

následně usadí na hřbetě matky (obrázek 7). Protože zatím ještě nemají funkční jedový ostěn a mají srostlá klepeta, zůstanou na hřbetě, dokud nebudou schopna samostatně lovit, tedy do první ekdyse. To nastává podle druhu mezi jedním týdnem až měsícem. Po svleku už je jedový ostěn funkční a klepeta nejsou srostlá, mláďata jsou tedy schopna lovit a opouští matku (Polis & Sissom 1990; Stockmann & Ythier 2010; Cowles 2018).



Obrázek 7 – samice s mláďaty na hřbetě zachytávající rodící se mláďě do „porodního koše“

Ne všechna mláďata opouští matku hned po prvním svleku. Například u štírů z čeledi Diplocentridae Karsch, 1880 ze státu Baja California v Mexiku byla pozorována mláďata po prvním svleku společně s matkou, která kooperativně lovila kořist a navzájem si pomáhala při tahání kořisti do úkrytu. U veleštírů rodu *Pandinus*, 1876 mláďata zase společně lovila kořist, která by byla pro jedno mláďě příliš veliká. Zároveň spolu s matkou sdílela úkryt po několik instarů (Cowles 2018).

U některých druhů bylo zjištěno, že se dokážou rozmnožovat partenogeneticky, tedy že samice porodí mláďata, aniž by byla oplozena samcem. Partenogeneze se vyskytuje například u štíra partenogenetického *Liocheles australasiae* (Fabricius, 1775) či štíra samičího *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 (Polis & Sissom 1990; Lourenço & Cuellar 1995; Sridhara et al. 2016).

3.1.7 Obranné mechanismy

Ačkoliv jsou štíři predátoři, stávají se i oni potravou pro jiné druhy živočichů. Kromě štírů samotných (ať už ze stejného nebo jiného druhu) se mohou jejich predátory stát například pavouci (pavouci z čeledi třesavkovití Pholcidae C. L. Koch, 1850 a slíďákovití Lycosidae Sundevall, 1833, pavouci rodu koutník *Loxosceles* Heineken & Lowe, 1832 a snovačka *Latrodectus* Walckenaer, 1805), solifugy, stonožky či mravenci (Anderson 1983; Lourenço et

al. 2006; Castilla et al. 2015; Cowles 2018). Lira et al. (2016) popisují případ, kdy nymfa zákeřnice z tribu Harpactorini Amyot & Audinet-Serville, 1843 ulovila štíra nevelkého *Tityus pusillus* Pocock, 1893, který byl téměř dvakrát větší než ona sama. Z obratlovců pak štíry loví ještěři, hadi, žáby, ptáci (např. kulíšek trpasličí *Micrathene whitneyi* (J. G. Cooper, 1861) či sýček králičí *Athene cunicularia* (Molina, 1782)), hlodavci (např. křečci rodu *Onychomys* Baird, 1857), netopýři (např. netopýr pláštík *Antrozous pallidus* (Le Conte, 1856)) či cibetkovité šelmy. Častou taktikou lovu bývá odtržení telsonu s jedovým ostnem před samotnou konzumací štíra (Lourenço et al. 2006; Castilla et al. 2015; Cowles 2018).

Proti predátorům se u štírů vyvinuly různé obranné mechanismy. Nejefektivnějším a nejpochopitelnějším takovým mechanismem je použití jedu (Leeming 2003; van der Meijden et al. 2013; Sridhara et al. 2016). V ohrožení někteří štíři z čeledi Buthidae, kteří mají tenká klepeta, ale silný jed, zaujímají postoj, kdy roztáhnou pedipalpy před sebe a zakříví metasomu, aby jedový ostn pohyboval na přední části těla. Některé druhy se úspěšně brání tak, že udeří svého protivníka silným úderem. V některých případech je úder natolik silný, že protivníka omráčí a umožní štírovi, aby unikl. Během úderu může být ostn zabodnut tak hluboko, že jed začne velmi rychle působit (McCormick & Polis 1990). Některé rody, například *Parabuthus* či *Hadrurus* Thorell, 1876 dokážou jed na útočnicka dokonce vystříknout na vzdálenost až 1 metr. Pokud by se štír trefil do některé citlivé tkáně, třeba do oka, mohl by potenciálního útočnicka nejen zahnat, ale v případě například malého dítěte by ho mohl vážně ohrozit (McCormick & Polis 1990; Stockmann & Ythier 2010).

Druhou mocnou obranou jsou jejich pedipalpy zakončené klepety. Například rody veleštírů *Scorpio* Linnaeus, 1758 nebo *Opisthophthalmus* Koch, 1837 nespolehají na svůj jed a mohou svá velká klepeta používat jako štíty a ostnem útočnicka pouze bodat, případně klepety štípat. Druhy z rodu *Cheloctonus* Pocock, 1982, které si hloubí nory, mohou pedipalpami zatarasit vchod (McCormick & Polis 1990; Leeming 2003). Podle van der Meijden et al. (2013) existuje „trade-off“ mezi klepety a ostnem, respektive jedem: buď mají štíři silná klepeta a slabý jed, nebo slabá, tenká klepeta a silný jed.

Další možnou obranou některých druhů je stridulace, která však může rovněž sloužit k vnitrodruhové komunikaci. (McCormick & Polis 1990; Leeming 2003). Je umožněna čtyřmi různými mechanismy. První mechanismus, který lze pozorovat například u rodu *Opisthophthalmus*, spočívá ve tření mezi chelicerami a hlavohrudí. To štírům umožňuje specializované štětinky a malé chitinové destičky na povrchu prvního článku chelicer. Počet těchto destiček se pohybuje mezi třemi až sedmi na každé z chelicer a jejich tvar a velikost se u jednotlivých druhů značně liší. Podobným způsobem vydávají zvuky i sklípkaní Mygalomorphae Pocock, 1892 (Alexander 1958; McCormick & Polis 1990). Druhým mechanismem je tření prvních článků pedipalp a prvního páru kráčivých končetin. Tímto způsobem stridulují například veleštíři rodu *Pandinus* či *Heterometrus* Ehrenberg in Hemprich & Ehrenberg, 1828. Další způsob stridulace, který používají například štíři rodu *Parabuthus* nebo *Androctonus*, je odírání jedového ostnu o metasomu a/nebo o mesosomu, přičemž je takovéto škrábání obvykle doprovázeno vykapáváním jedu. Poslední mechanismus, pozorován u brazilského rodu *Rhopalurus* Thorell, 1876, je tření pektinů o hrubé části sternitu, tedy ventrální strany jednoho z článků mesosomy. Zvuk lze však vytvořit i jiným způsobem než stridulací. Například veleštír maurský *Scorpio maurus* Linnaeus, 1758 vydával zvuky úderem metasomy o zem.

Štíry rovněž může chránit jejich zbarvení a textura těla. Štíři jednoho druhu mohou mít různé zbarvení podle toho, ve kterém prostředí žijí. Jedinci žijící na tmavých půdách mají tmavší zbarvení než světle zbarvení jedinci žijící na světlých půdách, jako je tomu například u štíra černavého *Vaejovis hoffmanni* (Williams, 1970) či štíra náramného *Smeringurus grandis* (Williams, 1970) ze státu Baja California. V neposlední řadě se mohou štíři sami vyhnout nebezpečí tak, že omezí aktivity mimo noru na minimum a vylézat budou jen v noci (McCormick & Polis 1990; Skutelsky 1996; Leeming 2003; Sridhara et al. 2016).

3.2 Čeleď Buthidae

Čeleď štírovití Buthidae je největší čeledí řádu Scorpiones čítající 96 rodů a 1232 druhů. Štíři z této čeledi obývají celou zeměkoulí, mimo Nový Zéland a Antarktidu. Žijí zejména v tropických, subtropických a z malé části i v mírných oblastech. Zástupci této čeledi jsou malí až středně velcí štíři s převážně trojúhelníkovým sternem, některé rody mají sternum pětiúhelníkové. Metasoma je u mnoha rodů (například *Androctonus*, *Apistobuthus* Finnegan, 1932, *Parabuthus* Pocock, 1890) obvykle silná a pedipalpy jsou často velmi tenké, zatímco jiné rody (*Centruroides*, *Lychas* C. L. Koch, 1845, *Isometrus* Ehrenberg, 1828 a další) mají protáhlé končetiny, zejména u samců. Mnoho jedinců této čeledi má žluté či hnědé zbarvení, případně odstíny těchto barev, ale existují také černé formy. Velikosti se pohybují přibližně mezi 20 mm (*Microtityus* Kjellesvig-Waering, 1966 či *Microbuthus* Kraepelin, 1898) a až 120 mm (*Androctonus* či *Apistobuthus*). Několik druhů této čeledi je vysoce jedovatých, ale jen méně než 20 z nich představuje pro člověka smrtelné nebezpečí. Nejznámější druhy spadají do rodů *Androctonus*, *Centruroides*, *Hottentotta*, *Leiurus*, *Parabuthus* a *Tityus* (viz tabulka 1 v kapitole 3.1.3 Jed). Štíři z této čeledi se také často chovají v soukromých chovech jako hobby. Mnoho takových druhů je bezpečné chovat, pokud je chovatel zkušený, avšak chovu vysoce jedovatých druhů by se mělo vyvarovat (Rein 2021a).

3.3 *Buthus ibericus*

Buthus ibericus (obrázek 8) je až 65 mm dlouhý štír s hnědožlutým zbarvením, vyskytující se v Portugalsku a západním Španělsku, kde žijí skrytě pod kameny (Lourenço & Vachon 2004; Teruel & Pérez-Bote 2005; Rossi 2012; Sousa et al. 2017). Kromě běžného spektra kořisti, jaké je u rodu *Buthus* Leach, 1815 běžné, byl nalezen jedinec požírající klíště z rodu *Hyalomma* C. L. Koch, 1844 (Lindström 2017). Byl u něj rovněž pozorován kanibalismus (Mora-Rubio & Parejo-Pulido 2019).



Obrázek 8 – *Buthus ibericus*, převzato z <https://naturdata.com/especie/Buthus-ibericus/38097/0/>

Původní název tohoto štíra byl *Androctonus halius* a byl synonymizován se štírem středomořským *Buthus occitanus* (Amoreux, 1789). Podle jeho rozlišovacího znaku, kterým je bazální lalok na klepetech, se později název změnil nejdříve na *Buthus halius* a následně na současný název. Název *B. halius* byl označen jako *nomen oblitum* (Sousa et al. 2017).

4 Metodika

Metodika je rozdělena do čtyř částí. První část je věnována tomu, jakým způsobem byli štíři získáni a v jakých podmínkách byli následně chováni. Druhá část popisuje, jaké druhy byly použity při testování, jak byly pořízeny a jak probíhal jejich chov. Třetí část se zaměřuje na samotné pozorování predačního chování. V poslední části je popsáno, jaké statistické metody byly k vyhodnocování pozorování použity.

4.1 Odchyt a následný chov pozorovaných jedinců *B. ibericus*

Odchyt jedinců *B. ibericus* provedl v roce 2015 v Portugalsku doc. Mgr. Stanislav Korenko, Ph.D. s pomocí prof. Mgr. Stanislava Pekára, Ph.D. z Masarykovy univerzity. Odchyty probíhaly ve dvou termínech, a to v dubnu a v říjnu. Štíři byli chytáni během dne, kdy se prohledávaly skrýše pod kameny a nalezení jedinci byli chyceni do připravených plastových nádob.

Po převozu do České republiky byli jedinci umístěni do laboratoře České zemědělské univerzity v Praze. Zde pro každého štíra byly připraveny ubikace v laboratorních podmínkách, které měly za úkol simulovat jejich přirozené prostředí.

4.1.1 Chov *B. ibericus* v laboratorních podmínkách

Ubikace

Pro účel chovu štíru byly vybrány plastové boxy (průhledné nebo matné) s víkem opatřeným panty na jedné straně a zacvakávací pojistkou na straně druhé (obrázek 9). Vybrané boxy byly dlouhé 11,5 cm, hluboké 8 cm a vysoké 6 cm. Aby se co nejúčinněji předešlo úniku štírů nebo jejich kořisti, byly mezery v pantech zalepeny lepicí páskou. Toto bylo nutné pouze u průhledných typů boxů, u matných typů se mezery u pantů nevyskytovaly.

Všechny ubikace byly navíc umístěny do velkých plastových boxů (obrázek 10). Pokud by štír, případně kořist z ubikace uprchli (např. kvůli špatně dovřenému víku, odlepené pásce z pantů atd.), zůstali by v tomto velkém boxu, kde by se dali snadno pochyvat. Úniku kořisti schopné lézt po plastových stěnách by zabránilo plastové víko boxu.



Obrázek 9 – plastové boxy vybrané na tvorbu ubikací; Obrázek 10 – „ochranný“ box s ubikacemi

Substrát

Substrát nebyl ve všech boxech jednotný. Štíři byli náhodně umístěni na podklady tvořené směsí dvou druhů písku a lignocelu. Pro jednu část štírů byl vybrán podklad ze směsi lignocelu a křemičitého písku o hrubosti zrn 0,5 mm (obrázek 11), pro druhou část směs lignocelu a hrubšího písku o velikosti zrn cca 1,2 mm (obrázek 12) a pro třetí část směs lignocelu a obou výše zmíněných druhů písku (obrázek 13). Výška vrstvy substrátu byla zvolena náhodně, avšak vždy rozmístěna rovnoměrně. Někteří jedinci, jejichž substrát obsahoval křemičitý písek, si hrabáním tvořili doupata.



Obrázek 11; Obrázek 12 & Obrázek 13 – typy substrátů

Zdroj tekutin

K zajištění zdroje vody byly použity plastové pipety o objemu 1 ml, kterými se zprvu voda kapala po stěnách štírích ubikací. Tato metoda se ale neosvědčila, protože se voda vsakovala do substrátu, a tudíž nemohla dlouho sloužit jako zdroj tekutin.

Proto byla do ubikací přidána víčka od PET lahví, která sloužila jako dobře přístupný zdroj tekutin. Menším jedincům byl do misky přidán plochý kamínek, aby se předešlo jejich případnému utonutí. Tekutiny byly doplňovány jednou týdně. Řešení s víčky se oproti metodě kapání po stěnách ukázalo být vhodnějším, nehrozilo totiž, že by se voda vsákla do substrátu a štíři tak k ní měli přístup po delší dobu. Bylo také zpozorováno, že při absenci vody používali někteří jedinci vyschlé misky jako místo k odpočinku (obrázek 14).



Obrázek 14 – štír odpočívající v misce

Úkryty

Pro úkryty pro štíry byly použity ploché kameny, které po spojení tavnou lepicí pistolí připomínaly malé skalní převisy či jeskyně (obrázek 15). Úkryty byly umístěny do rohů ubikací, aby nezabíraly příliš mnoho volného prostoru. Většina jedinců tyto úkryty využívala (obrázek 16), někteří jedinci se vtěsňali mezi úkryt a stěnu ubikace, případně úkryt zahrabali substrátem a většinu času pobývali ve volném prostoru.



Obrázek 15 – ukázky úkrytů; Obrázek 16 – štír v úkrytu

Krmení

Jako krmný hmyz, kterým byli po dobu výzkumu štíři krmeni, byl zvolen šváb turkistánský *Shelfordella lateralis* (Walker F., 1868), protože jeho chov je snadný a jedinci tohoto druhu nelezou po plastových stěnách a nezahrabávají se do substrátu. Štíři navíc neměli zpravidla problém je uchopit klepety, probodnout jedovým ostnem a usmrtit je.

Pro každého štíra byli vybíráni jedinci adekvátní jejich velikosti, aby byla šance, že bude šváb uloven, co nejvyšší. Krmení probíhalo vždy minimálně jednou týdně podáním jednoho švába každému štírovi. Pokud šváb nebyl štírem pozřen do doby, kdy mělo probíhat další krmení, byl tento šváb odebrán a štírovi se ten den další šváb nepodával. Krmení neprobíhalo u jedinců, kteří v nedávné době prodělali svlékání, aby se zabránilo jejich případnému zranění.

4.2 Testované druhy kořisti

Některé testované druhy, které byly použity při pozorováních, byly chovány v laboratorních podmínkách, aby byly k dispozici co možná nejdéle, a to až jako krmivo pro štíry nebo jako subjekty pro jiná pozorování. Mezi tyto druhy patří již výše zmíněný šváb turkistánský, dále pak šváb šedý *Nauphoeta cinerea* (Olivier, 1789), cvrček domácí *Acheta domestica* (Linnaeus, 1758), potemník moučný *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 v larválním stadiu, tzv. moučný červ a zákeřnice dvojtečná *Platymeris biguttatus* (Linnaeus, 1767). Všechny tyto druhy s výjimkou švába šedého byly pořízeny koupí z internetových obchodů.

Šváb turkistánský

Švábi byli chováni v plastovém boxu s víkem, v němž byl vyřezán větrací otvor, přes který byla pomocí tavné pistole přilepena síťovina proti hmyzu (obrázek 17). Box byl 54 cm

dlouhý, 38 cm hluboký a 27 cm vysoký. Do boxu byly vloženy 4 proložky na vejce, které sloužily jako úkryty. Při velkém znečištění proložek byly vyměněny za nové. Na dno boxu byly přidány plastové obdélníkové misky, na které bylo podáváno šťavnaté krmivo, aby nebylo dno boxu znečištěno od šťáv z krmiva a usnadnila se tak údržba boxu.

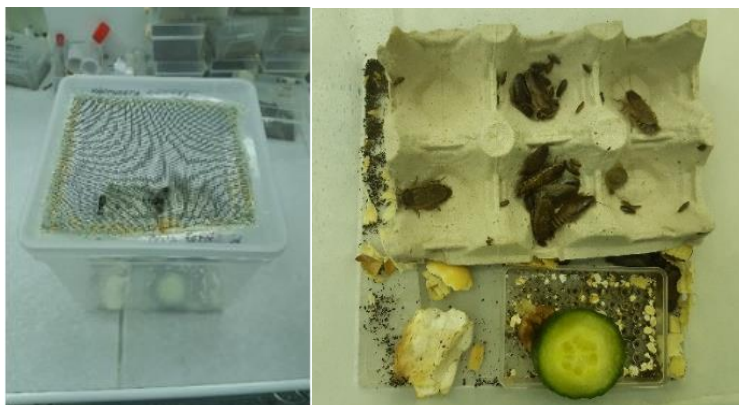
Švábi byli krmeni nakrájenými jablky, salátovými okurkami, banány a ledovým salátem, dále jim byly podávány piškoty a ovesné vločky (obrázek 18). Jedenkrát týdně byl také box vlhčen pomocí rozprašovače na vodu.



Obrázek 17 – vnější pohled na box se *S. lateralis*; Obrázek 18 – *S. lateralis* během krmení

Šváb šedý

Chov tohoto druhu švába nám umožnil Ing. Martin Priadka, který naší laboratoři daroval část své chovné skupiny. Podmínky pro chov jsou podobné jako u *S. lateralis* s tím rozdílem, že tento druh je schopen lézt i po plastových stěnách. Nicméně i když byl chován v plastovém boxu, zdržoval se hlavně na zemi. Jelikož byla chovná skupina *N. cinerea* početně podstatně menší než skupina *S. lateralis*, byla umístěna do menšího krychlového boxu s délkou strany 19 cm (obrázek 19). Víko bylo rovněž opatřeno větracím otvorem překrytým sítí. Jako úkryty byly použity nastříhané proložky na vejce. I zde byla použita plastová miska na šťavnaté krmivo. Krmivo bylo shodné jako u *S. lateralis*. Jako zdroj vody zde byl použit kromě každotýdenního vlhčení rozprašovačem také papírový ubrousek, ze kterého po nasáknutí mohli švábi přijímat tekutiny (obrázek 20).



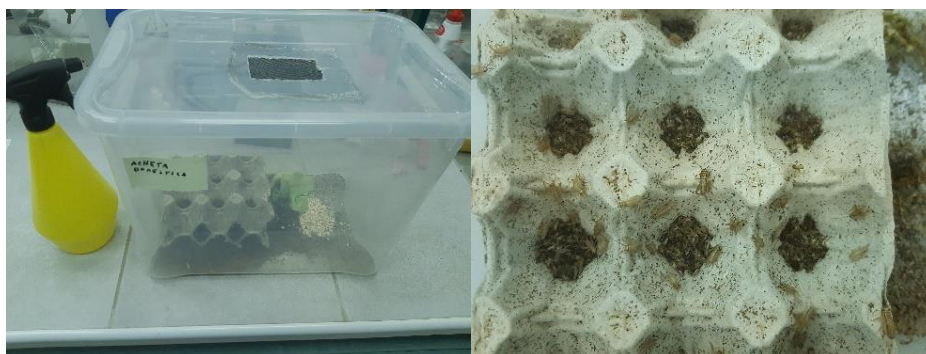
Obrázek 19 – vnější pohled na box s *N. cinerea*; Obrázek 20 – vnitřek boxu

Cvrček domácí

Byli vybráni jedinci o velikosti přibližně 3–4 mm, tzv. mikrocvrčci, o které se následně pečovalo. Cvrčci byli chováni v plastovém boxu 37 cm širokém, 26 cm hlubokém a 27 cm

vysokém (obrázek 21). Do víka boxu byl vyříznut otvor, který byl překryt sítovinou. Do boxu byly vloženy poskládané proložky na vejce, které sloužily cvrčkům jako úkryt (obrázek 22). U cvrčků byla rovněž použita plastová miska na šťavnaté krmivo.

Jako krmivo sloužila jablka, salátové okurky, ovesné vločky a ledový salát. Jedenkrát týdně probíhalo vlhčení boxu pomocí rozprašovače.



Obrázek 21 – vnější pohled na box s *A. domestica* s rozprašovačem; Obrázek 22 – proložky s mikrocvrčky

Potemník moučný

Larvy potemníka moučného byly chovány v nízkém plastovém boxu, jehož dno bylo vyplněno jemnými pilinami. Podáváno jim bylo suché pečivo, ledový salát, mrkev a jablko. Pokud se larva vyvinula v dospělce, byl tento jedinec ponechán s ostatními larvami.

Zákeřnice dvojtečná

Pro jejich chov byl vybrán plastový box 54 cm široký, 38 cm hluboký a 27 cm vysoký (obrázek 23). I zde bylo víko boxu opatřeno větracím otvorem překrytým sítovinou. Substrát byl tvořen dřevní štěpkou a jako úkryty sloužily nastříhané proložky na vejce a menší polínka. Rovněž zde byly 2 malé plastové boxy naplněné rašelinou, které měly sloužit jako kladiště (obrázek 24). Jedná se o jedovatý druh plošnice, který je schopen jed plivat a při styku s očima může způsobit dočasnou slepotu, proto byly při práci se zákeřnicemi kvůli bezpečnosti používány ochranné brýle.

Zákeřnice byly krmeny šváby *S. lateralis* i *N. cinerea* a mikrocvrčky. Bylo jim podáváno i jablko, ze kterého získávaly tekutiny a které zároveň sloužilo i jako lákadlo pro kořist. Vlhčení probíhalo dvakrát týdně a vlhkost pomáhaly udržovat také papírové ubrousky.



Obrázek 23 – vnější pohled na box s *P. biguttatus*; Obrázek 24 – vnitřek boxu

4.2.1 Testované druhy získané odchytem

Během pozorování a testování kořisti byly rovněž použity druhy, které se vyskytují ve volné přírodě. Abychom napodobili přirozenou potravu *B. ibericus*, byly v Portugalsku odchyceny některé druhy, se kterými se štíři mohou setkat, a tudíž se jimi mohou i živit. Mezi těmito druhy byli mravenci z rodu *Messor* Forel, 1890, mnohonožky z rodu *Ommatoiulus* Latzel, 1884, blíže neurčení brouci z rodu potěmník *Tenebrio* Linnaeus, 1758 a pavouci z rodu maloočka *Eusparassus* Simon, 1903. Druhy odchytené v Portugalsku byly použity k pozorování hned, jak to bylo možné.

Kromě těchto portugalských druhů byly použity také druhy odchycené v České republice. Jedná se o saranči obecnou *Chorthippus parallelus* (Zetterstedt, 1821), ruměnici pospolnou *Pyrrhocoris apterus* (Linnaeus, 1758) a svinku obecnou *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804).

4.3 Pozorování predáčního chování

Před začátkem samotného pozorování predáčního chování probíhala vždy příprava štirů a jejich ubikací.

4.3.1 Příprava na pozorování

Když se blížila doba, kdy mělo probíhat krmení testovacími druhy kořisti, nebyli jedinci, u nichž mělo pozorování pobíhat, krmeni až 2 týdny, aby byli vyhladovělí a měli tak větší tendenci lovit. Jedincům byl rovněž v den pozorování odebrán úkryt a miska s vodou, aby se zabránilo tomu, že by se jejich kořist mohla v úkrytu schovat, případně se utopit v misce. V této fázi byli jedinci připraveni na pozorování.

4.3.2 Průběh pozorování

Měření probíhala od roku 2016. Samotný postup měření spočíval ve vložení kořisti do ubikace šтира a pozorování jeho reakce. Měření bylo prováděno stopkami s přesností na vteřiny. Sledovanými výstupy v čase byly:

Contact with prey – první zpozorování kořisti štírem (tedy zjištění, že je kořist poblíž)

Attack – útok šтира na kořist (útoků mohlo být i více)

Grabbing – štír pevně drží kořist pedipalpami

Feeding – samotné krmení (konkrétně čas, kdy bylo znatelné, že štír kořist zpracovává chelicerami). Tyto výstupy byly zapisovány do tabulky (tabulka 2).

N.	Scorpion size [mm]	Prey type/prey size [mm]	Time records				Remark
		<i>Shelfordella lateralis</i>	Contact with prey	Attack	Grabbing	Feeding	
B8	25	16	0:15	10:45/28:32	?	?	Nothing after 2 h/Prey eaten after 24 h
B13	30	14	0:11	?	?	?	Nothing after 2 h/Prey eaten after 24 h
B14	32	16	0:04	?	?	?	Nothing after 2 h/Prey eaten after 24 h
B16	17	12	0:13	0:13	0:13	4:20	Prey eaten
B17	21	22	0:01	0:01	0:01	0:52	Prey eaten
B18	20	22	0:04	0:53	0:54	1:33	Prey eaten
B19	24	24	0:02	0:02	0:02	5:04	Prey eaten
B20	25	18	0:01	0:01/0:41	0:41	3:59	Prey eaten
B21	22	15	0:06	0:06	0:06	1:03	Prey eaten

Tabulka 2 – tabulka na zapisování časových výstupů

Do sloupce „N.“ bylo zapsáno číslo štíra (pouze pro vlastní přehled). Velikost štíra („Scorpion size“) byla měřena od chelicer po konec prvního článku metasomy. Sloupec „Prey type/prey size“ popisuje, jakým druhem kořisti byl štír krmen a velikost kořisti. Do sloupce „Remark“ se zapisovalo, zda byla kořist po 24 hodinách sežrána, případně i relevantní poznatky.

Každé měření mělo 2 fáze. První fáze probíhala 2 hodiny po začátku měření. Během této doby byli štíři intenzivně pozorováni a zapisovány všechny výstupy. Po těchto dvou hodinách bylo pozorování přerušeno a pokračovalo druhou fází. Ta probíhala následující den ve stejnou hodinu jako ve dnu předešlém. Ve druhé fázi se sledovalo, v jakém stavu se kořist (případně i štír) nacházela. Pokud byla kořist zkonsumována, i když jen částečně, bylo tak zapsáno i do tabulky. Nezkonzumovaná kořist byla z ubikace odebrána a štírovi byl podán šváb *S. lateralis*, aby štír nadále nehladověl. Tento výsledek byl rovněž zapsán do tabulky.

4.4 Použité statistické metody

Pro výpočty statistických analýz byly použity zobecněné lineární modely (generalized linear models, GLM), kvůli vstupu kategoriálních i kvantitativních proměnných do modelu, které nepocházely z normálního rozdělení. Zobecněné lineární modely jsou rozšířením obecného lineárního modelu. Zobecněné lineární modely musí splňovat několik předpokladů. První předpoklad je o distribučních vlastnostech náhodné variability, kde místo předpokladu normální distribuce s konstantní variabilitou je zvolena jedna ze skupin tzv. exponenciálních distribucí. Stejně jako u metod analýzy variance a regrese, kde považujeme přibližným předpoklad normální distribuce pro náhodnou variabilitu, tak i u zobecněných modelů musí být brány předpoklady distribuce jen jako přibližné, avšak může být upravována tak, aby se blížila zvoleným předpokladům. Další předpoklad zobecnění, který zobecněné lineární modely nabízejí, vypovídá o tvaru vztahu mezi vysvětlovanou proměnnou a vysvětlujícími proměnnými. Transformace u zobecněných lineárních modelů se týká hodnot očekávaných nikoli hodnot změřených. U předpokladů pro náhodnou variabilitu Poissonova rozdělení či binomického rozdělení v zobecněném lineárním modelu, je variabilita hodnot kolem průměru zcela určena tímto průměrem. U Poissonova rozdělení by se variabilita měla rovnat průměru, u binomického rozdělení by se variabilita měla rovnat zhruba střední hodnotě. Ve většině případech ovšem vykazují větší variabilitu, u Poissonova rozdělení se takováto nadměrná variabilita nazývá overdispersion a je nutno ji v dalším testování řešit, jinak by došlo k nesprávným odhadům pravděpodobnosti chyby 1. druhu, anebo k podcenění rozsahu intervalů spolehlivosti. U Poissonova rozdělení lze tuto nadměrnou variabilitu snížit pomocí negativně binomického zobecněného lineárního modelu (Lepš & Šmilauer 2016; Pekár & Brabec 2020).

Použité modely

Testování proběhlo v programu RStudio. Použity byly zobecněné lineární modely s binomickým a Poissonovým rozdělením (Lepš & Šmilauer 2016). Při testování binomického rozdělení vstupovala do modelu jako vysvětlovaná proměnná úspěšnost sežrání a jako vysvětlující proměnné pak vstupovaly různé výběry. U prvního modelu, kde byla testována

úspěšnost, vysvětlující proměnnou se stal výběr druhu kořisti. Model v RStudiosu vypadal následovně: $\text{model} = \text{glm}(\text{úspěšnost sežrání} \sim \text{druh kořisti}, \text{data} = \text{data}, \text{family} = \text{"binomial"})$. Nulovou hypotézou pro tento model bylo: H_0 : Druh kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání. Pro další model byla testována úspěšnost sežrání společně s vytvořeným poměrem velikostí, který vznikl jako podíl naměřených hodnot velikosti kořisti a velikosti predátora – štíra. Vysvětlovanou proměnnou zde vstupovala úspěšnost sežrání kořisti a vysvětlující byl průměr velikostí. Tento model byl vytvořen pro každý druh kořisti zvlášť. Nulová hypotéza zněla: H_0 : vytvořený poměr velikostí nemá vliv na úspěšnost sežrání kořisti. Další test, u nějž byly modely vytvářeny pro každý druh zvlášť, se zabýval závislostí mezi úspěšností sežrání kořisti a změřeným časem kontaktu. Vysvětlující proměnnou byl změřený čas kontaktu a jako vysvětlovaná proměnná vstupovala úspěšnost sežrání kořisti. Nulová hypotéza pro tento test zněla H_0 : změřený čas kontaktu nemá vliv na úspěšnost sežrání kořisti.

Poissonovo rozdělení v zobecněných lineárních modelech vykazovalo nadměrnou variabilitu, a pro odstranění možné chyby byl použit negativně binomický zobecněný lineární model. Tento model byl využit pro testování závislosti změřeného času (kontakt, útok, krmení) na druhu. Vysvětlující proměnnou do modelu vstupuje druh kořisti a vysvětlovanou změřený čas. Byly vytvořeny tři modely, pro každý typ změřeného času zvlášť. V tomto případě (změřený čas kontaktu \sim druh kořisti) nedošlo k overdispersi, takže nebylo zapotřebí předělávat model na negativně binomický. Model vypadal takto: $\text{model} = \text{glm}(\text{změřený čas útoku} \sim \text{druh kořisti}, \text{data} = \text{data}, \text{family} = \text{"poisson"})$. Nulová hypotéza pro tento test byla H_0 : druh kořisti nemá vliv na změřený čas (kontakt, útok, krmení). Další testování proběhlo pro vzájemné závislosti mezi jednotlivými druhy změřených časů. Vytvořeny byly dva modely. Pro tyto testy byly použity negativně binomické zobecněné lineární modely. Vstupující vysvětlující proměnnou v prvním modelu byl změřený čas kontaktu, vysvětlovanou byl změřený čas útoku. Nulová hypotéza zněla H_0 : změřený čas kontaktu nemá vliv na změřený čas útoku. V druhém modelu byly vysvětlující proměnné dvě, a to změřený čas kontaktu a změřený čas útoku. Vysvětlovanou proměnnou je zde změřený čas krmení. V tomto modelu byla použita interakce mezi oběma vysvětlujícími proměnnými. Nulové hypotézy byly tři: H_{0a} : změřený čas kontaktu nemá vliv na změřený čas krmení. H_{0b} : změřený čas útoku nemá vliv na změřený čas krmení. H_{0c} : interakce mezi změřeným časem kontaktu a změřeným časem útoku nemá vliv na změřený čas krmení. Negativně binomický zobecněný lineární model byl použit i pro testování závislosti změřeného času kontaktu na typu kořisti (atraktivní, neatraktivní, nebezpečná) a na poměru velikostí, opět bylo počítáno i s interakcí mezi typem kořisti a poměrem velikostí. Nulové hypotézy zněly: H_{0a} : typ kořisti nemá vliv na změřený čas kontaktu. H_{0b} : poměr velikostí nemá vliv na změřený čas kontaktu. H_{0c} : interakce mezi typem kořisti a poměrem velikostí nemá vliv na změřený čas kontaktu. Dalším testem byl cíl určit, zda má poměr velikostí vliv na změřené časy (kontakt, útok, krmení). Znovu byl vyhodnocen negativně binomický zobecněný lineární model nejlepším testem. Modely byly vytvářeny pro každý druh zvlášť. Nulové hypotézy zněly H_{0a} : poměr velikostí nemá vliv na změřený čas kontaktu. H_{0b} : poměr velikostí nemá vliv na změřený čas útoku. H_{0c} : poměr velikostí nemá vliv na změřený čas krmení. Do modelu jako vysvětlující proměnná vstupoval poměr velikostí a vysvětlovanou proměnnou byl změřený čas. Dalším negativně binomickým zobecněným lineárním modelem byla testována závislost úspěšnosti sežrání kořisti do dvou a 24 hodin vyjádřena v procentech na poměru velikostí a typu kořisti.

Vysvětlovanou proměnnou pro tento test představuje úspěšnost sežrání kořisti do dvou hodin a 24 hodin vyjádřenou v procentech. Pro každý čas byl vytvořen samostatný model. Jako vysvětlující proměnné zde vstupovaly poměr velikostí a typ kořisti. Nulové hypotézy byly H0a: poměr velikostí nemá vliv na úspěšnost sežrání za 2 hodiny vyjádřené v procentech. H0b: typ kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání za 2 hodiny vyjádřené v procentech. H0c: poměr velikostí nemá vliv na úspěšnost sežrání za 24 hodin vyjádřené v procentech. H0d: typ kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání za 24 hodin vyjádřené v procentech. Další negativně binomický zobecněný lineární model vyjadřoval závislost úspěšnosti sežrání kořisti do dvou a 24 hodin na druhu kořisti. Vysvětlující proměnnou v modelu byl druh kořisti a vysvětlovanou proměnnou zde představovaly úspěšnost sežrání kořisti do dvou a 24 hodin. Pro oba časy byly vytvořeny samostatné modely. Nulové hypotézy zněly pro čas dvou hodin H0: druh kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání kořisti do dvou hodin. A pro čas 24 hodin H0: druh kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání kořisti do 24 hodin.

5 Výsledky

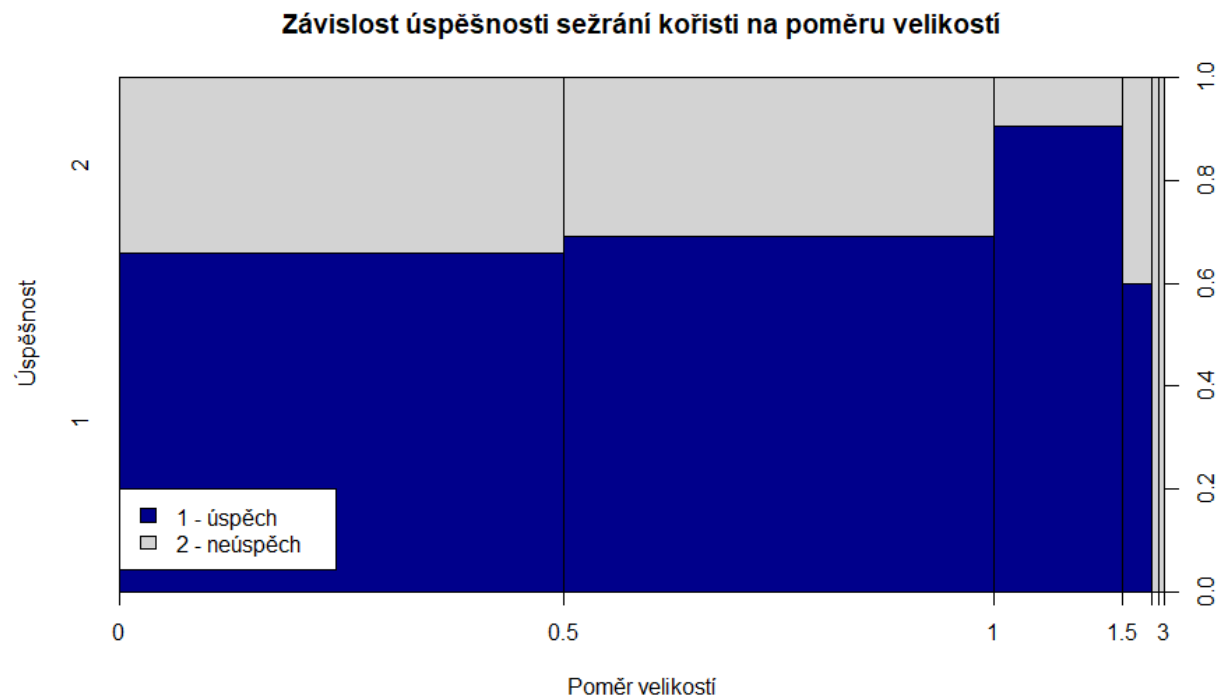
Závislost úspěšnosti sežrání na druhu kořisti

Na základě analýz v programu RStudio, bylo zjištěno, že při testování závislosti úspěchu (kořist byla/nebyla sežrána) na druhu kořisti, nebyla nulová hypotéza (H_0) zamítnuta (p – hodnota $> 0,05$). Tudíž byl potvrzen cíl práce a to, že štíři patří mezi potravní generalisty, tudíž neupřednostňují žádný druh kořisti a jeho potravní chování je uzpůsobené k širokému spektru kořisti.

Závislost úspěšnosti sežrání na poměru velikostí

Mezi dalšími testovanými analýzami byla zjištěna pro jednotlivé druhy kořisti, zda vytvořený poměr velikostí (velikost kořisti/velikost predátor) má vliv na míru úspěšnosti. Po vytvoření modelu a jeho pomocí následného otestování nulové hypotézy bylo určeno, že u všech druhů kořisti nebyla nulová hypotéza (H_0 : poměr velikostí kořisti ku velikosti predátora – štíra nemá vliv na úspěšnost sežrání kořisti predátorem – štírem) zamítnuta a tedy, že štíři neupřednostňují žádnou velikost kořisti vůči velikosti jich samotných.

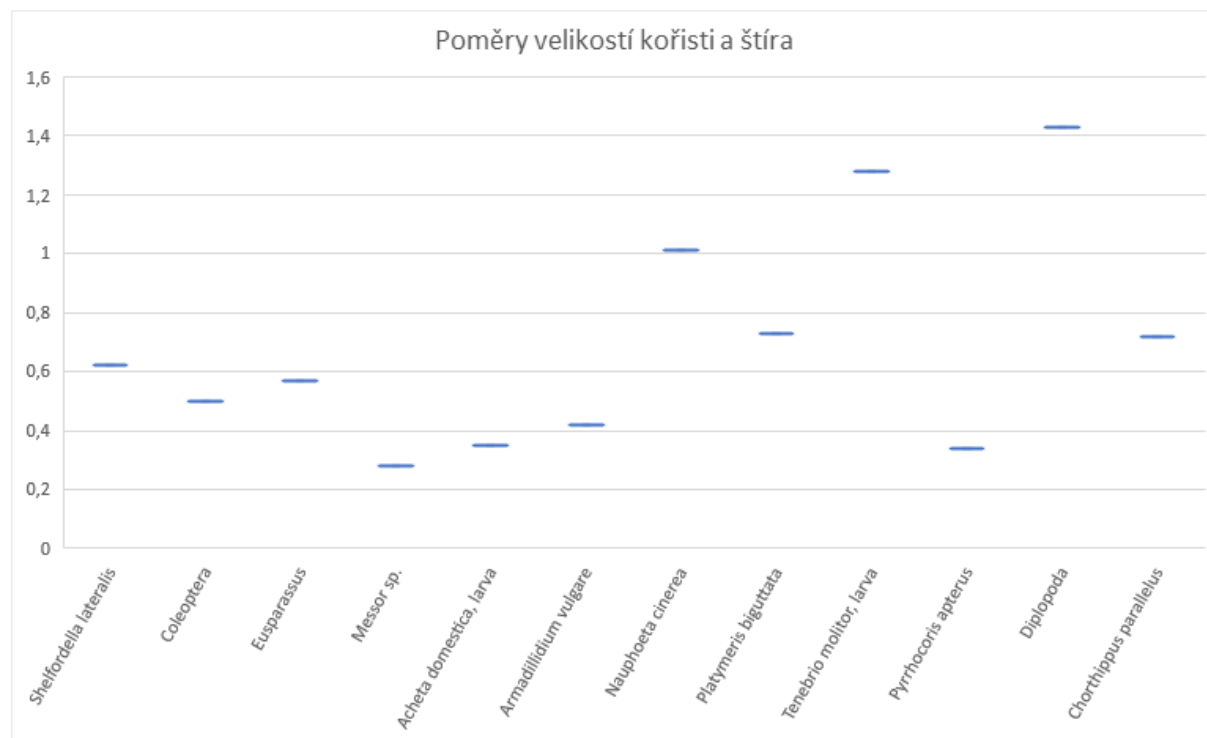
Druh *S. lateralis*: p – hodnota = $0,739 > 0,05$. Druh *N. cinerea*: p – hodnota = $0,974 > 0,05$. Druh *C. parallelus*: p – hodnota = $0,711 > 0,05$. Druhu *P. apterus*: p – hodnota = $0,163 > 0,05$. Druh *T. molitor*: p – hodnota = $1 > 0,05$. Druh *A. domestica*: p – hodnota = $0,1602 > 0,05$. Druh *A. vulgare*: p – hodnota = $0,1602 > 0,05$. Rod *Messor sp.*: p – hodnota = $0,1205 > 0,05$. Třída Diplopoda: p – hodnota = $0,636 > 0,05$. Rod *Eusparassus sp.*: p – hodnota = $1 > 0,05$. Rod *Tenebrio sp.*: p – hodnota = $0,991 > 0,05$.



Obrázek 25 – graf popisující závislost úspěšnosti sežrání kořisti na poměru velikostí kořisti/štíra

Z grafu je patrné, že nulová hypotéza nebyla zamítnuta. V intervalu $<0,1.5>$ sice dochází k postupnému růstu, ovšem poté hodnoty prudce klesají. Tudíž vyšší úspěšnost sežrání není

ovlivněna poměrem velikostí. Poměry velikostí kořisti a štíra jsou znázorněné grafem (obrázek 26).

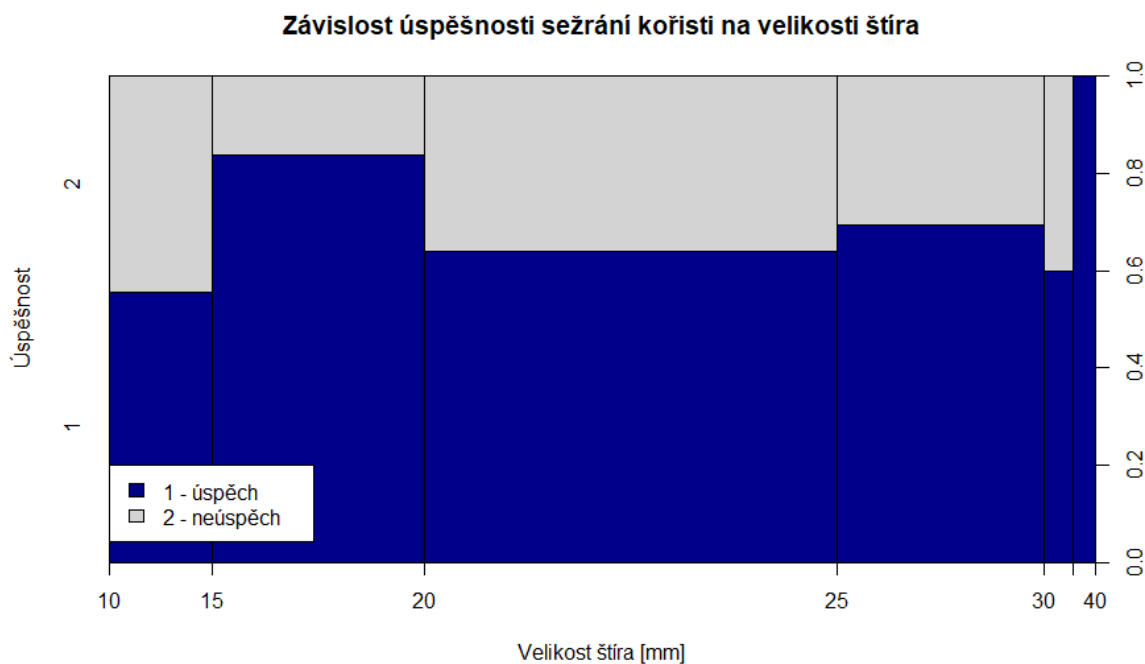


Obrázek 26 – graf znázornující poměry velikostí kořisti a štíra

Graf ukazuje jednotlivé poměry velikostí kořisti a velikostí štíra. Poměry jsou z velkého intervalu hodnot, který zahrnuje velikosti větší, než je tělo štíra, dokonce i téměř 1,5krát větší.

Závislost úspěšnosti sežrání kořisti na velikosti štíra

Pro zjištění, zda nemohla ovlivnit předchozí hypotézu (H_0 : poměr velikosti kořisti ku velikosti predátora – štíra nemá vliv na úspěšnost sežrání kořisti predátorem – štírem) jedna z proměnných při tvorbě poměru (velikost kořisti/velikost štíra), byly provedeny analýzy i pro závislosti úspěšnosti sežrání kořisti na velikosti štíra a zvláště byla provedena analýza, zda má vliv velikosti kořisti na úspěšnost sežrání. V obou případech byla alternativní hypotéza zamítnuta.



Obrázek 27 – graf znázorňující závislost úspěšnosti sežrání kořisti na velikosti štíra

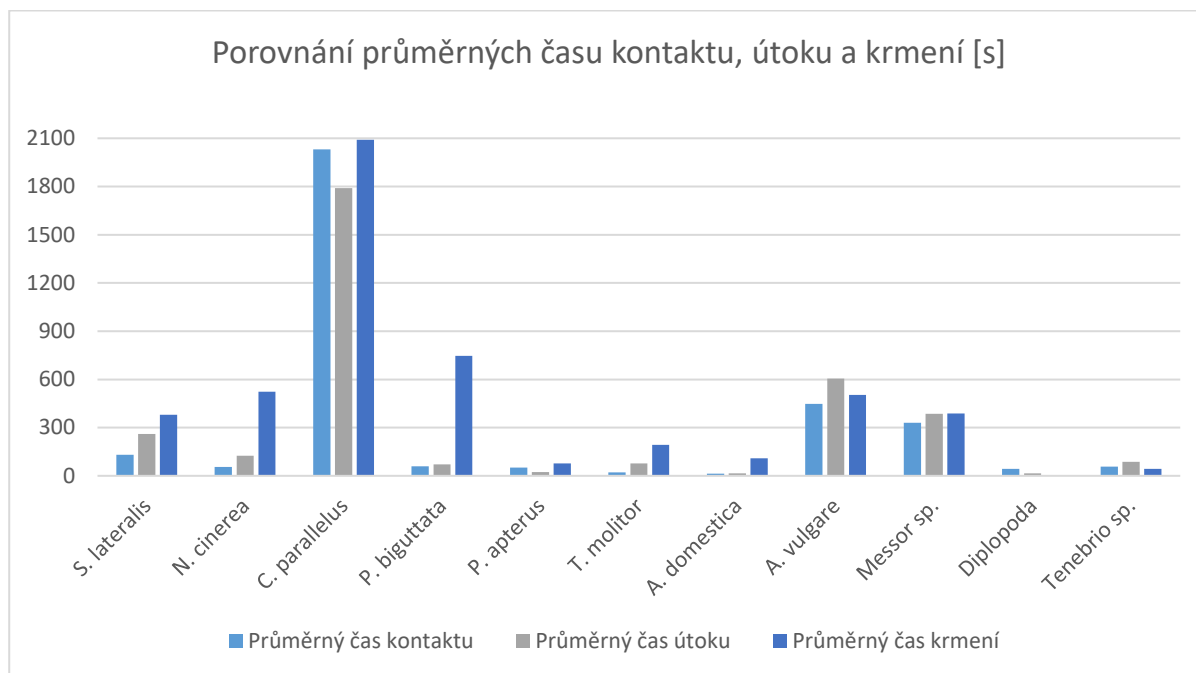
Z grafu je vidět, že sice dochází k určitým výchyilkám, ovšem nejedná se o rapidní výchylky a jejich růst ani pokles neudává žádný trend. V případě intervalu (35,40> je úspěšnost sice 100 %, ale v intervalu <15,20> je úspěšnost přes 80 %, a poté klesá a opět roste. Každý interval velikostí štírů [mm] obsahoval rozdílný počet jedinců.

Závislost změřeného času kontaktu a útoku na druhu

Dalším modelem bylo zjištěno, že testovaná nulová hypotéza (H_0 : druh kořisti nemá vliv na změřený čas prvotního kontaktu) byla pro většinu druhu kořisti zamítnuta (p – hodnota <0,05). Pouze u *T. molitor* nebyla nulová hypotéza zamítnuta. Stejným typem testu byl otestován i čas útoku, kde byla nulová hypotéza (H_0 : druh kořisti nemá vliv na změřený čas útoku) pro téměř všechny druhy kořisti zamítnuta (p – hodnota <0,05). Pouze u *P. apterus* a *Diplopoda* vyšla p – hodnota větší než 0,05, tudíž nebyla nulová hypotéza zamítnuta. Nulová hypotéza (H_0 : druh kořisti nemá vliv na změřený čas krmení štíra) byla téměř vždy zamítnuta. U třídy *Diplopoda* nedošlo k zamítnutí nulové hypotézy a tedy, že druh kořisti neovlivňuje to, za jaký čas od útoku byla kořist predátorem sežrána.

Závislosti mezi jednotlivými typy změřených časů (kontakt, útok, krmení)

Modelem testující vztahy mezi jednotlivými typy času (kontakt, útok, krmení) (obrázek 28) bylo zjištěno, že při testování vlivu změřeného času kontaktu na změřený čas útoku byla nulová hypotéza (H_0 : změřený čas kontaktu nemá vliv na změřený čas útoku) zamítnuta (p – hodnota = 0,000267), dále při testování za použití stejného typu testu, nebyly nulové hypotézy (H_{0a} : změřený čas kontaktu nemá vliv na změřený čas krmení, H_{0b} : změřený čas útoku nemá vliv na změřený čas krmení, H_{0c} : interakce mezi změřeným časem kontaktu a změřeným časem útoku nemá vliv na krmení), zamítnuty (pro H_{0a} : p – hodnota = 0,663, H_{0b} : p – hodnota = 0,468, H_{0c} : p – hodnota = 0,764).



Obrázek 28 – graf znázorňující porovnání průměrných časů kontaktu, útoku a krmení [s]

Graf porovnávající průměrné časy kontaktu, útoku a krmení ukazuje, že u jednotlivých druhů kořisti se časy liší. Z grafu lze vidět, že ne vždy nejkratší čas kontaktu znamenal i nejkratší čas krmení či útoku. Je tedy patrné, že jednotlivé časy ani interakce na sebe nemají navzájem vliv, pouze u času kontaktu a útoku bez další interakce nebyla závislost zamítnuta.

Závislost změřeného času kontaktu na typu kořisti a poměru velikostí

Dalšími modely byly vysvětleny nulové hypotézy: H0a: typ kořisti nemá vliv na změřený čas kontaktu, H0b: vytvořený poměr velikostí (poměr velikosti kořisti/ velikost predátora) nemá vliv na změřený čas kontaktu, H0c: interakce mezi poměrem velikostí a typem kořisti nemá vliv na změřený čas kontaktu. Všechny tři nulové hypotézy nebyly modelem zamítnuty.

Závislost úspěšnosti sežrání na změřených časech (kontakt, útok, krmení)

Test pro zjištění pravdivosti nulové hypotézy (H0: změřený čas kontaktu nemá vliv na úspěšnost sežrání) byl proveden pro každý druh kořisti zvlášť.

Druh *S. lateralis*: p – hodnota = 0,512 > 0,05, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Druh *N. cinerea*: p – hodnota = 0,628 > 0,05, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Druh *C. parallelus*: p – hodnota = 1 > 0,05, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Pro druh *P. biguttata* bylo testováno více nulových hypotéz, zahrnut byl zde i změřený čas útoku (H0a: změřený čas kontaktu nemá vliv na úspěšnost sežrání, H0b: změřený čas útoku nemá vliv na úspěšnost sežrání, H0c: interakce mezi změřeným časem kontaktu a útoku nemá vliv na úspěšnost sežrání), všechny nulové hypotézy nebyly zamítnuty (H0a: p – hodnota = 0,464, H0b: p – hodnota = 0,787, H0c: p – hodnota = 0,928).

Druh *P. apterus*: p – hodnota = 0,301 > 0,05, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

U druhu *T. molitor* byly opět testovány tři nulové hypotézy stejné jako u druhu *P. biguttata*. Všechny nulové hypotézy nebyly zamítnuty.

Druh *A. domestica*: p – hodnota = $1 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Druh *A. vulgare*: p – hodnota = $0,387 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, u modelu s testem pro změřeny čas útoku nebyla u druhu *A. vulgare* nulová hypotéza rovněž zamítnuta.

Rod *Tenebrio sp.*: p – hodnota = $1 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Závislost změřených časů (kontakt, útok, krmení) na poměru velikostí

Testování závislosti vytvořeného poměru velikostí na změřeném čase (kontakt, útok, krmení) bylo určeno pro každý druh kořisti zvlášť.

H0a: vytvořený poměr velikostí (velikost kořisti/ velikost predátora) nemá vliv na změřený čas kontaktu.

H0b: vytvořený poměr velikostí (velikost kořisti/ velikost predátora) nemá vliv na změřený čas útoku.

H0c: vytvořený poměr velikostí (velikost kořisti/ velikost predátora) nemá vliv na změřený čas krmení.

Druh *S. lateralis*: H0a: p – hodnota = $0,0104 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,00179 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta, H0c: p – hodnota = $0,00179 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta. Pro druh *S. lateralis* byly všechny hypotézy zamítnuty, tudíž všechny změřené časy chování (kontaktu, útoku, krmení) jsou závislé na vytvořeném poměru velikostí.

Druh *N. cinerea*: H0a: p – hodnota = $0,7584 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,377 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0c: p – hodnota = $0,233 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta. U druhu *N. cinerea* nebyly všechny nulové hypotézy zamítnuty, tudíž u tohoto druhu nezáleží na poměru velikostí.

Druh *C. parallelus*: H0a: p – hodnota = $0,20649 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,062056 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0c: p – hodnota = $0,0219 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta.

Druh *P. biguttata*: H0a: p – hodnota = $0,0059 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,373 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0c: p – hodnota = $0,315 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Druh *P. apterus*: H0a: p – hodnota = $0,203 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,9939 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Druh *T. molitor*: H0a: p – hodnota = $0,2202 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,5215 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0c: p – hodnota = $0,26298 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Druh *A. domestica*: H0a: p – hodnota = $0,00268 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,00614 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta, H0c: p – hodnota = $0,00246 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta.

Druh *A. vulgaris*: H0a: p – hodnota = $0,189 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0b: p – hodnota = $0,812 > 0,05$, nulová hypotéza nebyla zamítnuta, H0c: p – hodnota = $< 2e-16 < 0,05$, nulová hypotéza byla zamítnuta.

Rod *Tenebrio sp.*: H0a: p – hodnota = $0,0372$.

Závislost úspěšnosti sežrání vyjádřena v procentech za 2 a 24 hodin na poměru velikostí

Modelem nebyla nulová hypotéza (H_0 : poměr velikostí nemá vliv na úspěšnost sežrání za 2 hodiny vyjádřené v procentech) zamítnuta ($p - \text{hodnota} = 0,814 > 0,05$). Modelem nebyla nulová hypotéza (H_0 : poměr velikostí nemá vliv na úspěšnost sežrání za 24 hodin vyjádřené v procentech) zamítnuta ($p - \text{hodnota} = 0,578 > 0,05$).

Závislost úspěšnosti sežrání vyjádřena v procentech za 2 a 24 hodin na typu kořisti

Model k testování nulové hypotézy (H_0 : typ kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání za 2 hodiny vyjádřené v procentech) ukázal, že $p - \text{hodnota}$ vyšla pro všechny tři typy větší než 0,05, tudíž ve všech třech případech nebyla nulová hypotéza zamítnuta a typ kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání za 2 hodiny vyjádřené v procentech. Model s nulovou hypotézou H_0 : typ kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání za 24 hodin vyjádřené v procentech prokázal, že opět u všech třech typů kořisti nezávisí úspěšnost sežrání na typu kořisti.

Závislost úspěšnosti sežrání vyjádřena v procentech za 2 a 24 hodin na druhu kořisti

Otestování modelem, přičemž nulová hypotéza byla H_0 : druh kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání vyjádřenou v procentech za 2 hodiny, ukázalo, že u všech druhů kořisti nebyla zamítnuta nulová hypotéza. Druh kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání vyjádřenou v procentech za 2 hodiny. Stejným typem testu byla otestována i nulová hypotéza ohledně závislosti úspěšnosti sežrání vyjádřenou v procentech za 24 hodin na druhu kořisti. Otestováním bylo zjištěno, že druh kořisti nemá vliv na úspěšnost sežrání vyjádřenou v procentech za 24 hodin.

Predační chování štírů

Chování štíra s kořistí během pozorování znázorňují zjednodušené etogramy. Chování s atraktivní kořistí znázorňuje první etogram (obrázek 29), chování s neatraktivní kořistí druhý etogram (obrázek 30) a třetí etogram (obrázek 31) znázorňuje chování s nebezpečnou kořistí. Jako modelový druh atraktivní kořisti byl zvolen šváb turkistánský, neatraktivní kořist je zastoupena ruměnicí pospolnou a zákeřnice dvojtečná představuje nebezpečnou kořist. Čím širší je šipka mezi jednotlivými fázemi, tím častěji se daná fáze vyskytovala. Jednotlivé fáze chování jsou popsány níže:

Bodnutí – kořist byla bodnuta jedovým ostnem

Hledání – štír prozkoumává ubikaci s cílem najít kořist, pedipalpy jsou roztažené

Chycení – štír chytil kořist jedním nebo oběma klepety

Klid – štír je v klidu, tělo leží na substrátu, metasoma je položena vedle těla; výchozí fáze

Krmení – je zřetelně vidět zpracovávání kořisti chelicerami

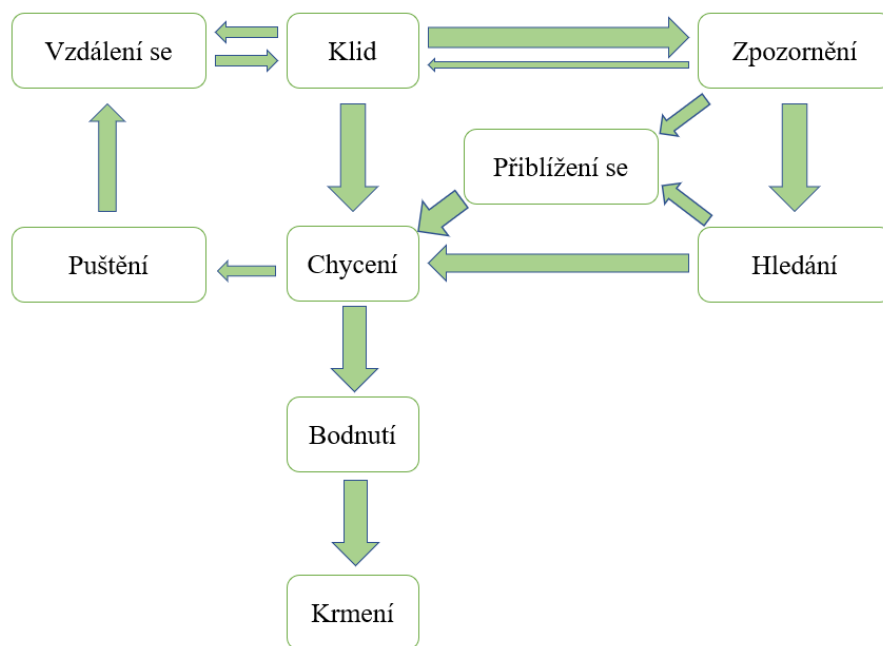
Přiblížení se – štír míří směrem ke kořisti

Puštění – štír kořist pustil ze sevření

Souboj – kořist se velmi brání

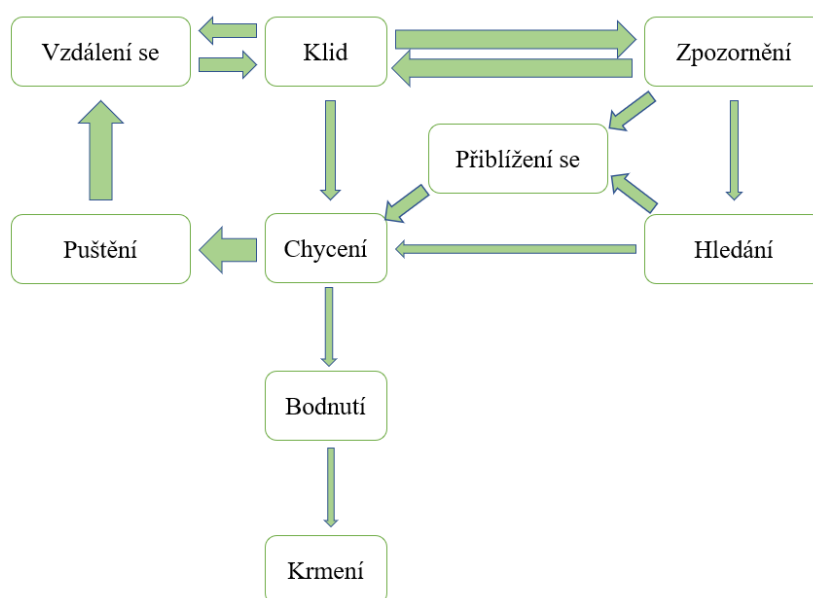
Vzdálení se – štír míří směrem od kořisti

Zpozornění – štír zjistil, že v ubikaci je další druh, pedipalpy jsou roztažené před tělem, klepeta jsou otevřená



Obrázek 29 – etogram znázorňující chování šтіra s atraktivní kořistí (šváb turkistánský)

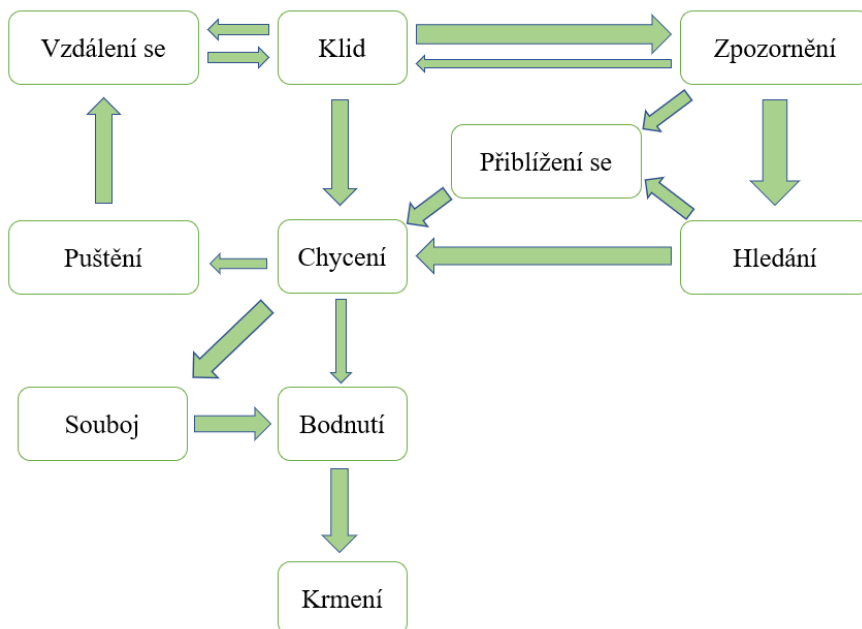
Z etogramu je zřejmé, že nejčastěji docházelo k řetězci fází Klid → Chycení → Bodnutí → Krmení, případně Klid → Zpozornění → Hledání → Chycení → Bodnutí → Krmení, přičemž druhý případ nastal, když se kořist nepohybovala v bezprostřední blízkosti šтіra. U malého počtu případů následovala po Zpozornění či Hledání fáze Přiblížení se, následované Chycením. Malý počet případů také řetězec Puštění → Vzdálení se → Klid následovaný po fázi Chycením, či Klid → Vzdálení se → Klid. Takovéto případy mohly nastat ve chvíli, kdy byla kořist pro šтіra příliš veliká nebo šтіr neměl potřebu lovit.



Obrázek 30 – etogram znázorňující chování šтіra s neatraktivní kořistí (ruměnice pospolná)

Na rozdíl od předchozího etogramu znázorňuje tento etogram řetězec fází Klid → Chycení → Bodnutí → Krmení jako nejméně častý. Zároveň probíhaly v malém počtu řetězce Zpozornění

→ Hledání → Chycení, případně s mezikrokem Přiblížení se. Ačkoliv fáze Zpozornění nastávala často, následovala spíše fáze Klid. Rovněž často po fázi Chycení následoval řetězec Puštění → Vzdálení se → Klid. Že o neatraktivní kořist neměli štíři příliš zájem dokazuje také řetězec Klid → Vzdálení se → Klid.



Obrázek 31 – etogram znázorňující chování štíra s nebezpečnou kořistí (zákeřnice dvojtečná)

Tento etogram má oproti předchozím etogramům navíc fázi Souboj. Ta se vyskytuje v častých řetězcích Klid → Chycení → Souboj → Bodnutí → Krmení a Klid → Zpozornění → Hledání → Chycení → Souboj → Bodnutí → Krmení. Bodnutí se bezprostředně po Chycení vyskytovalo jen ve velmi málo případech, zejména když byla kořist výrazně menší než štír. V malém počtu případů také nastával řetězec Klid → Vzdálení se → Klid.

6 Diskuze

6.1 Získání štírů

Štíři *Buthus ibericus*, o kterých tato práce pojednává, byli odchyceni doc. Mgr. Stanislavem Korenkem, Ph.D. a prof. Mgr. Stanislavem Pekárem, Ph.D. z Masarykovy univerzity přímo v oblasti jejich výskytu, v Portugalsku, v dubnu a říjnu 2015. Odchyt probíhal ve dne, tedy v době, kdy jsou štíři schovaní v úkrytech, zejména pod kameny. Odchyceno bylo 30 jedinců různých velikostí a neznámého pohlaví. Podobně si počínal i Rein (2003), který studoval predační chování štíra žlutočerného *Parabuthus leiosoma* a štíra bledého *Parabuthus pallidus* z Keni. Štíry odchytával v květnu a červnu 1988. Popisuje, že štíry nacházel pod kameny, podle čehož lze usuzovat, že odchyt probíhal taktéž ve dne. Odchyceno bylo 11 jedinců *P. leiosoma* a 12 jedinců *P. pallidus* různých velikostí a neznámého pohlaví. I přesto, že doby odchytů byly srovnatelné, jedinců *B. ibericus* bylo odchyceno více. Naopak noční odchyt prováděl Stewart (2006), který zkoumal predační chování štíra tlustoocasého *Androctonus crassicauda* v Iráku. Při odchytu používal ultrafialové světlo, pod kterým štíři fluoreskují, a štíry nacházel před svými úkryty či na stěnách. Nočním odchylem prováděným v létě a na podzim 2004 bylo chyceno 10 jedinců různých velikostí, pohlaví štírů autor neuvádí. Nutno dodat, že autor byl v té době voják na vojenské operaci, takže je možné, že se nemohl odchytu štírů věnovat častěji. Noční odchyt má tu výhodu, že štíři obvykle vylézají z úkrytů a díky UV světlu jsou jasně vidět. Při denním odchytu hrozí, že při odkrytí úkrytu může vyrušený štír zaútočit, což může být u vysoce toxických druhů velmi nebezpečné. Odchyt v noci se tak jeví jako bezpečnější.

6.2 Ubikace

Rein (2003) choval každého jedince obou druhů samostatně v teráriích o rozměrech 30 x 20 cm s písčitém substrátem a s několika kameny. Teplota byla nastavena na 24 až 30 °C, délka slunečního svitu byla 10 až 14 hodin a voda byla podávána formou mlžení. Krmení probíhalo pouze během testů. Bub & Bowerman (1979) chovali štíry arizonské *Hadrurus arizonensis* Ewing, 1928 rovněž jednotlivě v teráriích o rozměrech 25 x 35 cm s 15 cm vysokou vrstvou písčitého substrátu, teplota se pohybovala mezi 20 a 29 °C a voda byla kromě mlžení podávána navlhčenou houbičkou. Casper (1985) se věnoval predačnímu chování veleštíra obrovského. Pět dospělých jedinců bylo chováno jednotlivě a dva dospívající jedinci ze stejného vrhu byli chováni společně. Terária měla rozměry 32 x 7 cm, jako substrát byla zvolena 1–2 cm vysoká vrstva steliva pro kočky. Jako zdroj vody sloužila víčka od lahví naplněna vodou, žádným dalším vybavením terária nedisponovala. Teploty se pohybovaly mezi 16 a 26 °C. Jiao & Zhu (2009) chovali 30 sameců a 30 samic veleštíra Petersova *Heterometrus petersii* (Thorell, 1876) jednotlivě v teráriích o rozměrech 60 x 20 x 40 cm s hlínou a teplotami mezi 26 a 29 °C. Stewart (2006) kromě vnitřních terárií o rozměrech 46 x 30 x 17 cm použil i venkovní terária s rozměry 100 x 30 x 30 cm, v obou typech byla asi 15 cm vysoká vrstva substrátu z písku a bahna, předem vytvořené úkryty a houbička nasáklá vodou. V našem případě byly zejména z prostorových důvodů zvoleny

malé plastové boxy o rozměrech 11,5 x 8 x 6 cm, které jsou bezesporu nejmenší ze všech zmíněných ubikací. I přesto se však štírům dařilo: až na několik výjimek všichni přijímali bez problémů potravu a rostli, což dokazuje skutečnost, že u nich probíhala ekdyse. Stejně jako u Bub & Bowerman (1979), Rein (2003) a Stewart (2006) byl jako substrát zvolen písek, protože se jedná o druhy žijící v suchých oblastech, ačkoli v mém případě byl písek smíchan s malým množstvím lignocelu. Voda byla zprvu podávána kapáním po stěnách, vzdáleně připomínajícím mlžení, které používali Bub & Bowerman (1979) a Rein (2003). Avšak kvůli vsakování vody do substrátu jsem raději použil misky z víček od PET lahví podobně jako Casper (1985). Teplota nebyla nijak regulovaná, štíři byli chováni v pokojové teplotě. Štírům také nebylo poskytnuto umělé osvětlení nahrazující sluneční světlo. Byly jim však vytvořeny úkryty, které vytvářel i Stewart (2006). Nicméně Stewart (2006), stejně jako Bub & Bowerman (1979) úkryty vytvářet nemuseli, protože štíři si mohli ve vysoké vrstvě substrátu úkryt vyhrabat. Tuto možnost štíři v mém chovu neměli, ale pokusy o tvorbu úkrytů pomocí hrabání v malé vrstvě substrátu pozorovány byly. Na rozdíl od Reina (2003) jsem štíry nekrmil jen během testování, ale každý týden alespoň jedenkrát. Vzhledem k tomu, že štíři *B. ibericus* až na výjimky bez problému přijímali potravu a rostli, lze předpokládat, že štírům žijícím v suchých oblastech chovaným samostatně stačí malé ubikace, vybavené úkrytem a miskou s vodou, a pravidelné krmení. Není však pochyb o tom, že větší ubikace s dostatečnou vrstvou substrátu by byly pro chov vhodnější.

6.3 Používané druhy kořisti

Stewart (2006) používal jako kořist švába amerického *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758), které odchytával ve stejných oblastech jako štíry. Podávání švábi byli stejně velcí jako štíři. Bub & Bowerman (1979) používali nymfy a imaga švába amerického a imaga cvrčka domácího. Jiao & Zhu (2009) používali larvy potemníka moučného a potemníka brazilského *Zophobas morio* (Fabricius, 1776). Různě velké larvy potemníka moučného používal i Rein (2003) společně se stonožkou škvorovou *Lithobius forficatus* (Linnaeus, 1758). Casper (1985) jako kořist předkládal různě veliké jedince cvrčka domácího a mláďata (holá i osrstěná) myši domácí *Mus musculus* (Linnaeus, 1758). Výše zmínění pozorovatelé používali jeden, případně dva druhy kořisti. V rámci této práce jsem použil 12 druhů (viz kapitola 4.2 Testované druhy kořisti), které sloužily nejen k pozorování predačního chování, ale také k potvrzení či vyvrácení potravního generalismu štírů. Stejně jako Bub & Bowerman (1979) a Casper (1985) jsem použil cvrčka domácího, avšak ne dospělce, ale mladé jedince, tzv. mikrocvrčky. Rovněž jsem jako Rein (2003) a Jiao & Zhu (2009) při pozorování používal larvy potemníka moučného, a stejně jako Stewart (2006) jsem také použil druhy, které se vyskytovaly ve stejných oblastech jako štíři.

6.4 Pozorování predačního chování

Pozorování probíhala v mém případě v ubikacích, ve kterých byla zvířata chována, stejně tak si počínali Casper (1985), Stewart (2006) i Jiao & Zhu (2009). Naopak Bub & Bowerman

(1979) a Rein (2003) štíry na pozorování přemísťovali do jiného terária, které bylo velikostně srovnatelné s chovným teráriem. Na rozdíl od Jiao & Zhu (2009), kteří před měřením nechali štíry hladovět čtyři týdny, jsem štíry před pozorováním nekrmil pouze dva týdny. Casper (1985) a Stewart (2006) podávali kořist každý týden. V tomto intervalu jsem štíry krmil, když neprobíhala žádná pozorování.

Sběr dat začal v mém případě ve chvíli, kdy byla kořist vpuštěna do ubikace, a skončil, když štír začal kořist zpracovávat chelicery. Pokud toto do dvou hodin nenastalo, bylo pozorování pozastaveno a pokračovalo následující den ve stejnou hodinu. Rein (2003) sbíral data do začátku pojidání kořisti (znatelné pohyby předústní dutiny), Jiao & Zhu (2009) skončili s pozorováním, až když byla kořist zcela pozřena. Stewart (2006) začal pozorování ve chvíli, kdy štír poprvé zaregistroval kořist, a skončil stejně jako Rein (2003) na začátku pojidání. I přesto, že bylo v mé práci ukončovacím prvkem zpracovávání chelicery a v pracích Reina (2003) a Stewarta (2006) až pohyb předústní dutiny, nejsou tyto prvky od sebe výrazně odlišné, protože pohyby předústní dutiny následují bezprostředně po zpracování potravy chelicery.

Jednotlivé fáze predačního chování se u autorů téměř nelišily. Jako první popsali jednotlivé fáze Bub & Bowerman (1979), na ně následně s drobnými úpravami navazovali Rein (2003), Stewart (2006) a Jiao & Zhu (2009). Můj popis jednotlivých fází vznikl nezávisle na těchto autorech, a tudíž se pozorování v několika aspektech od těchto autorů liší, v mém popisu například není fáze, kdy si štír čistí po lovu klepeta.

Během mého pozorování se u štírů v jednom testu nevyskytovaly všechny fáze chování, které jsou popsány v kapitole 5 Výsledky. Zejména v případě atraktivní kořisti (*S. lateralis*) štír nejprve zpozorněl, následně kořist hledal a v drtivé většině případů kořist chytil, bodl a začal konzumovat. Stewart (2006) popisuje případy, které měly rychlý průběh lovu, ale také případy, při kterých se některé fáze několikrát opakovaly, případně mezi nimi byly fáze neaktivního chování trvající i více než 10 minut. Podobné případy nastávaly také v mém pozorování, zejména když byla kořist srovnatelně velká se štírem, případně když štír nestihl včas zareagovat. Neaktivní chování štírů vykazovali, když se kořist nepohybovala. Pravděpodobně je to způsobené faktem, že štír necítil vibrace a nemohl tudíž kořist zaměřit. Tentýž poznatek popisují také Bub & Bowerman (1979) a Casper (1985). Také jsem pozoroval, že pokud byla kořist velmi rychlá, stávalo se, že se velmi rychle přiblížila ke štírovi (zejména kvůli malé ubikaci), který ji tím pádem nemusel aktivně hledat. Zároveň pokud byla kořist výrazně menší než štír (bez problému ji držel jedním klepetem), začal kořist konzumovat, aniž by ji bodl. Jiao & Zhu (2009) popisují podobné případy, kdy při některých pozorováních bylo několik fází vynecháno, jindy naopak nebyla vynechána žádná. Rovněž popisují, že štíři bodali pouze larvy potemníka brazilského, a to jen v případě, kdy se larvy bránily. Nebránící se kořist bodnuta nebyla. Velmi se to podobá případům z mého pozorování, kdy nebyla bodnuta velmi malá kořist. Stejně zjištění popisují také Casper (1985) a Rein (2003). Naopak Bub & Bowerman (1979) tvrdí, že kořist byla bodnuta pokaždé alespoň jednou.

7 Závěr

- Štíři se řadí do třídy pavoukovci Arachnida patřící pod kmen Arthropoda. Řád štíři se pak dále dělí na 23 čeledí, 226 rodů a druhů je popsáno již 2597.
- Jeden z nověji objevených druhů štíra, *Buthus ibericus*, dříve zaměňován za štíra středomořského *Buthus occitanus*, žijící přirozeně v Portugalsku a západním Španělsku, byl po dovezení do České republiky zkoumán ohledně potravních preferencí a predáčního chování. Štíři druhu *B. ibericus* byli chováni v laboratorních podmínkách s pravidelným doplňováním tekutin (vody) do jejich ubikací. Každý jedinec štíra *B. ibericus* byl chován ve své vlastní ubikaci, kde měl přístup ke zdroji tekutin a úkrytu vytvořeného z kamenů.
- Testování preference druhů kořisti probíhalo nejen na kořisti chované v laboratorních podmínkách, ale zároveň i na odchycených jedincích ve volné přírodě, aby se předešlo zanesení chyby do výzkumu. Na začátku výzkumu byla stanovena hypotéza „Štír *Buthus ibericus* je potravní generalista a jeho potravní chování je uzpůsobené k širokému spektru kořisti“. V průběhu výzkumu však přibyly další poznatky, které byly zaneseny do měření a následně otestovány. Původní hypotéza nebyla vyvrácena, tedy, že štír *B. ibericus* je potravní generalista a neupřednostňuje žádný druh potravy. Zároveň bylo zjištěno, že jeho schopnost ulovení a sežrání kořisti nezávisí na velikosti kořisti, druhu kořisti, atraktivitě kořisti a ani na velikosti predátora – štíra *B. ibericus*. Z toho vyplývá, že potravní chování štíra *B. ibericus* je uzpůsobené širokému spektru kořisti. Úspěšnost ulovení a sežrání kořisti sice nebyla na žádném zkoumaném faktoru závislá, přesto byl zjištěn fakt, že druh kořisti má vliv na časy prvotního kontaktu, tedy kdy štír *B. ibericus* poprvé zpozoruje kořist a začne si jí aktivně všimnout, a na časy útoku, tedy kdy štír *B. ibericus* aktivně zaútočí na kořist ve snaze ji bodnout.
- Doporučení pro další praxi: Ačkoli se použité ubikace na chov štírů prokázaly jako dostatečné, na pozorování by byly vhodnější větší prostory. Aby se předešlo stresu štíra při přenosu do jiného prostoru na pozorování, jeví se lepším řešením být použití větších prostorů i na chov. Navazující výzkum by mohl být zaměřen na zjištění, jakou největší kořist dokáže štír ulovit.

8 Literatura

- Abdel-Rahman MA, Harrison PL, Strong PN. 2015. Snapshots of scorpion venomics. *Journal of Arid Environments* **112**:170–176.
- Alexander AJ. 1958. On the stridulation of scorpions. *Behaviour* **12**(4):339–352.
- Anderson RC. 1983. Scorpions: the ancient arachnids. Idaho Museum of Natural History, special publication **8**:1–19.
- Armas LF de. 1975. Un notable caso alimentario en los escorpiones (Arachnida: Scorpionida). *Miscelanea zoologica* **1**:2–3.
- Armas LF de, Abud-Antún A. 1992. Depredación de vertebrados por escorpiones (Scorpiones: Buthidae) de República Dominicana. *Comunicaciones Breves de Zoología*, 5-6.
- Armas LF de. 2001. Frogs and lizards as prey of some greater Antillean arachnids. *Revista ibérica de arcnología* **3**:87–88.
- Braendle C. 1995. Verhalten und Ökologie des Skorpions *Leiurus quinquestriatus*. *DATZ* **48**:782–783
- Brownell P, Polis GA. 2001. Introduction. Pages 3–12 in Brownell P, Polis GA, editors. *Scorpion Biology and Research*. Oxford University Press, Inc, New York.
- Bub K, Bowerman RF. 1979. Prey capture by the scorpion *Hadrurus arizonensis* Ewing (Scorpiones: Vaejovidae). *The Journal of Arachnology* **(7)**:243–253.
- Casper GS. 1985. Prey capture and stinging behavior in the emperor scorpion, *Pandinus imperator* (Koch) (Scorpiones, Scorpionidae). *The Journal of Arachnology* **(13)**:277–283.
- Castilla AM, Cooper WE, Pons GX. 2010. The effect of moonlight variation on scorpion (*Buthus occitanus*) activity in the Columbretes Islands (Mediterranean, Spain). *Reberca* **19**: 221–230
- Castilla AM, Huey RB, Calvete JJ, Richer R, Al-Hemaidi AHM. 2015. Arid environments: Opportunities for studying co-evolutionary patterns of scorpion venoms in predator–prey systems. *Journal of Arid Environments* **112**:165–169
- Cloudsley-Thompson JL. 1968. Spiders, scorpions, centipedes and mites. Pergamon Press Ltd, Oxford.
- Cowles J. 2018. *Amazing Arachnids*. Princeton University Press, New Jersey.
- Dardevet L, Rani D, Aziz TAE, Bazin I, Sabatier JM, Fadl M, Brambilla E, De Waard M. 2015. Chlorotoxin: a helpful natural scorpion peptide to diagnose glioma and fight tumor invasion. *Toxins* **7**(4): 1079–1101.
- Ding J, Chua PJ, Bay BH, Gopalakrishnakone P. 2014. Scorpion venoms as a potential source of novel cancer therapeutic compounds. *Experimental Biology and Medicine* **239**:387–393.

- Due AD. 2001. Historical biogeography. Pages 334–346 in Brownell P, Polis GA, editors. Scorpion Biology and Research. Oxford University Press, Inc, New York.
- Farley R. 2001. Structure, reproduction and development. Pages 13–78 in Brownell P, Polis GA, editors. Scorpion Biology and Research. Oxford University Press, Inc, New York.
- Gaffin D, Brownell P. 2001. Chemosensory behavior and physiology. Pages 184–203 in Brownell P, Polis GA, editors. Scorpion Biology and Research. Oxford University Press, Inc, New York.
- Hadley NF. 1974. Adaptational biology of desert scorpions. *The Journal of Arachnology* **2**:11–23.
- Hadley NF. 1990. Environmental physiology. Pages 158–166 in Pages 5–30 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- Herrmann R, Moskowitz H, Zlotkin E, Hammock BD. 1995. Positive cooperativity among insecticidal scorpion neurotoxins. *Toxicon* **33(8)**:1099–1102.
- Hjelle JT. 1990. Anatomy and morphology. Pages 5–30 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- Isbister GK, Bawastar HS. 2014. Scorpion envenomation. *The New England Journal of Medicine* **371**:457–463.
- Jestrzemeski D, Schütz S. 2016. Arthropods as predators of herpetofauna in Chu Mom Ray National Park, Vietnam. *Asian Journal of Conservation Biology* **5**:3-15.
- Jiao GB, Zhu MS. 2009. Prey capture behavior in *Heterometrus petersii* (Thorell, 1876) (Scorpiones: Scorpionidae). *Euscorpius* **80**:1–5.
- Kořínek M. 2017. Druh *Buthus ibericus* Lourenço & Vachon 2004. BioLib. Available from <https://www.biolib.cz/cz/taxon/id1225986/> (accessed July 2020)
- Kovařík F. 1999. Review of european scorpions, with a key to species. *Serket* **6**:38–44
- Leeming J. 2003. *Scorpions of Southern Africa*. Struik Publishers, Cape Town.
- Lepš J, Šmilauer P. 2016. *Biostatistika*. Nakladatelství Jihočeské univerzity, České Budějovice.
- Lindström, A. 2017. A Scorpion, *Buthus ibericus*, Killing an Engorged Tick. *Ticks and Tick-borne Diseases* **8**:511–511.
- Lira AFA, Araújo VLN, Albuquerque CMR. 2016. Predation of a scorpion (Scorpiones: Buthidae) by an assassin bug (Heteroptera: Reduviidae) in the Brazilian Atlantic Forest. *Turkish Journal of Zoology* **40**:294–296.
- Lisboa JT, Campos-Filho IS, Couto EC, Araujo PB. 2017. Report of intraguild predation and cannibalism in scorpions (Scorpiones: Buthidae) in the Brazilian Atlantic Forest. *North-Western Journal of Zoology* **13(2)**:356.
- Lourenço WR. 2012. Fluorescence in scorpions under UV light; Can Chaerilids be a possible exception?. *Comptes Rendus Biologies* **335(12)**:731-734.

- Lourenço WR, Cuellar O. 1995. Scorpions, scorpionism, life history strategies and parthenogenesis. *Journal of Venomous Animals and Toxins* **1**(2):51-62.
- Lourenço WR, Vachon M. 2004. Considerations on the genus *Buthus* Leach, 1815 in Spain, with the descriptions of two new species (Scorpiones, Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnología* **9**:81–94.
- Lourenço WR, Brescovit AD, Rheims CA, Cloudsley-Thompson JL. 2006. First record of a crab spider (Thomisidae) preying on a scorpion. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* **39**:404–405.
- McCormick SJ, Polis GA. 1990. Prey, predators, and parasites. Pages 145–157 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- van der Meijden A, Coelho PL, Sousa P, Herrel A. 2013. Choose your weapon: Defensive behavior is associated with morphology and Performance in Scorpions. *PLoS ONE* **8**(11) (e78955) DOI:10.1371/journal.pone.0078955.
- Mejri T, Borchani L, Srairi-Abid N, Benkhalifa R, Cestele S, Regaya I, Karoui H, Pelhate M, Rochat H, El Ayeb M. 2003. BotIT6: a potent depressant insect toxin from *Buthus occitanus tunetanus* venom. *Toxicon* **41**:163–171.
- Mora-Rubio C, Parejo-Pulido D. 2019. A Case of sexual cannibalism in *Buthus ibericus* (Scorpiones: Buthidae) in the south-west of the Iberian Peninsula. *Revista Ibérica de Aracnología* **35**:51–52.
- Mullen GR, Sissom WD. 2019. Scorpions (Scorpiones). Pages 489–504 in Mullen G, Durden L, editors. *Medical and Veterinary Entomology 3rd Edition*. Academic Press.
- Mullen GR, Stockwell SA. 2002. Scorpions. Pages 411–423 in Durden LA, Mullen GR, editors. *Medical and Veterinary Entomology*. Academic Press, London.
- Pekár S, Brabec M. 2020. Moderní analýza biologických dat 1 - 1. díl. Zobecněné lineární modely v prostředí R. Masarykova univerzita, Brno.
- Polis GA, McCormick SJ. 1986. Scorpions, spiders and solpugids: Predation and competition among distantly related taxa. *Oecologia* **71**:111–116.
- Polis GA, McCormick SJ. 1987. Intraguild predation and competition among desert scorpions. *Ecology* **68**(2):332–343.
- Polis GA, Myers C, Quinlan M. 1986. Burrowing biology and spatial distribution of desert scorpions. *Journal of Arid Environments* **10**:137–146.
- Polis GA. 1990a. Ecology. Pages 123–144 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- Polis GA. 1990b. Introduction. Pages 2–4 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- Polis GA, Sissom WD. 1990. Life history. Pages 81–111 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.

- Possani LD, Becerill B, Delepierre M, Tytgat J. 1999. Scorpion toxins specific for Na⁺-channels. *European Journal of Biochemistry* **264**(2):287-300.
- Rein JO. 2021a. Buthidae. The Scorpion Files. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Available from <https://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/buthidae.php> (accessed March 2021).
- Rein JO. 2021b. Species List. The Scorpion Files. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Available from <https://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/intro.php> (accessed March 2021).
- Rein JO. 2003. Prey capture behavior in the East African scorpions *Parabuthus leiosoma* (Ehrenberg, 1828) and *P. pallidus* Pocock, 1895 (Scorpiones: Buthidae). *Euscorpius* **(6)**:1–8.
- Ross, LK. 2008. *Leiurus quinquestriatus* (Ehrenberg, 1828). The Scorpion Files. Available from https://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/l_quinquestriatus_info.pdf (accessed April 2021)
- Rossi A. 2012. Notes on the distribution of the species of the Genus *Buthus* (Leach, 1815) (Scorpiones, Buthidae) in Europe, with a Description of a New Species from Spain. *Arachnology* **15**(8):273–279.
- Rowe AH, Xiao Y, Scales J, Linse KD, Rowe MP, Cummins TR, Zakon HH. 2011. Isolation and characterization of CvIV4: A pain inducing α - scorpion Toxin. *PLoS ONE* **6**(8) (e23520) DOI:10.1371/journal.pone.0023520.
- Ruppert EE, Fox RS, Barnes RD. 2004. *Invertebrate Zoology: A functional evolutionary approach* 7th Edition. Brooks/Cole–Thomson Learning, Belmont.
- Sánchez-Piñero F, Urbano-Tenorio F. 2016. Watch out for your neighbor: Climbing onto shrubs is related to risk of cannibalism in the scorpion *Buthus cf. occitanus*. *PLoS ONE* **11**(9) (e0161747) DOI:10.1371/journal.pone.0161747.
- Schofield RMS. 1990. Metals in cuticular structures. Pages 234–255 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- Schwartz EF, Mourão CBF, Moreira KG, Camargos TS, Mortari MR. 2012. Arthropod venoms: A vast Arsenal of insecticidal neuropeptides. *Peptide science* **98**(4):385–405.
- Simard JM, Watt DD. 1990. Venoms and toxins. Pages 200–214 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- Sissom WD, Polis GA, Watt DD. 1990. Field and laboratory methods. Pages 215–221 in Polis GA, editor. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, Stanford.
- Skutelsky O. 1996. Predation risk and state-dependent foraging in scorpions: Effects of moonlight on foraging in the scorpion *Buthus occitanus*. *Animal Behavior* **52**:49–57.
- Sousa P, Arnedo MA, Harris DJ. 2017. Updated catalogue and taxonomic notes on the Old-World scorpion Genus *Buthus* Leach, 1815 (Scorpiones, Buthidae). *ZooKeys* **686**:15–84.

- Sridhara S, Chakravarthy AK, Kalarani V, Reddy DC. 2016. Diversity and ecology of scorpions: Evolutionary success through venom. Pages 57–80 in Chakravarthy AK, Sridhara S, editors. *Arthropod Diversity and Conservation in the Tropics and Sub-tropics*. Springer Nature, Singapore.
- Stewart AK. 2006. Observations on prey–capture behavior of *Androctonus crassicauda* (Olivier, 1807) (Scorpiones: Buthidae) in Northern Iraq. *Euscorpius* **37**:1–9.
- Stockmann R, Ythier E. 2010. *Scorpions of the world*. NAP Editions, Verrières-le-Buisson.
- Teruel R, Pérez-Bote JL. 2005. Complementos a la Descripción de *Buthus ibericus* Lourenço & Vachon 2004 (Scorpiones: Buthidae). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* **37**:273–277.
- Ward MJ, Ellsworth SA, Nystrom GS. 2018. A global accounting of medically significant scorpions: Epidemiology, major toxins, and comparative resources in harmless counterparts. *Toxicon* **151**:137–155.
- Wharton RA, Reddick KL. 2014. Solifuges (Arachnida: Solifugae) as predators and prey. *transactions of the royal society of South Africa* **69**:213–216.
- de Wolff JF, de Wolff FA. 2011. Natural toxins. Pages 243–257 in Moffat AC, Osselton MD, Widdop B, editors. *Clarke’s Analysis of Drugs and Poisons in Pharmaceuticals, Body Fluids and Postmortem Material 4th Edition*. Pharmaceutical Press, London, Chicago.
- Yoshimoto Y, Tanaka M, Miyashita M, Abdel-Wahab M, Megaly AMA, Nakagawa Y, Miyagawa H. 2020. A fluorescent compound from the exuviae of the scorpion, *Liocheles australasiae*. *Journal of natural products* **83**(2):542–54.

