

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA EKOLOGIE**



**Vyhledávání semen střevlíkovitými brouky**

**Searching behaviour of carabid beetles for seeds**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: doc. RNDr. Pavel Saska, Ph.D.**

**Konzultant: Ing. Hana Foffová**

**Vypracovala: Monika Hromasová**

**2020**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Monika Hromasová

Krajinářství  
Územní technická a správní služba

Název práce

**Vyhledávání semen střevlíkovitými brouky**

Název anglicky

**Searching behaviour of carabid beetles for seeds**

---

### Cíle práce

Práce se zaměří na chování střevlíků (Coleoptera: Carabidae) během vyhledávání semen, jejich potravy. Předpokládáme, že volatilní látky pocházející ze semen ovlivňují preference střevlíků během procesu vyhledávání a příjmu semen. Cílem bakalářské práce tak bude na základě času stráveného v různých zónách arény podpořit hypotézu o významu volatilních látek uvolňovaných ze semen při jejich výběru. Očekáváme, že predátoři se budou nejvíce vyskytovat v zóně bohaté na volatilní látky.

### Metodika

Práce je založena na laboratorním experimentu. Pokusní brouci (rod *Harpalus*) budou umístěny do inertních plastových nádob s dvojitým dnem, přičemž horní dno bude tvořeno jemnou syntetickou tkaninou. Mezi dny budou umístěny Petriho misky s navlhčeným filtračním papírem (celkem 6 misek), přičemž pouze jedna miska bude obsahovat semena. Experiment bude natáčen a obraz zpracován v programu Ethovision. Z natočených videí bude vypočten čas strávený v jednotlivých zónách (oblasti nad Petriho miskami). Statistické zhodnocení bude provedeno v programu R.

Harmonogram: studium literatury: průběžně, provedení pokusů: červen – září, vyhodnocení pokusů: průběžně, zpracování výsledků a sepsání práce: říjen – únor.

**Doporučený rozsah práce**

dle potřeby

**Klíčová slova**

granivorie, Carabidae, volatilní látky, výběr potravy

---

**Doporučené zdroje informací**

- Bohan, D.A., Boursault, A., Brooks, D.R., Petit, S., 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* 48, 888-898.
- Dalling, J. W., Davis, A. S., Schutte, B. J., Arnold, E., A. 2011. Seed survival in soil: interacting effects of predation, dormancy and the soil microbial community. *Journal of Ecology*. 99 (1). 89-95.
- Honek, A., Martinkova, Z., Jarosik, V., 2003. Ground beetles (Carabidae) as seed predators. *European Journal of Entomology* 100, 531-544.
- Petit, S., Boursault, A., Bohan, D.A., 2014. Weed seed choice by carabid beetles (Coleoptera: Carabidae): Linking field measurements with laboratory diet assessments. *European Journal of Entomology* 111, 615-620.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

doc. RNDr. Pavel Saska, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra ekologie

**Konzultant**

Ing. Hana Foffová

Elektronicky schváleno dne 4. 9. 2019

**doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 9. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 04. 03. 2020

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením doc. RNDr. Pavla Sasky, Ph.D a konzultantky Ing. Hany Foffové. Uvedla jsem všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 20.05.2020

.....

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat doc. RNDr. Pavlu Saskovi, Ph.D., za odborné vedení mé bakalářské práce. Velmi děkuji Ing. Haně Foffové za cenné rady a vstřícnost při konzultacích. Pracovníkům Výzkumného ústavu rostlinné výroby děkuji za poskytnutí prostor nezbytných pro vypracování výzkumu. V neposlední řadě patří mé obrovské poděkování rodině a příteli Pavlovi za velikou podporu, povzbuzování a trpělivost během celého studia a psaní této práce.

V Praze 20.05.2020

.....

## **Abstrakt**

Jedním z faktorů, které ovlivňují výnosy a kvalitu zemědělských plodin, je výskyt plevelných rostlin v polích. Granivorní druhy čeledi střevlíkovitých by mohly pomoci snížit výskyt plevelů v polích. Cílem práce bylo zjistit, zda střevlíkovití brouci reagují na přítomnost semen pouze za pomoci čichu.

Preference semen byla zkoumána na 12 druzích plevelných rostlin. Jako modelový organismus byl zvolen druh z čeledi střevlíkovitých *Harpalus affinis*. *Harpalus affinis* je shledáván především jako granivorní druh.

Výzkum probíhal v laboratorních podmínkách, kdy byla modelovému organismu nabídnuta semena rostlin v definovaných zónách. Vždy pouze jedna zóna obsahovala semena, zbylé zóny byly prázdné. Získané výsledky byly analyzovány třemi způsoby. Zkoumala se průměrná frekvence návštěv zóny se semeny, průměrný čas strávený v zóně se semeny a průměrná doba do první návštěvy zóny obsahující semena. Mezi časy první návštěvy zóny se semeny byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými druhy rostlin. Nejdelší dobu strávil *Harpalus affinis* v zónách, které obsahovaly semena brukvovitých a hvězdnicovitých rostlin. Ta dle předešlých výzkumů obsahují pro střevlíky přitažlivé látky. U mnoha zástupců těchto preferovaných čeledí byla pozorována vyšší frekvence návštěv a kratší čas do první návštěvy zóny se semeny. Rozdíly ve výsledcích mezi pohlavími nebyly průkazné.

Tato práce může pomoci přispět k výzkumům předchozích autorů a poskytnout tak přínosy k tématu využití střevlíkovitých v zemědělských polích a jejich chování při vyhledávání semen.

**Klíčová slova:** granivorie, Carabidae, volatilní látky, výběr potravy

## **Abstract**

One of the primary factors affecting crop yields and its quality is occurrence of weeds in arable fields. Granivorous species of ground beetles could help with weed reduction in arable fields. The aim of this work was to find out if carabid beetles reacts to the presence of seeds only by olfactory clues.

Seed preferences were investigated in 12 species of weeds. As a model organism *Harpalus affinis* was used. *Harpalus affinis* has been found primarily as a granivorous species.

The research was done in laboratory, where the seeds were offered to the model organism in delimited zones. Only one zone contained seeds, the remaining zones were empty. The results were analysed in three different ways. The average frequency of visits to the seed zones, the average time spent in the seed zones, and the average time to the first visit of the seed zones were examined. A statistically significant difference was found at the time of first visit of the zone with seed between plant species. *Harpalus affinis* spent the longest time in the zones containing the seeds of the *Brassicaceae* and *Asteraceae*. According to previous research these plants contain attractive substances for carabid beetles. For many species of these preferred families, a higher frequency of visits and time to first visit to the seed zone were observed. Differences in results between the sexes were not significant.

This work contributes to the research of previous authors related to the use of carabid beetles in agricultural fields and their seed searching behaviour.

**Key words:** granivory, Carabidae, volatile substances, food choice

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce .....	11
3. Literární rešerše .....	12
3.1 Predace semen.....	12
3.1.1 Predace semen v agrocenózách.....	14
3.2 Definice pojmu plevel.....	15
3.3 Střevlíkovití.....	16
3.4 Střevlíci jako predátoři semen.....	18
3.4.1 Adaptace ke granivorii .....	20
3.5 Testování predace semen .....	21
3.5.1 Semenné kartičky a semenné misky v polních podmínkách.....	21
3.5.2 Laboratorní testy v arénách.....	23
3.5.3 Čichové testy.....	24
3.5.4 Molekulární testy .....	24
3.6 Preference semen .....	25
3.6.1 Chemické látky v semenech.....	27
3.7 Kvapník měnivý ( <i>Harpalus affinis</i> (Schrank, 1781)) .....	27
3.8 Čichové orgány .....	28
3.9 Program Ethovision .....	30
3.10 Zkoumané plevelné rostliny.....	31
4. Metodika .....	37
4.1 Průběh výzkumu .....	37
4.2 Popis výzkumu.....	37
4.2.1 Sběr a třídění semen.....	37
4.2.2 Sběr brouků.....	37
4.2.3 Chov brouků.....	37
4.2.4 Předložení semen .....	38
4.2.5 Analýza dat .....	38
5. Výsledky .....	40
5.1 Rozdíly v reakci brouků na druhy semen.....	40
5.2 Průměrná frekvence návštěv .....	40
5.3 Průměrná doba strávená v zóně se semeny .....	41
5.4 Průměrný čas do první návštěvy .....	41
6. Diskuse.....	50



7. Závěr .....	53
Přehled literatury a použitých zdrojů .....	55
Seznam obrázků .....	60

## 1. Úvod

Výskyt plevelných rostlin v polích může zemědělcům způsobovat velké ztráty v oblasti výnosu a kvality pěstovaných potravin. V takových situacích je potřeba zajistit bezpečnost a produktivitu potravin za současného snížení použití chemických prostředků v zemědělství.

Čeď stěvlíkovitých brouků může v polích poskytovat řadu ekosystémových služeb, konkrétně se může jednat například o regulaci množství plevelů semenožravými jedinci. Existuje mnoho faktorů, které mohou ovlivnit míru predace semen. Výsledky predace se tak mohou výrazně lišit. Preference jednotlivých semen může být ovlivněna například velikostí semen, jejich tvarem, obsahem chemických a nutričních látek obsažených v semenech nebo také velikostí samotného predátora. Stěvlíkovití vyhledávají potravu pomocí orgánů čichu, které se nachází na tykadlech a na čelistních mandibulách. O vyhledávání semen granivorními brouky je však doposud zjištěno pouze málo informací.

Konzumace semen stěvlíky může výrazně ovlivnit hustotu a rozšíření určitých druhů plevelů v polích a zlepšit tak zemědělské výnosy.

## **2. Cíle práce**

Cílem této práce bylo pomocí laboratorního výzkumu přispět k pochopení preferencí semen stěvlíkovitými brouky. Jednalo se o semena rostlin, které jsou nebo mají tendenci stát se polními plevele, a snižovat tak výnosy a kvalitu rostlinné produkce. Cílem práce bylo zjistit, jak modelový organismus kvapník měnivý reaguje na přítomnost semen, a jestli je schopen semena vyhledat pouze za pomoci čichu. Předpokládali jsme, že více preferovaná semena budou semena bohatá na volatilní látky, tedy semena z čeledi brukvovitých a hvězdnicovitých rostlin.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Predace semen

Granivorie neboli semenožravost popisuje vztah mezi rostlinami a zvířaty, jež se označují jako granivoři, nebo také predátoři semen. Ti se živí převážně semeny nebo ta tvoří alespoň podstatnou část jejich potravní specializace (Hulme a Benkman, 2002). Semeno je orgán vyšších rostlin určený k rozmnožování. Jeho vznik probíhá vyvinutím z oplozeného vajíčka (Lhotská a Kropáč, 1985).

Můžeme rozlišovat mezi pre-disperzní a post-disperzní predací semen (Hulme a Benkman, 2002).

Pre-disperzní predátoři se živí semeny přímo na rodičovské rostlině, tedy ještě před tím, než jsou rozptýlena do okolí. Jedná se například o primáty nebo papoušky (Hulme a Benkman, 2002). Ovšem nejrozšířenějším typem predátorů živících se pre-disperzní predací semen je hmyz. Vajíčka hmyzu jsou kladena tak, že se jedinci v larvální fázi živí v rámci jedné tobolky. Ztráty semen se mohou lišit mezi druhy a populacemi a často jsou vyšší než 90 % (Fenner a kol. 2005). Velikost semen hraje důležitou roli, protože preference predátorů jsou často určovány jejich omezením konzumovat různé velikosti semen. Chemické složení semen je také významným faktorem, protože se tak mohou stát významným lákadlem pro larvy hmyzu. Stejně tak larvy preferují semena se značným podílem živin (Ramírez a Traveset, 2010).

Post-disperzní predace znamená rozptýlení semen po jejich uvolnění z mateřské rostliny (Hulme a Benkman, 2002). Tento typ lze pozorovat například u savců, jako jsou prasata, u ptáků, hmyzu nebo také u ryb. Pravděpodobnost nalezení rozptýlených semen je ovlivněno mnoha faktory, například jak hluboko je semeno v půdě uloženo nebo jak daleko je rozptýleno od mateřské rostliny. Velikost semen také hraje zásadní roli, jelikož u semen menších rozměrů se předpokládá jejich hlubší uložení v půdě (Fenner a kol. 2005). Je prokázáno, že čeled' střevlíkovitých konzumuje u podobných druhů semen především čerstvá semena, až poté následují semena uložená v půdě. Naopak u kvapníka měnivého byla pozorována preference semen uchovaných v půdě (Saska a kol. 2019). Morfologie semen, jako je jejich velikost a tvar, může významně ovlivnit predaci (Szentesi a Jermy, 1995).

Dle studií se prokázalo, že granivorie má značný dopad na populace semen a hraje klíčovou roli v regeneraci, kolonizaci a prostorovém rozložení rostlin (Hulme a

Benkman, 2002). U různých granivorních druhů můžeme pozorovat určité shodné či odlišné způsoby a vlastnosti při vyhledávání potravy. Pro příklad lze uvést porovnání mezi hlodavci, ptáky a mravenci. Hlodavci a ptáci jsou tělesně podobně velcí a jsou schopni přijímat semena značných rozměrů nebo rovnou celé shluky semen. Odlišují se v tom, že hlodavci jsou noční predátoři semen, jenž semena v půdě lokalizují pomocí čichových a hmatových receptorů a uchovávají si jejich značné zásoby. Oproti tomu ptáci jsou denní živočichové, kteří vyhledávají potravu zrakem a neskladují si zásoby potravy. Mravenci jsou v určitých ohledech podobní hlodavcům, liší se však v jejich denním režimu života a schopnosti sbírat pouze velmi malá a nikoli hluboce uložená semena (Brown a Ojeda, 1987).

Predátor semen je živočich, který se živí semeny, dochází tak k zániku semene a za svůj život zkonsumuje více semen. Tento termín je často zaměňován s disperzí semen. Disperze semen znamená rozptýl nebo přenos semen od mateřské rostliny (Howe a Smallwood, 1982). Predace je tak důležitým faktorem zániku semen během disperze (Honek a kol. 2013). Disperze může probíhat různými způsoby. Mezi ně se řadí přenos pomocí větru, vody nebo zvířaty, především rybami, plazy, ptáky a savci. Člověk je také významným vektorem disperze semen, a to od té doby, co začala mít lidská práce významný dopad na krajinu. Existuje mnoho podtypů disperze semen, mezi ně patří například myrmekochorie, která označuje přenos semen mravenci. Jedná se především o semena, která mají olejovitý přívěsek nazývaný elaiozóm, česky masíčko. Semeno je díky tomu pro mravence přitažlivější, protože jim elaiozóm poskytuje potravu. Elaiozóm je mravenci sněden, zatímco semeno je přenášeno do okolí (Fenner a kol. 2005).

Honek a kol. (2013) uvádějí, že se semeno po rozptýlení dostává do půdní zásoby, kde může přetrvávat po mnoho let. Množství semen uschovaných v půdě je ovlivněno mnoha faktory, jedním z nich je také působení patogenů. Uvádí se, že chemická a fyzická obrana semen proti predátorům může být účinná i proti působení patogenů. Například tvrdé stěny endospermu plevelů mračňáku Theophrastova a merlíku bílého jsou účinné nejen proti predátorům, ale také jako obrana proti pronikání hub do semen (Dalling a kol. 2011).

### 3.1.1 Predace semen v agrocenózách

Plevelé představují pro zemědělce hlavní důvod snižování výnosu a kvality produkce (Jonason a kol. 2013), produkce plodin je tak do značné míry závislá na využití herbicidů. To vyžaduje potřebu zajistit do budoucnosti bezpečnost pěstovaných potravin. Jednou z možností, na niž by měl být kladen důraz, je dosáhnout vyšší produktivity plodin při současném snížení využití chemických prostředků v zemědělství (Bohan a kol. 2011).

Účinkem herbicidních přípravků je biochemické nebo biofyzikální poškození zacílené na plevelné rostliny. Mezi výhody užití herbicidů patří kontrola plevelů v řadách plodin a snižuje potřebu zpracování půdy, která přispívá k erozi půdy. Za nevýhody lze považovat cenu přípravků, případnou otravu necílových živočichů nebo jejich přetrvávání v prostředí. Tímto způsobem může být herbicid přenesen z jedné zemědělské sezóny do další a poškodit tak další plodiny. Účinnost herbicidů se často jeví jako nekonzistentní, protože jsou ovlivněny podmínkami okolního prostředí a výsledky jejich použití nejsou vždy jasně předvídatelné (Zimdahl, 2018). Zavedení herbicidů tak má za následek pokles problémů s pleveli, ale jejich užívání může mít negativní účinky na lidské zdraví a životní prostředí (Jonason a kol. 2013). V neposlední řadě se mnoho plevelných rostlin stává rezistentními vůči herbicidům. Pro zavedení alternativy k hubení plevelů, která bude šetrná k životnímu prostředí, musíme najít takovou metodu, která bude fungovat dostatečně dobře, aby mohla plně nahradit chemické přípravky (Bohan a kol. 2011). Aby byla šetrná varianta místo užívání pesticidů zemědělci přijata, je potřeba prokázat její naprostou stabilitu, intenzitu a odolnost (Petit a kol. 2014).

Čeled' střevlíkovitých může v ekosystémech poskytovat určité prospěšné služby nazývané ekosystémové služby. Jedná se například o regulaci množství plevelů pomocí predace semen. Dají se tak považovat za významné činitele biologické regulace. Jejich preference semen může ovlivňovat mnoho faktorů, například velikost semen či velikost samotného predátora (Petit a kol. 2014, Honěk a kol. 2006). Predátoři semen mají v zemědělství nepopíratelný význam. Míry predace často přesahují 90 % semen dostupných v půdě (Dalling a kol. 2011). Dle jiných šetření by ke zpomalení nebo zastavení růstu plevelů stačila predace semen v míře 25 až 50 % (Firbank a Watkinson, 1986).

Faktorem, jež může zabránit post-disperzní predaci semen, je jejich uložení pod povrchem půdy, což může být způsobeno zpracováním půdy nebo změnou jejich fyzikálních vlastností. Například druhy *Amara aenea* a *Anisodactylus sanctaecrucis* nebyly schopny vyhledat pod povrchem uložená semena (Kulkarni a kol. 2015). Tato schopnost se snižovala se zvyšující se hloubkou jejich uložení. Naopak u *Harpalus pensylvanicus* nehraje hloubka umístění semen žádnou roli. Při experimentu s využitím několika druhů střevlíkovitých byl *H. pensylvanicus* hlavním konzumentem 12 druhů semen plevelných rostlin. U rodů *Amara* a *Harpalus* bylo prokázáno, že jedinci příslušící do těchto rodů mohou přispět více než 70 % ke spotřebě plevelných semen (Kulkarni a kol. 2015).

Dle Kulkarni a kol. (2015) byla vyšší míra odstranění semen pozorována v polích s rovnoměrným rozmístěním semen. Pokud byla potrava distribuována nerovnoměrně a ve vysokých hustotách, nebyl výsledek predace natolik pozitivní. Výskyt velkého množství semen na malém prostoru může vést k rychlému nasycení predátorů a snížit tak efektivitu biologické kontroly.

Predace semen semenožravými brouky se ukázala jako jedna z možných biologických metod. Jejím užitím lze přispět ke snížení naší závislosti na mechanických a chemických způsobech hubení plevelů (White a kol. 2007).

### **3.2 Definice pojmu plevel**

Jako plevel označujeme rostlinu, která roste na stanovišti bez záměru pěstitele. Avšak plevelné rostliny nelze posoudit jednoznačně jako škodlivé či prospěšné. V jedné oblasti může být plevel shledán jako prospěšná rostlina, v jiné oblasti může být považován za škůdce (Huffaker, 1957). Jako škodlivá rostlina může být považován například v oblasti zemědělství, kde se jedná o rostlinu bylinného typu, které si neceníme pro její využití či okrasu, a která roste planě a může omezovat v růstu okolní vegetaci (Zimdahl, 2018). Polní plevel je tedy rostlina, jež se přizpůsobila okolnostem způsobovaným opakovanou kultivací půdy. V České republice v současné době rozeznáváme přibližně 250 druhů těchto rostlin, které se díky své odolnosti staly velkým problémem v zemědělství. Nejčastější potíže způsobují snížením výnosu polních plodin, kterým tak ubírají světlo, prostor k růstu, vodu a živiny. Dále plevele mohou způsobovat nižší kvalitu rostlinné produkce tím, že jsou potřeba vyšší náklady využití na dosušení a čištění plodin. Jedovaté látky obsažené v určitých druzích

plevelů mohou závažně ohrozit zdraví hospodářských zvířat a člověka. Jako příklad lze uvést bolehlav plamatý, který může být obsažen jako nečistota v kmínu. Intenzita zaplevelení je dána především množstvím semen v půdní zásobě semen. Pro regulaci plevelů je základním principem správně identifikovat druh plevelu a podle zjištění určit přesné regulační zákroky (Winkler, 2013).

### 3.3 Střevlíkovití

Střevlíkovití jsou čeleď brouků, čítající více než 40 000 popsaných druhů, zařazených do asi 86 tribů (Lövei a Sunderland, 1996). V České republice je známo 504 druhů střevlíkovitých (Boháč, 2005). Od svého vzniku v třetihorách obývají všechna stanoviště včetně pouští, kde je jejich pohyb omezen pouze na oblasti potoků a oáz (Lövei a Sunderland, 1996). Výskyt některých druhů je určen konkrétními podmínkami, jakými jsou vlhkost, teplota nebo stinná místa. Lokální hojnost zástupců může být dále ovlivněna kvalitou a hojností potravy, okolní vegetace odráží strukturu stanoviště (Koivula, 2011). V zimním období střevlíkovití nevykazují téměř žádnou aktivitu. Druhy, které obývají agro-ekosystémy, tráví chladná období v půdě nebo se přesouvají do okolních biotopů (Ploomi a kol. 2012).

Většina druhů jsou oligofágní nebo polyfágní, konzumující různé bezobratlé živočichy, rostlinný materiál nebo semena (Lövei a McCambridge, 2002). Střevlíkovití byli dle svých potravních zvyků rozděleni do základních skupin: všežravé, masožravé a granivorní, tedy konzumující semena. Všežravé druhy, jejichž larvy se živí semeny a dospělí zástupci jsou draví jedinci se silnými mandibulami. Masožravé druhy upřednostňují jak v larválním stádiu, tak i v dospělosti živočišnou stravu. Nakonec dělení zmiňuje druhy preferující semena, jež charakterizuje zvětšená hlava a krátké mandibuly (Talarico a kol. 2016). Dle konkrétních provedených výzkumů bylo ze zkoumané skupiny 362 druhů 27 % určeno jako predátoři živočichů, 13 % všežravců a 24 % býložravců. U zbylých 36 % nebyla potravní specializace blíže určena (Lövei a Sunderland, 1996). Můžeme rozeznávat i potravní specialisty, například mnozí zástupci rodu *Carabus* jsou zaměřeni na konzumaci žížal nebo rod *Calosoma* je vázaný na housenky motýlů (Hůrka, 1996). Denní spotřeba potravy se obecně pohybuje blízko jejich vlastní tělesné hmotnosti. Díky stravě si vytvářejí tukové zásoby, které jsou důležité pro rozmnožování a hibernaci (Lövei a Sunderland, 1996).



Střevlíci živíci se predací jsou význační štíhlými a dlouhými kusadly, u fytofágních druhů je lze shledat kratší a více robustní (Hůrka, 1996).

Měkké a tenké krovky mají převážně černé až tmavě hnědé zbarvení. Může se vyskytovat měděný nebo kovový lesk (Hůrka, 1996). Dlouhé a štíhlé nohy jsou vhodně přizpůsobeny k rychlému pohybu, lezení i pohybu ve vodě (Lövei a Sunderland, 1996). Může se tak jednat o nohy běhavé, případně uzpůsobené na hrabavé či kráčivé (Hůrka, 1996).

Životní cyklus představuje přeměnu dokonalou. Některé druhy kladou vajíčka do štěrbin v půdě nebo do půdy po její úpravě a zpracování. Vývoj z vajíčka na dospělého jedince probíhá za méně než jeden rok, za svůj život se často rozmnožují jednou a následně hynou. Plodnost u samic, které svá vajíčka střeží, se pohybuje v rozmezí od pěti do deseti kusů vajíček. U samic, jež vaječnou snůšku nechrání, se může jednat až o několik stovek vajíček (Lövei a Sunderland, 1996). Ta mají obvykle cylindrický nebo oválný tvar. Druhy rodu *Carabus*, ale také Harpalini a Zabřini kladou vajíčka velkých rozměrů, zatímco zástupci rodu *Cymindis* kladou vajíčka malá (Hůrka, 1996).

Střevlíkovití jsou citliví na abiotické podmínky způsobené člověkem, jako je například používání pesticidů v zemědělství nebo kontaminace půdy těžkými kovy. Mohou tak odrážet ekologickou udržitelnost a stabilitu ekologických systémů (Koivula, 2011). Díky rozšíření střevlíkovitých ve všech typech suchozemských prostředí (Ghannem a kol. 2017), a díky citlivosti na působení antropogenní činnosti, mezi níž řadíme urbanizaci, obhospodařování plodin a lesů, znečištění půdy, vliv turistů nebo také pasení domácích hospodářských zvířat, jsou střevlíci vhodným druhem užívaným jako bioindikátory životního prostředí (Avgin a Luff, 2010). Změny životního prostředí se na sledovaném druhu mohou reflektovat jako změny fyziologické, nebo změny v rozmanitosti a hojnosti daného druhu. Například přímý toxický účinek vysoké hladiny mědi působící na larvy, může mít vliv na lokomotorické chování dospělých jedinců. U různých druhů střevlíků můžeme s nárůstem znečištění sledovat zvýšený stupeň polymorfismu (Ghannem a kol. 2017). V rámci výzkumů jsou tak často využívány jako modelové organismy agroekologických studií (Koivula, 2011).

Kulkarni a kol. (2015) tvrdí, že mezi hlavní faktory ovlivňující úmrtnost střevlíků patří jejich přirození nepřátelé a environmentální abiotické faktory. Mezi přirozené nepřátele řadíme především hlodavce, ještěrky, obojživelníky, hospodářské a noční ptáky, například sovy. Mravenci si se střevlíkovitými také mohou konkurovat, co se týče stanovišť. Významnost střevlíků je značná z hlediska predace na ostatních bezobratlých, především pak kmenů měkkýšů a členovců. V prostředí přirozených společenstev jsou důležití pro udržení rovnováhy koloběhu látek a energie (Hůrka, 1996).

### **3.4 Střevlíci jako predátoři semen**

Kromě obratlovců, například ptáků a hlodavců, nebo dalších bezobratlých, jako jsou mravenci, slimáci nebo cvrčci, představují střevlíkovití brouci dominantní skupinu zástupců v oblasti predátorů semen v polích (Saska a kol. 2019). V mírném pásu jsou považováni za pravděpodobně nejvýznamnější predátory semen (Talarico a kol. 2016). Touto vlastností mohou výrazně přispět k regulaci plevelů (Petit a kol. 2014).

Množství semen zkonsumovaných střevlíky na poli tak může mít značný dopad na zemědělství (Kotze a kol. 2011). Mnohé druhy přijímají celou řadu rostlinné potravy, včetně listů zelených rostlin a jejich plodů, ale také pylu a hub. Ovšem semenožravost je rozšířenější způsob než konzumace měkkých částí rostlin (Honěk a Martinková, 2001). Ve srovnání s jinými rostlinnými tkáněmi jsou semena zdrojem potravy, která je nesmírně bohatá na mnoho živin důležitých pro vývoj a reprodukci konzumentů (Wallinger a kol. 2015). Oproti jiným rostlinným tkáním obsahují relativně málo vody, živiny jsou tak koncentrovány v semenných tkáních. Ovšem i na bázi suché hmotnosti semena disponují vyšším energetickým obsahem než kořeny, listy a stonky, jelikož obsahují vyšší množství sacharidů (Hulme a Benkman, 2002).

Jednotlivé druhy brouků preferují určitá semena. Ta jsou při pokusech v laboratoři, kdy jsou hladovějící brouci udržováni několik dní bez stravy, zkonsumována okamžitě jako první. Zbylá semena mohou být také snědena, ale brouci je jedí neochotně a trvá to déle (Honek a kol. 2013). Dle výzkumů si mnoho druhů střevlíků ukládá semena do podzemních skrýší, kdy jsou z těchto zásob danou dobu schopni žít (Talarico a kol. 2016).

Konzumace velkého množství semen může výrazně ovlivnit hustotu a rozšíření druhů plevelů (Lundgren, 2005). Jaké množství semen jsou schopni střevlíkovití zkonsumovat, bylo zjišťováno formou vystavení semen, z čehož se odhaduje, jaké množství semen v polích může být zkonsumováno. Míra závisí na druhu hmyzu, na jejich hustotě výskytu, typu rostliny nebo také sezónnosti. Množství spotřeby se tak může pohybovat v rozpětí 200 až 1 000 zkonsumovaných semen na 1 m<sup>2</sup> za den. U zástupců kvapníka měnivého a kvapníka plstnatého se ukázalo, že zástupci těchto druhů jsou schopni v počtu 10 jedinců zkonsumovat až 120 semen pcháče rolního v časovém rozmezí pěti dní (Martinková a kol. 2006).

Je důležité rozeznávat dvě kategorie fytofágních brouků. Ty, kteří jsou obvykle masožraví, ale doplňují svou stravu vegetativními částmi rostlin, a ty, kteří konzumují převážně semena (Jørgensen a Toft, 1997). Semena jsou schopni konzumovat jak dospělci, tak i larvy (Honěk a Martinková, 2001). Střevlíkovití z tribů Zabriní a Harpaliní jsou považováni za semenožravé (Jarošík, 2000), ale konzumují i živočišnou stravu. Dle výzkumů se uvádí, že *Harpalus affinis* je hlavně býložravý, ačkoli by konzumoval také živočišnou kořist (Hagley a kol. 1982). Vliv semen na výskyt brouků byl odvozen ze vztahu mezi přítomností semen na povrchu půdy a jejich hojností (Jarošík, 2000). Dle výzkumů Honka a Martinkové (2001) se dá semenožravost střevlíkovitých považovat za pozitivní, protože nejvíce konzumovaná semena jsou semena rostlin, které se mohou stát plevelem zemědělských rostlin.

Honek a kol. (2007) zkoumali potravní preference střevlíků jako predátorů semen. Pro svůj výzkum použili 30 druhů střevlíkovitých granivorních brouků. K experimentu bylo využito 28 druhů rostlin. Počet poskytnutých semen se lišil. Pro malá semena byl počet určen na 30 kusů, u větších semen se jednalo o 15 kusů. Byl zaznamenán vztah mezi průměrnou hmotností preferovaného druhu semene a tělesnou hmotností střevlíka, bez rozdílu, zda se jednalo o tribus Harpaliní nebo Zabriní. Velcí jedinci obou tribů dávali přednost výrazně těžším semenům než menší druhy. Na základě výsledků bylo možné rozdělit druhy sledovaných střevlíků do tří skupin, dle preferencí semen. První skupina dávala přednost semenům pcháče rolního, violky rolní a čekanky obecné. Tato skupina zahrnuje více než polovinu druhů z tribů Harpaliní a *Amara aulica* z tribu Zabriní. Do druhé skupiny byly zařazeny pouze druhy tribu Zabriní, kteří upřednostňovali semena pampelišky lékařské, heřmánkovce nevonného a škardy dvouleté. Poslední skupina se vyznačuje

preferenci malých semen brukvovitých rostlin, tedy kokošky pastuší tobolky, úhorníku mnohodílného a řeřichy rumní. Dále byly pozorovány preference semen hvozdíkovitých, konkrétně ptačince prostředního a písečnice douškolisté. Patří sem malé druhy rodu *Amara* a Harpalini, například *Parophonus maculicornis*, *Acupalpus meridianus* a *Stenolophus teutonius*. U tří zástupců hmyz nebyla pozorována výjimečná preference semen. Druh *Anisodactylus signatus* tribu Harpalini je považován za potravního generalistu, neprokázal se žádný bližší vztah k semenům. *Amara spreta* a *Amara eurynota* tribu Zabřini preferovali výše zmíněnou druhou a třetí skupinu semen. Rozdíly zjištěných výsledků mezi druhy Harpalini a Zabřini ukázaly, že taxonomická příslušnost je důležitým faktorem určujícím rozsah preferovaných druhů semen a jejich velikosti. Důležitá je také velikost těla predátora a semene, pravděpodobně kvůli problémům spojeným s manipulací semen různých velikostí. Druhy Harpalini byly méně specializované, protože přijímaly širokou škálu druhů semen a jejich preference byly více ovlivněny velikostí semen. Druhy velkých a středně velkých tělesných rozměrů upřednostňovaly semena pcháče rolního a violky rolní, která jsou pro tuto velikostní skupinu typická, ale byla odmítnuta druhy Zabřini, ovšem s výjimkou *Amara aulica* (Honek a kol. 2007).

### 3.4.1 Adaptace ke granivorii

Potravní specializace střevlíků na semena rostlin si vyžádala určité změny v jejich vývoji. Granivorní druhy podstoupily vývoj fyziologických, behaviorálních a morfologických adaptací, které jsou spojeny s hledáním, drcením a trávením potravy (Kotze a kol. 2011).

Fyziologické změny mohou být spojeny se snadnějším trávením semen za pomoci endosymbiontů (Kotze a kol. 2011).

Změny chování zahrnují například lezení po rostlinách za účelem hledání potravy nebo uchovávání si potravy v podzemních skrýších (Kotze a kol. 2011). U jedinců *Amara gigantea* bylo pozorováno šplhání především po rostlinách japonského chmele. V porovnání dle pohlaví bylo lezení po rostlině za účelem hledání potravy pozorováno více u samic než u samečů (Kulkarni a kol. 2015).

Morfologické adaptace lze pozorovat například u larev rodu *Amara*, které mohou tvrdá semena rozdrtit díky širokým mandibulám trojúhelníkovitého tvaru.

Larvám rodu *Harpalus* se vyvinuly silné mandibuly, dospělí jedinci stejného druhu je mají později dostatečně vyvinuté a široké (Kulkarni a kol. 2015). Ve srovnání s masožravými druhy dospělých jedinců, jsou mandibuly granivorních tribů Zabrinini a Harpalini krátké, silné a s tupými špičkami. Tato konstrukce broukům umožňuje vypořádat se s relativně tvrdým osemením, a popřípadě se suchým a tvrdým endospermem (Jørgensen a Toft, 1997).

### **3.5 Testování predace semen**

Existuje mnoho způsobů, pomocí nichž lze testovat predaci semen hmyzem. Můžeme je provádět rovnou v polních podmínkách, v laboratořích nebo v poloprovozních podmínkách (mesokosmech). Mezi laboratorní metody řadíme testy v arénách nebo čichové testy, prováděné pomocí olfaktometru. V polních podmínkách lze uskutečnit testy s využitím tzv. semenných kartiček a semenných misek, do nichž se umístí pro hmyz volně přístupná semena.

#### **3.5.1 Semenné kartičky a semenné misky v polních podmínkách**

Tato metoda hodnotí predaci semen monitorováním náhodně rozptýlených semen připevněných na semenných kartičkách, tzv. „seed cards“ (Westerman a kol. 2003). Tyto karty jsou vyrobeny z kvalitního brusného papíru s nanesenou vrstvou lepidla. Lepidlo zajistí, že semena zůstanou na kartách za normálních povětrnostních podmínek uchycena, zatímco predátoři jsou schopni semena odstraňovat. Zbývající lepidlo je pokryto vrstvou jemného písku. Tím se zabrání přichycení zkoumaných organismů k lepidlu. Karty jsou k zemi připevněny hřebíkem. Během výzkumů, které využívaly tuto metodu hodnocení, se nevyskytly žádné důkazy o pozměnění přirozeného chování predátora. Ačkoli menší druhy brouků mohou mít potíže s uvolněním semene z karty, na výsledku se tato obtíž výrazněji neprojeví. Predátoři velkých tělesných parametrů semena uvolňují bez potíží (Westerman a kol. 2003).

Během pokusů v polích mohou být semena také umístěna v miskách, které umožňují přístup hmyzu (Honek a kol. 2013).

Měření aktivity a hustoty střevlíků v okolí těchto nádob je možné provádět pomocí zemních pastí. Ty jsou tvořeny nádobami zahluobenými v úrovni půdy a umístěnými v těsné blízkosti semen. Zemní pasti neposkytují žádnou návnadu pro hmyz, pouze mohou obsahovat malé množství půdy pro případné uvězněné jedince.

Nádoby jsou v určitých intervalech kontrolovány, okamžitě se určí jejich počet, zástupci se přiřadí k jednotlivým druhům a jsou následně propuštěni (Honek a kol. 2013).

Petit a kol. (2014) provedli polní studii, v níž zkoumali predaci semen pěti druhů plevelů a také laboratorní výzkum, v němž využili 10 druhů. Predace semen v polních podmínkách byla zkoumána ve 12 označených pozemcích o rozměrech 2 m x 3 m. K měření predace byly využity semenné kartičky, které byly vyrobeny ze smírkového papíru potřísněného lepidlem. Pomocí něj bylo na kartičku umístěno 20 semen od každého z pěti druhů plevelů. Do rohu každého pozemku byla umístěna vždy jedna kartička. Takto připravené oblasti byly vystaveny hmyzu po dobu sedmi dní. Konkrétně se jednalo o semena rostlin kokošky pastuší tobolky, violky rolní, psárky rolní, rozrazilu břechťanolistého a svízele přítuly. Pro laboratorní výzkum byli jedinci hmyzu drženi 3-5 dní v podmínkách za tmy, při 5 °C. Byli na stejné úrovni vyhladovění. Petriho misky větších rozměrů byly naplněny vlhkou půdou, která byla zbavena jakýchkoli částic semenného nebo živočišného původu. Půda tak nemohla poskytnout hmyzu jiný zdroj potravy. Semena plevelných rostlin byla prezentována v malých mističkách vyplněných bílou plastelínou. Mističky byly umístěny při vnějším okraji Petriho misky. Jednalo se o semena violky rolní, kokošky pastuší tobolky, pampelišky lékařské, starčku obecného, pcháče rolního, psárky rolní, opletky obecné, rozrazilu břechťanolistého, svízele přítuly a zeměděmu lékařského. Testy byly prováděny s využitím pěti nejčastěji se vyskytujících druhů semenožravých střevlíků, konkrétně *Pterostichus melanarius*, *Poecilus cupreus*, *Pseudoophonus rufipes*, *Harpalus affinis* a *Amara consularis*. Spotřeba semen u jednotlivých druhů se lišila. Nejvíce preferovaná semena byla semena pampelišky lékařské, violky rolní, kokošky pastuší tobolky, pcháče rolního a starčku obecného. Semena zbylých druhů rostlin byla konzumována zřídka, obvykle méně jak jedno semeno za den. Laboratorní výzkumy preferencí semen odhalily, že ne všechna semena různých druhů plevelů jsou střevlíky stejně konzumována. Hodnocení spotřeby semen v laboratoři odpovídalo terénním pozorováním v poli. Nejvíce preferovaná semena v polích i v laboratoři byla semena violky rolní a kokošky pastuší tobolky.

### 3.5.2 Laboratorní testy v arénách

K testování preferencí dochází za standardizovaných podmínek v laboratořích, kde jsou broukům nabídnuta předem sesbíraná a standardizovaná semena. Semena se hmyzu vystavují především v Petriho miskách. Vlhkost v Petriho miskách zvyšuje čichové schopnosti hmyzu. Důležité je stanovit, aby přibližně dva dny před plánovaným pokusem byl modelovým organismům odepřen přístup k potravě. Opět se jedná o nastolení standardizovaných podmínek. Uchovávání jsou v chladném prostředí, přibližně při 5 až 7 stupních Celsia. Konkrétní způsoby průběhu a vyhodnocení výzkumu se mohou lišit. Může se jednat o pokusy, kdy je hmyzu podáno více druhů semen, a z výsledků se poté vyhodnotí preference hmyzu (Honek a kol. 2013). Jedná se o takzvaný multiple choice test. Existují i experimenty nezahrnující volbu semen, tzv. no choice test. V takovém případě je hmyzu podán pouze jeden druh potravy a je tak určována preference na základě spotřeby konkrétního semena. Tato metoda ovšem představuje zjednodušenou situaci polních podmínek, kdy je za normálních okolností k dispozici více druhů semen (Saska a kol. 2019).

Honek a kol. (2013) použili pro svůj výzkum semena 65 druhů plevelných rostlin. Semena byla vystavena hmyzu v plechových mističkách vyplněných bílou plastelínou. Počet semen závisel na jejich velikosti, pro malá byla počet určen na 30 kusů, pro velká 15 kusů. Misky byly zahlobeny okrajem do úrovně hlíny, po níž hmyz mohl chodit. Po vystavení semen střevlíkům bylo spočítáno, kolik semen bylo zkonzumováno. Semena, z nichž ubylo alespoň 50 %, byla považována za zkonzumovaná. Dospělí jedinci byli drženi v chladu a bez přísunu potravy, z důvodu standardizace. Každý jedinec byl použit pouze jednou, aby se zabránilo zkresleným výsledkům. Teplota při výzkumu se pohybovala mezi 25-27 °C, fotoperioda byla přirozená, oblast byla pouze stíněna před přímým slunečním světlem. Pro bezvýběrový experiment byl do každé sledované arény umístěn podnos se semeny kokošky pastuší tobolky a pcháče rolního. V každé aréně se nacházel jeden brouk, který byl sledován po dobu tří dnů, kdy byla zkonzumovaná semena průběžně doplňována. Celkem tak bylo zkoumáno 23 druhů střevlíků hojně se vyskytujících v polích. Výběrový experiment byl proveden za stejných podmínek, ovšem zahrnoval pouze dva modelové organismy, konkrétně *Pseudoophonus rufipes* a *Harpalus affinis*. Testováno bylo 64 druhů semen.

V laboratorních podmínkách lze využít i tzv. mesokosmy. Mesokosmy jsou tvořeny z plastových nádob kulatého nebo hranatého tvaru. Nádobu lze například naplnit vrstvou půdy, do níž lze zahloubit zemní past. Během doby určené na aklimatizaci hmyzu jsou pasti utěsněny víkem. Až po uplynutí této doby je možné víko odstranit, a v nijak nerušených mesokosmech je následně možné zaznamenávat pohyby brouků a jejich počet odchycených kusů v pasti (Esch a kol. 2008).

### **3.5.3 Čichové testy**

Ke zkoumání, zda čichové stopy spojené s určitými semeny hrají roli při hledání potravy, se využívá čichových biotestů. Tyto biologické laboratorní testy jsou prováděny pomocí přístroje nazývaného olfaktometr (Kulkarni a kol. 2017). Ten je složen z přístupové cesty a jednotlivých komor, z nichž jedna obsahuje zředěný vzorek pachu a další čistý vzduch bez zápachu (Dravnieks a Prokop, 1975). Jednotliví zástupci střevlíkovitých jsou vpuštěni vstupním adaptérem přístroje, který je určený pro hmyz. Posléze je hmyzu umožněno se v určitém čase orientovat v prostoru a vybrat preferovanou komoru se zdrojem zápachu. Po dokončení určitého počtu pokusů je vhodné vyměnit polohy jednotlivých komor. Zamezí se tak zkreslení vyplývajícího z orientace přístroje. Komory obsahující zdroj zápachu je možné vypláchnout ethanolem a mezi jednotlivými cykly vysušit. Minimalizují se tím účinky zbytkových pachů. K vyvolání simulace nočních podmínek v terénu se tyto čichové testy provádí za přítomnosti červeného světla (Kulkarni a kol. 2017).

### **3.5.4 Molekulární testy**

Molekulární testy se zakládají na polymerázové řetězové reakci, zkráceně PCR, které detekují zbytky kořisti ve střevech nebo zažívacích systémech predátorů (King a kol. 2008). Tyto testy se tak staly důležitou metodou ve studiu interakcí krmení živočichů v přírodních podmínkách. Lze je využít ve vodních i suchozemských podmínkách, protože umožňují vyhodnotit potravu s vysokou citlivostí a přesností. Důležitými faktory ovlivňující správné vyhodnocení vzorků tak mohou být druh predátora, množství požití potravy nebo i faktory prostředí, jako je teplota prostředí (Sint a kol. 2011). Odchyt predátora v přirozených polních podmínkách probíhá pomocí zemních pastí. U takového jedince již očekáváme nasycení kořisti (King a kol. 2008). Následně dochází k odebírání vzorků tzv. regurgitátů, u nichž se provádí analýza DNA potravy. V laboratorních podmínkách je důležitá standardizace



podmínek, tedy ponechat studované organismy bez přísunu potravy, aby byli na stejné úrovni vyhladovění. Poté se jim podává stejné množství potravy, za stejných podmínek. Pro denní živočichy za přístupu světla, pro noční živočichy je možné podávat potravu za tmy. Poté opět dochází k extrakci DNA, z níž se pomocí laboratorních testů určuje zbytek potravy (Sint a kol. 2011).

### **3.6 Preference semen**

Brouci čeledi střevlíkovitých mohou vykazovat specifické preference semen určitých druhů plevelů (Kulkarni a kol. 2015). Je pravděpodobné, že přítomnost specializace hmyzu na určitá semena snižuje konkurenci v potravě a umožňuje tak soužití více druhů hmyzu ve stejném prostředí (Kotze a kol. 2011).

Takové preference jsou dány především druhem hmyzu a charakteristikou daného druhu semen. Konkrétní spotřeba semen plevelů je pak určena velikostí predátora a velikostí konzumovaného semena. Dle provedených výzkumů je například známo, že střevlíci větších tělesných rozměrů upřednostňují větší semena pampelišky lékařské, zatímco menší jedinci se živí semeny pampelišky výrazně menších velikostí (Kulkarni a kol. 2015). Větší brouci jsou navíc schopni zkonzumovat mnohem rozsáhlejší množství potravy. V porovnání střevlíků malých, velkých a středních tělesných velikostí, malí a velcí jedinci konzumují menší množství semen než středně velcí střevlíci. Také oproti nim upřednostňují méně druhů semen. Menší jedinci jsou schopni lépe uchopit a rozdrtit malá semena, zatímco velcí zástupci nedokáží menší semena držet. Druhy středních tělesných velikostí jsou schopny pojmout jak velká, tak i malá semena, což může vést k nižším nárokům na druh semen a k jejich vyšší spotřebě (Saska a kol. 2019). Je také prokázáno, že druhy tribu Harpalini jsou v potravě semen méně specializovaní než Zabřini (Kotze a kol. 2011).

Dále může být preference semen závislá na ročním období, a to z důvodu přirozených fenologických změn. Jedná se například o změnu v životním cyklu, ze stádia klidu ve stádium rozmnožování nebo o období vyhledávání vhodných míst k přezimování (Kotze a kol. 2011).

Jistou roli dle výzkumů může hrát i původ semen. Během pokusu, v němž byli zkoumaným organismem střevlíci posbíraní na území České republiky, jim byla nabídnuta semena stejných druhů rostlin, ovšem českého a italského původu.

Z dosažených výsledků se prokázalo, že více preferovaná semena pocházela z České republiky (Honek a kol. 2011)

Jak tvrdí Lundgren a Rosentrater (2007), preference semen granivorním hmyzem jsou ovlivněny chemickým složením semen, vnější strukturou a jejich nutriční kvalitou. Mezi způsoby obrany semen patří například strukturální síla endospermu, semenného obalu i embrya. Tyto vlastnosti určují, která semena jsou preferována semenožravými ptáky, hlodavci nebo hmyzem. Vlivem jejich vysoké nutriční hodnoty jsou semena často více chráněna před býložravci než jiné rostlinné části. Pokud semena postrádají fyzickou obranu proti škůdcům, může být zvýšená jejich závislost na chemické obraně. Naopak semena, jež jsou dobře chráněna fyzicky, mohou vykazovat absenci chemické obrany. V semenech lze nalézt široké spektrum toxinů a látek, které například při poškození uvolňují kyanid, které snižují absorpci živin nebo takové, které narušují syntézu proteinů (Hulme a Benkman, 2002).

Granivorní jedinci upřednostňují potravu i dle tvaru semen, tloušťky endospermu a obsahu živin. Například pro rod *Notiobia*, který obývá tropické lesy, jsou velikost a tvar čelistních mandibul určujícím faktorem ve výběru potravy (Kotze a kol. 2011).

Podle provedených výzkumů hraje roli i taxonomická příslušnost druhu. Výzkumy, ale i přímá pozorování v polích prokázaly, že určité druhy mají přirozenou přitažlivost k jejich potravě. Například většina jedinců ze skupiny Ditomina a rodu *Ophonus* je přitahována rostlinami z čeledi miříkovitých, zatímco u rodu *Harpalus* tato preference prokázána nebyla. U podrodu *Zezea* je spojitost s čeledí rostlin lipnicovitých. Během experimentů nabízejících výběr z více semen, příslušníci tribu Zabriní dávají přednost semenům pampelišky, tribus Harpalini upřednostňuje rostliny pcháče a violky (Kotze a kol. 2011).

Dalším faktorem ovlivňujícím spotřebu daných semen jsou klimatické změny. Jsou známy změny ve spotřebě semen v závislosti na teplotě, vlhkosti, srážkách nebo rychlosti větru. Například u druhů *Harpalus affinis* a *Pseudoophonus rufipes* se projevila zvýšená konzumace semen v souvislosti se zvyšující se teplotou. Srážky a vlhkost mohou hrát roli během reprodukčního stádia nebo při vývoji larev. Proto i tyto faktory mohou mít značný dopad na množství potravy (Kulkarni a kol. 2015).

### 3.6.1 Chemické látky v semenech

Chemické látky nacházející se v semenech plevelů byly doposud málo zkoumané, ať už z kvantitativního, tak i z kvalitativního hlediska. V semenech krytosemenných rostlin lze nalézt především tři kategorie hlavních chemických látek. Zaprvé se jedná o mastné kyseliny ve formě triacylglycerolů, zkráceně TAG. Mezi nejčastěji se vyskytující mastné kyseliny patří nasycené mastné kyseliny palmitová a stearová, mezi nenasycené pak především kyselina olejová, linolová a kyselina alfa-linolenová. Zbylé dvě kategorie zahrnují proteiny a sacharidy, zejména škrob. Avšak semena jsou z velké míry tvořena hlavně oleji a sacharidy (Bretagnolle a kol. 2016).

Bretagnolle a kol. (2016) uvádí, že obsah olejů a pestrost mastných kyselin je do jisté míry závislá na klasifikaci sledované rostliny. Například semena rostlin z čeledi bobovitých, lipnicovitých a rdesnovitých obsahují nižší množství olejů než zástupci čeledi miříkovitých, hvězdnicovitých a brukvovitých.

Ve velkých semenech lze obvykle nalézt menší množství olejů, zatímco malá semena obsahují vyšší obsah olejů a jsou bohatá na polynenasycené mastné kyseliny. Semena s vyšším podílem olejů poskytují více energie v přepočtu na gram, oproti semenům s méně oleji. Z toho vyplývá, že velká semena ukládají menší množství energie než malá. V porovnání tak malé semeno s hojným obsahem olejů může vyprodukovat srovnatelné množství energie jako škrobové semeno, které je ovšem dvakrát tak těžké (Bretagnolle a kol. 2016).

Přítomnost olejů může ovlivnit životnost semen. Olejnatá semena jsou mnohem citlivější na stárnutí. Je zde také uloženo mnoho enzymatických i neenzymatických antioxidantů. Tyto složky jsou důležité při udržování vitality, životaschopnosti semen a před jejich změnami v průběhu času. Obsah oleje a složení molekul uvnitř semen může být ovlivněno určitými faktory. Například vyšší teplota při klíčení semen zvýšila četnost nasycených mastných kyselin hned u několika druhů (Bretagnolle a kol. 2016).

### 3.7 Kvapník měnivý (*Harpalus affinis* (Schrank, 1781))

Kvapník měnivý je brouk střední velikosti, dosahující délky 8,5 až 12 mm (Lövei a McCambridge, 2002). Jedná se o velmi čilého brouka, jenž díky dlouhým nohám dokáže rychle pobíhat po polních cestách i po polích. Lze pozorovat mírné lesklé kovové zbarvení krovek (Junková, 2019).

*Harpalus affinis* byl shledán převážně jako fytofágní, tedy živící se rostlinnou stravou, konkrétně se zaměřením na semena. Během experimentů s nabídnutými 28 druhy semen plevelů nejvíce preferoval semena čekanky obecné, pcháče rolního a violky rolní (Honek a kol. 2007). Dle výzkumů je ovšem schopný konzumovat i živočišnou stravu, v níž jsou hlavní potravou čeleď mšicovitých a dvoukřídlý hmyz (Sunderland a kol. 1995).

Jedinci se mohou vyvinout z vajíčka v dospělé stádium během jedné sezóny, nebo strávit zimní období v diapauze. Poté se objevují ve formě larev nebo kukel následující jaro. Nově vylíhnuté jedince lze nalézt v období od prosince do května, přičemž převážná většina je pozorována od března do května. Předpokládá se, že průměrní jedinci jsou schopni žít po dobu jednoho roku, ovšem brouci většího věku mohou přežít déle než jednu sezónu (Lövei a McCambridge, 2002).



**Obrázek 1:** *Harpalus affinis* (URL 1)

### 3.8 Čichové orgány

Čichové orgány hrají důležitou roli v potravním a sociálním chování živočichů, a také v jejich obraně proti predátorům (Vander Wall a kol. 2003). Mnoho druhů hmyzu vyhledává potravu pomocí zraku nebo náhodným hledáním. Jiné druhy ovšem využívají pachových stop, které zůstávají po živočišné kořisti či rostlinném materiálu (Merivee a kol. 2000). Především u nočních predátorů má schopnost čichu hlavní význam (Merivee a kol. 2001).

Dle zjištění se intenzita pachových stop semen liší v závislosti na obsahu semen a vlhkosti půdy. Čichové orgány tak mohou lépe sloužit při rozpoznávání semen skrytých v půdě za vlhčích půdních podmínek. Čichové schopnosti se mohou lišit dle druhů přizpůsobených různým prostředím, druhů aktivních v různých denních dobách a druhů, které jsou více závislé na hledání potravy pomocí pachů. Je již známo, že zvířata mohou lépe objevit semena uložená ve vlhkých půdách než v suchém prostředí. U nočních živočichů lze očekávat, že budou mít více vyvinuté čichové orgány než denní živočichové. Jedinci žijící ve dne se mohou řídit pomocí zrakové orientace, na což se noční živočichové plně spoléhat nemohou. Zvířata specializující se na semena mohou vykazovat vyšší čichovou citlivost, než jakou mají všežravé druhy. Vývoj čichových orgánů může být ovlivněn i velikostí semen, která jsou živočichy preferována. Například u hlodavců, kteří se živí semeny menších rozměrů se očekává, že budou mít vyvinutou vyšší citlivost čichu než jedinci, kteří vyhledávají velká semena (Vander Wall a kol. 2003).

Kulkarni a kol. (2017) uvádí, že semenožraví střevlíci také používají hmatové podněty ve spojitosti se semeny, zvláště strukturální sílu semen a jejich fyzické rozšíření. Mnoho semen plevelů je schopno přetrvat v půdě suchá, částečně nebo plně nabobtnalá. Obsahují tedy různé množství vody. Výsledkem je, že predátoři semen plevelů během hledání potravy přijdou do kontaktu jak se suchými, tak nasátými semeny. Zda jsou semena nabobtnalá, je důležitým faktorem, jelikož v semenech mohou nastat chemické procesy. Tyto procesy mohou vést k uvolňování těkavých sloučenin, jako je ethanol a acetaldehyd. Uvolnění těchto látek může pomoci ke snazšímu nalezení semen a následně i ke spotřebě semen predátory.

Čeď střevlíkovitých se spoléhá na čichový systém, který jim umožňuje lokalizovat a vyhodnocovat potravu, úkryt, partnery vhodné k páření, vhodné podmínky pro život, a také umožňuje rozpoznat nepřítele a jiná nebezpečí (Hansson a Stensmyr, 2011). U hmyzu je posuzování složitých chemických a mechanických podnětů okolí zprostředkováváno pomocí kutikulárních sensorických receptorů (Giglio a kol. 2008a). Jedná se především o receptory umístěné na tykadlech hmyzu a na mandibulách (Isberg, 2013).

Čichové receptory nacházející se na tykadlech hmyzu (Merivee a kol. 2000), což jsou pohyblivé, segmentované a párové přívěsky na hlavě. Celé tykadlo je obvykle členěno do tří částí. První segment neboli *scapus*, je obecně větší než ostatní články a

je také částí základní. Druhý díl, *pedicellum*, reaguje na pohyb okrajové části tykadla a poslední segment nazývaný *flagellum*, je často vláknitý a může být zmenšen či různě modifikován (Ploomi a kol. 2003). Na vrcholcích antén tak lze nalézt různé druhy štětín, chlupů a bičíků (Merivee a kol. 2001). Tykadla tak mají mnoho tvarů, ale přesto se shodují základními principy (Hansson a Stensmyr, 2011).

Maxilární palpy vykazují schopnost plnit funkci chemoreceptorů, mechanoreceptorů a hygroreceptorů citlivých na vlhkost okolí (Giglio a kol. 2003). Vývoj formy mandibul u larev ovlivňují biotické faktory, zatímco abiotické faktory ovlivňují celkovou formu těla. Larvy navíc vykazují rozdíl v počtu a obdaření čichových receptorů v souvislosti se způsobem výživy a okolním prostředím. Existují odlišnosti ve velikosti těchto smyslových struktur u predátorů specializovaných či nespécializovaných na určitý druh potravy. Tyto rozdíly tak mohou souviset s typem vyhledávání potravy a kořisti (Giglio a kol. 2008b). Existuje úzká souvislost mezi morfologií těla, sensorickými receptory a způsobem života (Giglio a kol. 2003).

Střevlíci jsou schopni vyhledávat semena plevelů, která jsou uložena v půdě, na povrchu půdy i na mateřských rostlinách. To značí, že dospělí brouci využívají k hledání semen kromě zraku a hmatu také čichové stopy. Dle výzkumu, jenž zahrnoval studium chování druhů *Pterostichus melanarius*, *Harpalus affinis* a *Amara littoralis*, pouze první dva zmínění jedinci reagovali na čichové stopy uvolňované nasátými semeny. Oproti tomu druh *Amara littoralis* byl schopen nalézt semena suchá i nasátá (Kulkarni a kol. 2017).

### **3.9 Program Ethovision**

Software Ethovision byl navržen jako systém pro zaznamenávání aktivity, analýzu pohybu a rozpoznávání chování sledovaného organismu. První verze byla představena firmou Noldus Information Technology v roce 1993 (Noldus, Wageningen, Nizozemsko). Program je vhodný pro analýzu tří typů chování. Zprvé pro chování, které trvá krátce a následně se prolíná s delší dobou nečinnosti, zadruhé chování, které trvá mnoho hodin a zatřetí se jedná o prostorová měření, která lidský pozorovatel není schopen spolehlivě odhadnout (Spink a kol. 2001). Může se jednat například o měření vzdálenosti, rychlosti pohybu organismu či jeho otáčení v prostoru. Jednání sledovaných jedinců je zaznamenáváno pomocí počítačových algoritmů.

Výhodou je, že nehrozí riziko únavy nebo chyby, kterou by mohl způsobit lidský pozorovatel (Noldus a kol. 2001).

Pomocí programu Ethovision je možné pod jednu kameru umístit až 16 samostatných arén. Sledované organismy můžeme v těchto arénách sledovat současně. Jejich tvary lze snadno definovat s využitím kreslicích nástrojů, například ve tvaru obdélníku, kružnice, křivky, mnohoúhelníku nebo kreslení rukou (Noldus a kol. 2001). Dále může uživatel zakreslit až 99 zájmových oblastí, nazývaných zóny (Spink a kol. 2001). Software poskytuje tři metody detekce objektů: gray scaling, subtraction a color tracking. Gray scaling spojuje všechny pixely v daném rozsahu hodnot šedé stupnice a vyhodnocuje je jako pozorovaného živočicha. Zbylé pixely jsou určeny jako pozadí. Prahové hodnoty mohou být nastaveny automaticky nebo ručně. Subtraction nejprve uloží referenční obrázek bez přítomnosti organismu. Následně odečte hodnotu šedé stupnice každého pixelu od ekvivalentního pixelu obrazu se sledovanými jedinci. Color tracking využívá barvu organismu či označení na něm samotném k jeho identifikaci a sledování. Ke sledování objektů se užívá jeho odstínu a saturace. Dále se sledují pixely s definovanými barvami. Tato metoda závisí především na světelných podmínkách okolí (Noldus a kol. 2002).

### **3.10 Zkoumané plevelné rostliny**

**Ostrožka stračka** – *Consolida regalis* Gray, čeleď pryskyřníkovité (Pilát a Ušák, 1968)

Dle Piláta a Ušáka (1968) se jedná o polní plevel, který kvete v období od května do srpna. Ostrožka stračka je jednoletá rostlina s nejčastěji modrofialovými květy, na nichž můžeme najít přibližně 2 mm ostruhu. Plodem je jednoduchá, dlouhá tobolka. Její obsah může poskytnout až deset semen. Semena mají často pyramidovitý tvar, mohou být dlouhá až 2 mm. Šíří se především lidskou činností, méně často jsou přenášena větrem (Lhotská a Kropáč, 1985). Polovina obsahu semen je tvořena olejnou složkou. Z celkového obsahu mastných kyselin převažují mononenasyčené mastné kyseliny, konkrétně kyselina olejová a kyselina linolová (Bretagnolle a kol. 2016). Semena této rostliny jsou preferována především tribem Zabřini, například druhy *Amara ingenua*, *Amara sabulosa* nebo *Zabřus tenebrioides*. Z tribu Harpalini je zástupcem s největší preferencí *Anisodactylus signatus* (Honek a kol. 2007).

**Kokoška pastuší tobolka** – *Capsella bursa-pastoris* (L.) Med., čeled' brukvovité  
(Pilát a Ušák, 1968)

Jednoletý plevel dorůstající výšky až 50 cm. Vytváří hroznovitá květenství, kvete téměř celoročně. Na území České republiky se vyskytuje v nížinách i horských oblastech, upřednostňuje kypré půdy (Pikula a kol. 1997). Plodem je asi 6 mm dlouhá šesňulka srdčitého tvaru, v níž můžeme nalézt přibližně dvacet semen dlouhých až 1 mm. Semena jsou zploštělá, oválného tvaru (Lhotská a Kropáč, 1985). Obsah semene je ze 44 % tvořen olejnou složkou. V zastoupení mastných kyselin převažují kyselina linolová a kyselina alfa-linolenová. Převládají polynenasycené mastné kyseliny (Bretagnolle a kol. 2016). Dle výzkumů patří mezi nejčastější predátory těchto semen triby Harpalini i Zabrinini. Z tribu Zabrinini se jedná například o *Amara littorea* a *Amara anthobia*, z tribu Harpalini jsou to *Acupalpus meridianus* nebo *Stenolophus teutonius* (Honek a kol. 2007). Osemení při kontaktu s vodou slizovatí. Listy mají ochlupacené listové čepele. Rozšiřuje se pomocí větru nebo lidskou činností. Díky kratšímu vegetačnímu cyklu může vytvořit více generací během jednoho vegetačního období (Lhotská a Kropáč, 1985).

**Pampeliška lékařská** – *Taraxacum officinale* G.H.Weber, čeled' hvězdnicovité  
(Pilát a Ušák, 1968)

V České republice hojně rozšířená až 50 cm vysoká rostlina, vyskytuje se v nížinných i horských oblastech. Listy tvořící přizemní růžici obklopují dutý stvol, z něhož při poranění stéká bílá tekutina. Semena pampelišky lékařské mají podobu nažek, které na svém vrcholu nesou chmýr bílé barvy. Pomocí chmýru jsou semena snadno přenášena po okolí pomocí větru (Mráz a Samek, 1966). Semena pampelišky lékařské jsou preferována především střevlíky tribu Zabrinini. Jako příklad lze uvést druhy *Amara sabulosa*, *Amara apricaria* nebo také *Amara montivaga* (Honek a kol. 2007). Jedná se o plevel luk, pastvin, víceletých pícnin, okrasných výsadeb i trávníků. Vyhledává místa s dostatečnou zásobou vody a živin. Rostlina vzchází především na jaře a na podzim, nejlépe však při povrchu půdy. Pampeliška disponuje širokou škálou hospodářského využití, ať už je sbíraná jako léčivka nebo se z květů vyrábí sirupy a vína (Jursík a kol. 2008b).



**Penízek rolní** – *Thlaspi arvense* L., čeleď brukvovité (Deyl a Hísek, 1980)

Původní jednoletá rostlina, dosahující výšky až 30 cm, je nenáročná na typ půd (Píkula a kol. 1997). Můžeme jej nalézt v nížinných i horských oblastech. Penízek rolní je ze všech penízků vyskytujících se u nás obdařen plody největší velikosti. Plodem jsou šešulky, jež obsahují až deset semen. Ta mají velmi zploštělý tvar a tmavě hnědou až černou barvu. Dosahují délky přibližně 2 mm a jsou rozšiřována především lidskou činností. Zraje od května do července, suché plody mají schopnost zůstat na rostlinách dlouhou dobu. Plody samy od sebe nepukají, semena se z nich uvolňují až při samotné manipulaci (Lhotská a Kropáč, 1985). V semenech této rostliny je obsaženo přibližně 27 % olejů. Z mastných kyselin převládá kyselina eruková, následovaná kyselinou linolovou. Z celkového obsahu mastných kyselin jsou nejvíce zastoupené mononenasyčené mastné kyseliny (Bretagnolle a kol. 2016). Dle výzkumů se jako predátoři, kteří nejvíce upřednostňují semena penízku rolního, ukázaly například druhy *Amara eurynota* nebo *Amara littorea* (Saska a kol. 2019).

**Laskavec ohnutý** – *Amaranthus retroflexus* L., čeleď laskavcovité (Deyl a Hísek, 1980)

Jednoletá bylina pocházející z tropické Ameriky, kvetoucí od června do října. Upřednostňuje půdy bohaté na živiny, především na dusík. Vyskytuje se v nížinných až podhorských oblastech. Semena jsou zploštělého a okrouhlého tvaru. Mají lesklou černou barvu, na povrchu jsou hladká (Píkula a kol. 1997). Obsahují relativně malý podíl olejů. Z mastných kyselin má největší zastoupení kyselina linolová, převažuje množství polynenasycených mastných kyselin (Bretagnolle a kol. 2016). Semena laskavce ohnutého byla vyhledávanou potravou především druhů *Harpalus affinis*, *Harpalus luteicornis* a *Pseudoophonus rufipes* z tribu Harpalini (Honek a kol. 2007).

**Ptačinec prostřední** – *Stellaria media* L., čeleď hvozdíkovité (Deyl a Hísek, 1980)

Jednoletá, 40 cm vysoká rostlina, vyskytující se v půdách bohatých na dusík. V České republice hojně rozšířená, od nízkých poloh po horské. Tobolky mají vejcovitý tvar, tmavě hnědá semena jsou ledvinovitě zahnutá. Šířka semen může dosahovat maximálně 1,3 mm (Slavík a kol. 1990). V obsahu semen ptačince prostředního lze nalézt pouze 5 % olejné složky. V zastoupení kyselin převažuje kyselina linolová, výrazně méně pak kyselina olejová. Z celkového obsahu dominují polynenasycené mastné kyseliny (Bretagnolle a kol. 2016). Semena ptačince

prostředního dle výzkumů nejvíce konzumovaly druhy *Amara familiaris* nebo také *Amara anthobia* patřící do tribu Zabřini (Honek a kol. 2007).

#### **Svízel přítula** – *Galium aparine* L., čeleď mořenovitě (Dostál, 1954)

Píkula a kol. (1997) popisuje svízel přítulu jako popínavý plevel se čtyřhranným stonkem, dorůstající výšky až 120 cm. Listy jsou na spodní straně opatřeny charakteristickými háčkovitými chloupky. Semena jsou dvojnažky s háčky, na povrchu matné, šedohnědé barvy. Mohou dosahovat délky až 2,5 mm (Píkula a kol. 1997). Semena mají velmi malé zastoupení olejů, přibližně kolem pouhých 3 %. Nejvýznamnější kyselinou, co se týče zastoupení je kyselina olejová, nejvíce jsou pak přítomny mononenasyčené mastné kyseliny (Bretagnolle a kol. 2016). Semena této rostliny jsou méně preferovaná. Jako zástupce, který by tato semena preferoval můžeme uvést druh *Ophonus azureus* (Saska a kol. 2019). Rostlina se vyskytuje na polích, ale i v lužních lesích (Mráz a Samek, 1966).

#### **Pěťour maloúborný** – *Galinsoga parviflora* Cay, čeleď hvězdnicovitě (Dostál, 1954)

Jednoletá bylina pocházející z Jižní Ameriky. Najdeme ji na kyprých půdách bohatých na živiny, velmi rychle se rozrůstá. Pěťour maloúborný bývá až 60 cm vysoký, kvete od května. Nažky jsou veliké 1,6 mm, jsou šířeny především pomocí větru (Píkula a kol. 1997). Semeno pěťouru maloúborného je z 23 % tvořeno oleji. Výrazně nejvíce zastoupenou kyselinou je kyselina linolová. Ze všech mastných kyselin obsahem převažují polynenasycené mastné kyseliny, o něco menší je množství nasycených mastných kyselin (Bretagnolle a kol. 2016). Mezi nejčastější predátory, vyhledávající semena pěťouru maloúborného patřily dle výzkumů *Amara consularis* nebo *Amara ingenua* patřící do tribu Zabřini (Honek a kol. 2007).

#### **Pcháč rolní** – *Cirsium arvense* (L.) Scop., čeleď hvězdnicovitě (Dostál, 1954)

Jeden z nejvíce rozšířených plevelů v České republice, jehož lidový název je bodlák. Dvoudomá rostlina s rozlehlým, až 5 m dlouhým kořenem, který umožňuje vegetativní rozmnožování (Lhotská a Kropáč, 1985). Nažky jsou hnědé barvy, hladké a lesklé. Mají protáhlý tvar a jsou dlouhá 3 mm. Na vrcholu nažky je chmýr, díky němuž se semena rozšiřují pomocí větru (Píkula a kol. 1997). Semeno pcháče rolního je z 20 % tvořeno oleji. Největší podíl mastných kyselin tvoří kyselina olejová a

kyselina linolová. Přibližně třetinové zastoupení mají mononenasyčené mastné kyseliny, o něco méně pak polynenasycené a nasycené mastné kyseliny (Bretagnolle a kol. 2016). Semena pcháče rolního jsou vyhledávanou potravou především tribu Harpalini, například *Pseudoophonus rufipes* nebo *Harpalus luteicornis* (Honek a kol. 2007). Vyhledává půdy bohaté na množství živin a vody. Pcháč rolní lze nalézt od nížin po horské oblasti, na zemědělské i nezemědělské půdě. Zapleveluje ornou půdu, sady, chmelnice, vinice i louky. Rostlina kvete do podzimu, lodyha může být až 150 cm vysoká. Jednoduché listy mohou být na okrajích zkadeřené (Mikulka, 2013).

**Úhorník mnohodílný** – *Descurainia sophia* L., čeleď brukvovité (Martinovský a kol. 1959)

Jednoletý plevel dorůstající výšky 70 cm, vyhledává především teplejší oblasti. Hojně rozšířený, vyskytuje se od nížinných po horské oblasti, lze nalézt na rumišťích (Martinovský a kol. 1959). Korunní lístky mají světle žlutou barvu, tvoří hroznovitá květenství. Místem původu je západní Asie. Plodem jsou dlouhé šesule, v nichž lze nalézt průměrně 40 semen. Ta jsou nejčastěji šířena přirozeným vysemeněním nebo pomocí vody a větru. Uložená v půdě mohou mít životnost i tři roky (Jursík a kol. 2008a). Semena jsou preferována například druhy *Stenolophus teutonius* patřící do tribu Harpalini, nebo *Amara littorea* a *Amara anthobia* z tribu Zabryni (Honek a kol. 2007). Rostlina vzchází především na podzim, můžeme ji tak nalézt převážně v ozimých plodinách jako jsou obilniny či řepka (Jursík a kol. 2008a).

**Hulevník Loeselův** – *Sisymbrium loeselii* L., čeleď brukvovité (Martinovský a kol. 1959)

Rostlina s jasně žlutými květy, od 30 do 60 cm vysoká, kvetoucí od června do července. Vyskytuje se v teplejších oblastech, na zdech a rumišťích (Martinovský a kol. 1959). Lze jej nalézt v polích řepky ozimé, jejíž rostliny výškou přesahuje. Nejčastěji se však vyskytuje při okrajích polí (Jursík a kol. 2008a). Semena této rostliny byla dle výzkumů upřednostňována především zástupci tribu Zabryni. Jako příklad predátorů lze uvést druhy *Amara littorea*, *Amara anthobia* nebo *Amara familiaris* (Honek a kol. 2017).

**Heřmánkovec nevonný** – *Tripleurospermum inodorum* (L.) Schultz-Bip., čeleď hvězdnicovité (Kay, 1969)

Jednoletá rostlina, která se v Evropě vyskytuje především v mírných oblastech. Lze ji nalézt od nížin až po horské oblasti. Svou podobou je možné si ji splést s heřmánkem pravým (Kay, 1969). Semena této rostliny patří mezi více preferované druhy semen. Jako zástupce predátorů můžeme uvést například druhy *Amara aenea*, *Amara eurynota* nebo *Harpalus rubripes* (Saska a kol. 2019).

## **4. Metodika**

### **4.1 Průběh výzkumu**

Výzkum probíhal ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby v Praze 6 v časovém období od měsíce června do prosince roku 2019. Jako modelový organismus byli zvoleni dospělí jedinci kvapníka měnivého z čeledi střevlíkovitých brouků. Semena, která byla k pokusu využita, byla semena plevelných polních rostlin.

### **4.2 Popis výzkumu**

#### **4.2.1 Sběr a třídění semen**

Pro pokusy byla využita semena rostlin, která mají potenciál stát se polními plevely. Jednalo se celkem o 12 druhů semen, která byla sbírána na území Výzkumného ústavu rostlinné výroby. Po sběru byla očištěna od případných nečistot tak, aby zůstala pouze semena využitelná pro výzkum a ručně napočítána od každého druhu po 30 kusech ve 12 opakováních. Skladována byla v suchu a v uzavřených nádobách. Všechna semena tak byla uložena ve standardizovaných podmínkách.

#### **4.2.2 Sběr brouků**

Vlastnímu experimentu předcházela sběr brouků, kteří byli sbíráni od května do června roku 2019 v okolí Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Praze-Ruzyni. Odchyt byl prováděn metodou zemních pastí. Princip spočíval ve vyhloubení jam do půdy, do nichž se umístily nádoby sloužící k lapení brouků. Důležité je, aby okraje nádoby byly zarovnány s povrchem půdy (Greenslade, 1964).

#### **4.2.3 Chov brouků**

Než došlo k následujícímu využití střevlíků při výzkumu, byla potřeba jedince rozdělit dle pohlaví na samce a samice. Skladování byli v uzavřených nádobách umístěných v klima-boxu. Teplota byla konstantních 7 stupňů Celsia. Dva dny před plánovaným pokusem byl broukům zamezen přísun potravy tak, aby byli všichni stejně vyhladovělí. Dostupný byl pouze kousek vlhké vaty, z důvodu zajištění přísunu vody. Vlhkost prostředí a držení v chladném prostředí zabraňuje kanibalismu a standardizuje úroveň hladu sledovaných brouků (Honek a kol. 2013).

#### 4.2.4 Předložení semen

Při experimentu bylo využito šest plastových nádob o rozměrech 11,5 cm x 16,5 cm, kdy každá z nich představovala jednu arénu. Celkem jsme tedy měli šest arén určených k pozorování. V každé z nich bylo ve dvou řadách po třech kusech umístěno 6 skleněných Petriho misek s rozměry o průměru 4 cm a výšce 1 cm. Do nich byl vložen filtrační papír, navlhčený pomocí plastové stříčky s vodou. Každá z Petriho misek v každé aréně obsahovala semena daného druhu rostliny. Počet semen byl pro všechny rostliny stejný, tedy 30 kusů. Pouze Petriho misky se semennou náplní byly označeny zvýrazněním jejího okraje pomocí černého popisovače. Miska s rostlinným obsahem byla v každé ze šesti arén umístěna vždy na jiné pozici. Takto připravené arény byly překryty další plastovou nádobou o stejných rozměrech, ovšem tato měla místo původního dna utvořené dno ze síťoviny. Důvodem bylo umožnit tak broukům zaznamenat čichové stopy semen. Takto nachystané prostředí bylo připravené k provedení pokusu, bylo tedy možné umístit brouka do jednotlivých arén. Kamera byla nad oblastmi umístěná tak, aby zabírala všech šest nádob. Každý video záznam byl definován limitem 15 minut, po jehož uplynutí došlo k zastavení natáčení. Během této doby byl možný volný pohyb brouků v arénách. Během video-záznamů byli využiti samci a samice zvlášť. Na jeden druh semen tak připadají dvě videa, a to z důvodu sledování preferencí dle pohlaví. Po dokončení takto provedeného dílčího pozorování byly veškeré misky pročištěny vodou, aby bylo každé pozorování prováděno za konstantních podmínek. Druh semen byl vyměněn za jiný a pokus bylo možné opakovat s přítomností prozatím nevyužitých brouků.

#### 4.2.5 Analýza dat

Pořízené video-záznamy byly zpracovávány pomocí počítačového softwaru Ethovision. V úvodním nastavení byl zvolen jako objekt zájmu hmyz, arény byly konfigurovány ve tvaru čtverce, v počtu šesti kusů a uloženy ve dvou řadách po třech. Pozorovaný objekt v aréně odpovídal jednomu a prvek sledování byl dán jako centrální střed objektu. Daný organismus byl oproti pozadí tmavší. V nastavení arény bylo šest vybudovaných arén v podobě plastových nádob pojmenováno písmeny A, B, C, D, E a F. V nich nacházející se Petriho misky představovaly zájmové oblasti neboli zóny. Ty nesly označení X0, X01, X02, X03, X04 a XS, kde X představovalo písmeno arény. Jako XS byla vždy pojmenována miska obsahující semena. V nastavení Trial control settings byla nastavena časová podmínka na 15 minut a záznam videa spuštěn pomocí

tlačítka acquisition. V záložce Analysis profiles – distance&time bylo zvoleno pole Location: In zone a Distance to zone a odsouhlaseno pro všechny určené zóny. Pomocí Statistics and Charts byla provedena kalkulace programem a následné výsledky statistik exportovány do tabulkového softwaru Microsoft Excel.

Následně byla data zpracovávána pomocí statistického programu R (R Core Team, 2013).

Zjištění odlišnosti reakce *Harpalus affinis* na přítomnost různých druhů semen v zóně bylo testováno dvěma modely – jedno faktorovou ANOVA a zobecněnými lineárními modely (glm). U obou testů bylo použito Gamma rozdělení. Z dat byla odstraněna data o jedincích *H. affinis*, kteří v průběhu experimentu nevykazovali žádný pohyb. Měli tedy nulové hodnoty. Pro každý data set byl vybrán model, který lépe popisoval data (stanoveno na grafické zobrazení).

Pro jednotlivý druh semen a reakci na jejich přítomnost byl vypočítán aritmetický průměr a směrodatné odchylky pro obě pohlaví. Reakce pohlaví na přítomnost semen byla testována pomocí lineárních modelů s normálním rozdělením.

## 5. Výsledky

Byly vyhodnoceny celkem tři parametry chování střevlíků. Zaprvé se zkoumala průměrná frekvence návštěv kvapníka měnivého v zónách obsahujících semena, v Panelu 1 se jedná o grafy 1a – 12a. Druhé vyhodnocení výsledků je znázorněno grafy 1b – 12b, jedná se o průměrný čas strávený v zóně se semeny. Poslední oblastí zkoumání byl průměrný čas do první návštěvy zájmové oblasti. Tyto výsledky jsou popsány grafy 1c – 12c. Rozdíly v čase první návštěvy na různé druhy semen lze nalézt v Tabulce 1, číselný průměr výsledků a směrodatnou odchylku v Tabulkách 2 – 4.

### 5.1 Rozdíly v reakci brouků na druhy semen

Rozdílná reakce brouků na různé druhy semen byla prokázána pouze v čase první návštěvy zóny se semeny (stupně volnosti  $df=11$ ,  $\chi^2=134.93$ ,  $p<0.002$ ). Pro zjištění reakce se nejlépe hodil glm model. Rozdílné reakce *H. affinis* byly především na druhy z čeledi brukvovité a v porovnání s druhy z čeledi hvězdnicovité (Tabulka 1).

Pro vyhodnocení času stráveného v zóně se semeny se nejlépe hodil zobecněný lineární model. Nicméně nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v reakci na jednotlivé druhy ( $df=11$ ,  $\chi^2=196.46$ ,  $p=0.0779$ ).

U dat vypovídajících o frekvenci návštěv byl nejvhodnější test jedno faktorová ANOVA, který však neprokázal statisticky významný rozdíl v chování *H. affinis* na různé druhy semen ( $df=11$ , F hodnota= 0.792,  $p=0.647$ ).

### 5.2 Průměrná frekvence návštěv

Mezi nejvíce preferované druhy dle frekvence návštěv patřila semena ostrožky stračky (4a) a svízele přítuly (7a). Tyto zástupci rostlin byly hojně navštěvovány jak samci, tak i samicemi. Samice dále hojně navštěvovaly zóny se semeny pcháče rolního (3a), penízku rolního (11a) a ptačince prostředního (9a). Častý výskyt u samců se vyskytl u rostlin laskavce ohnutého (1a) a pampelišky lékařské (10a).

Průměrná frekvence návštěv zástupci obou pohlaví byla prokázána především u rostlin úhorníku mnohodílného (5a) a hulevníku Loeselova (8a). Průměrné výsledky



se projevily také u samců při návštěvách rostlin ptačince prostředního (9a) a pět'ouru maloúborného (6a).

Nejnižší frekvence návštěv, jak samci, tak samicemi, byla pozorována u heřmánkovce nevonného (12a) a kokošky pastuší tobolky (2a). Samci nejméně navštěvovali zóny se semeny pcháče rolního (3a) a penízku rolního (11a). U samic se jednalo o semena pampelišky lékařské (10a), laskavce ohnutého (1a) a pět'ouru maloúborného (6a).

### **5.3 Průměrná doba strávená v zóně se semeny**

Nejdelší strávená doba v zóně se semeny u obou pohlaví byla pozorována u semen pcháče rolního (3b), svízele přítuly (7b), pět'ouru maloúborného (6b), kokošky pastuší tobolky (2b) a penízku rolního (11b). Nejvíce času dále trávili samci u semen laskavce ohnutého (1b), ostrožky stračky (4b), pampelišky lékařské (10b) a heřmánkovce nevonného (12b), samice pak u ptačince prostředního (9b).

V zóně se semeny úhorníku mnohodílného (5b) byl pozorován u obou pohlaví průměrný čas strávený v zónách.

Samci i samice trávili nejkratší dobu v zóně, která patřila semenům hulevníku Loeselova (8b). Nejmenší preference semen určená dle doby strávené v zónách patří u samic semenům laskavce ohnutého (1b), ostrožky stračky (4b), pampelišky lékařské (10b) a heřmánkovce nevonného (12b), pro samce u ptačince prostředního (9b).

### **5.4 Průměrný čas do první návštěvy**

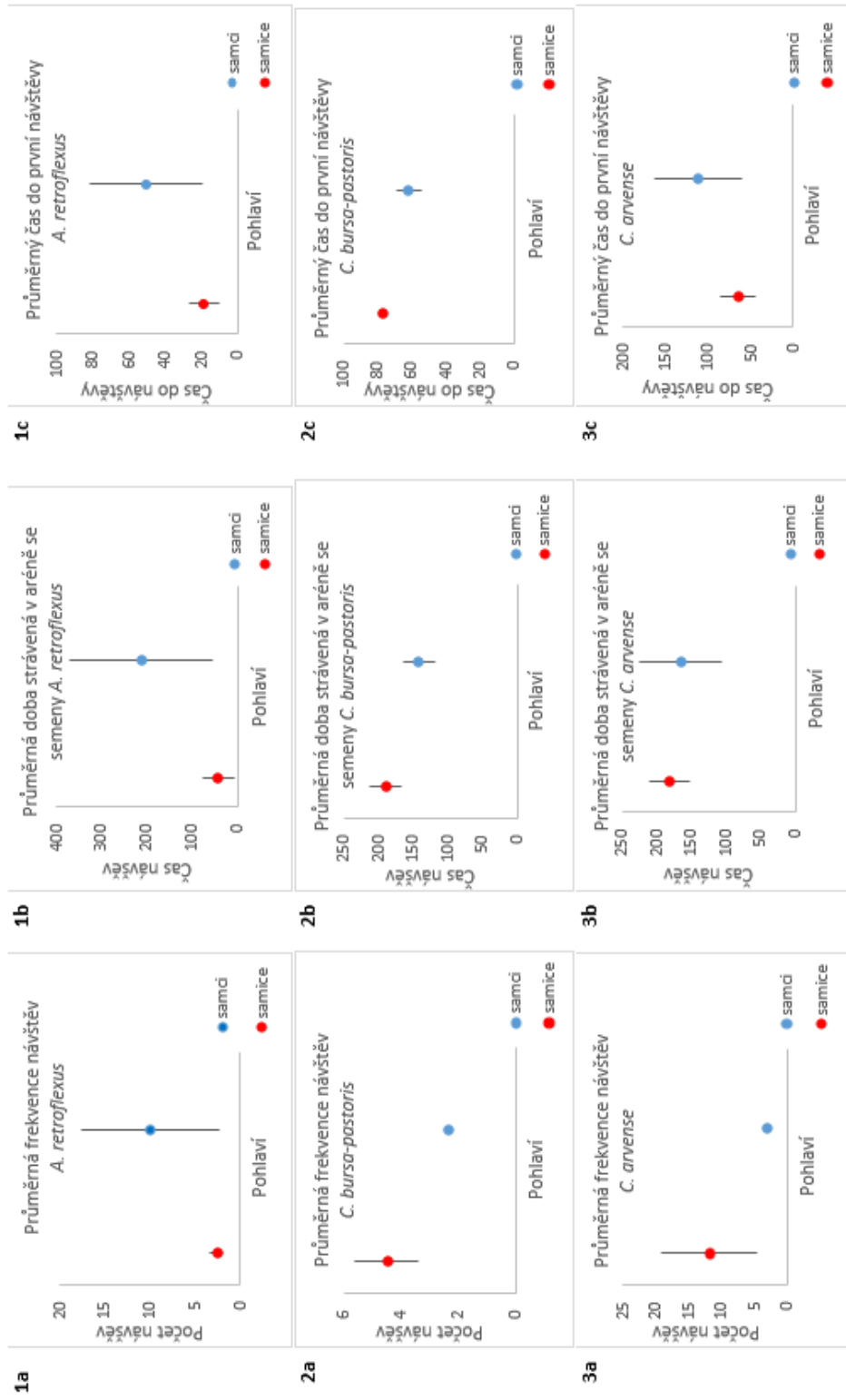
Průměrný nejkratší čas do první návštěvy zóny se semeny byl pozorován u laskavce ohnutého (1c), ostrožky stračky (4c), pět'ouru maloúborného (6c) a svízele přítuly (7c). Tyto výsledky byly shodné pro obě pohlaví. Nejkratší doba byla také pozorována u samic k semenům úhorníku mnohodílného (5c) a u samců k semenům ptačince prostředního (9c).

Průměrný čas do návštěvy u kokošky pastuší tobolky (2c) a pampelišky lékařské (10c) shodný pro obě pohlaví. Samci vykazovaly průměrné výsledky u semen úhorníku mnohodílného (5c), samice u pcháče rolního (3c).

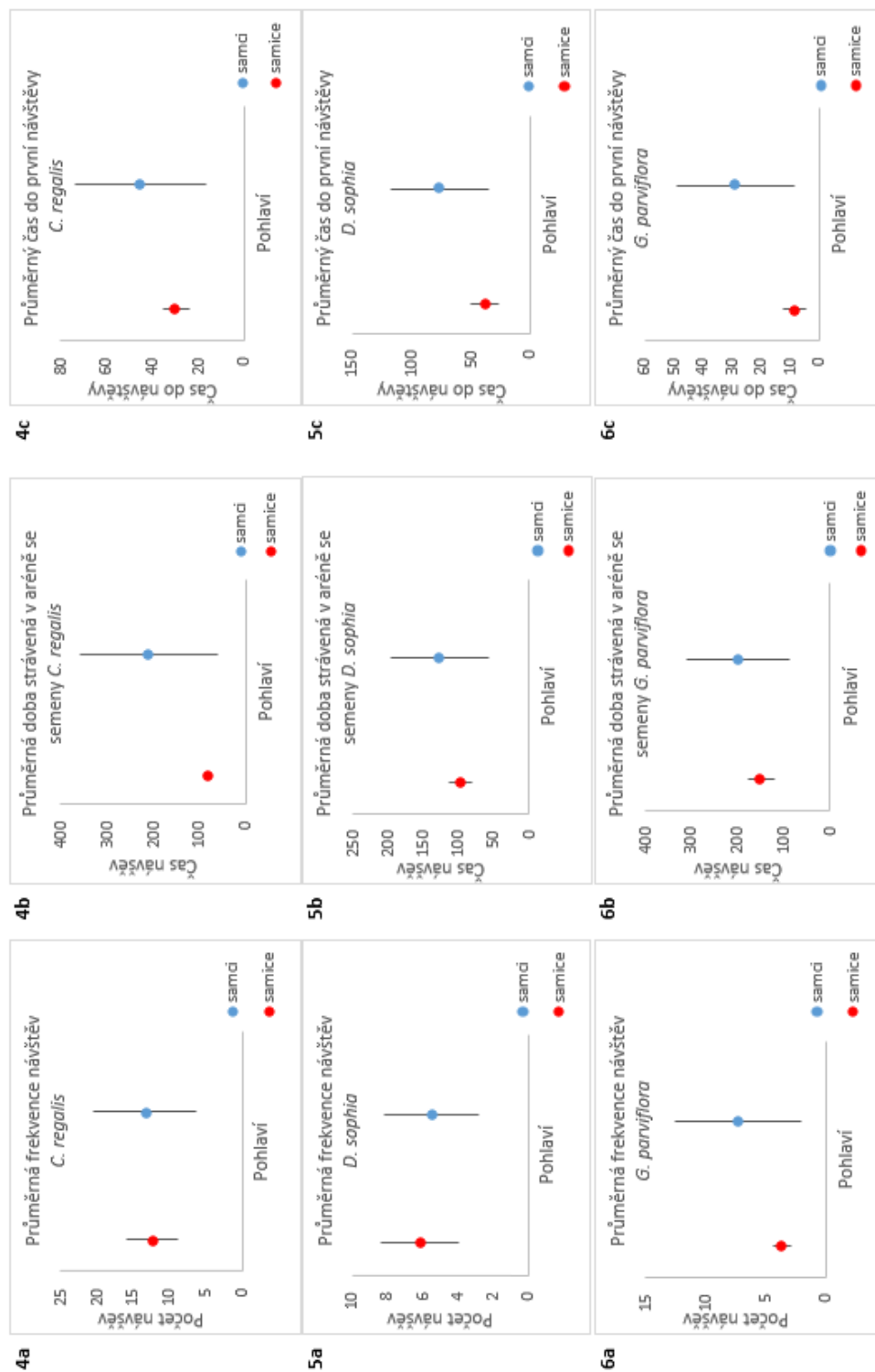
Nejdelší čas potřebný k návštěvě zájmové oblasti byl pozorován u semen hulevníku Loeselova (8c), penízku rolního (11c) a heřmánkovce nevonného (12c).

Tyto výsledky jsou shodné pro samce i samice. Do této kategorie lze zahrnout i vztah samic k semenům ptačince prostředního (9c) nebo samců k semenům pcháče rolního (3c).

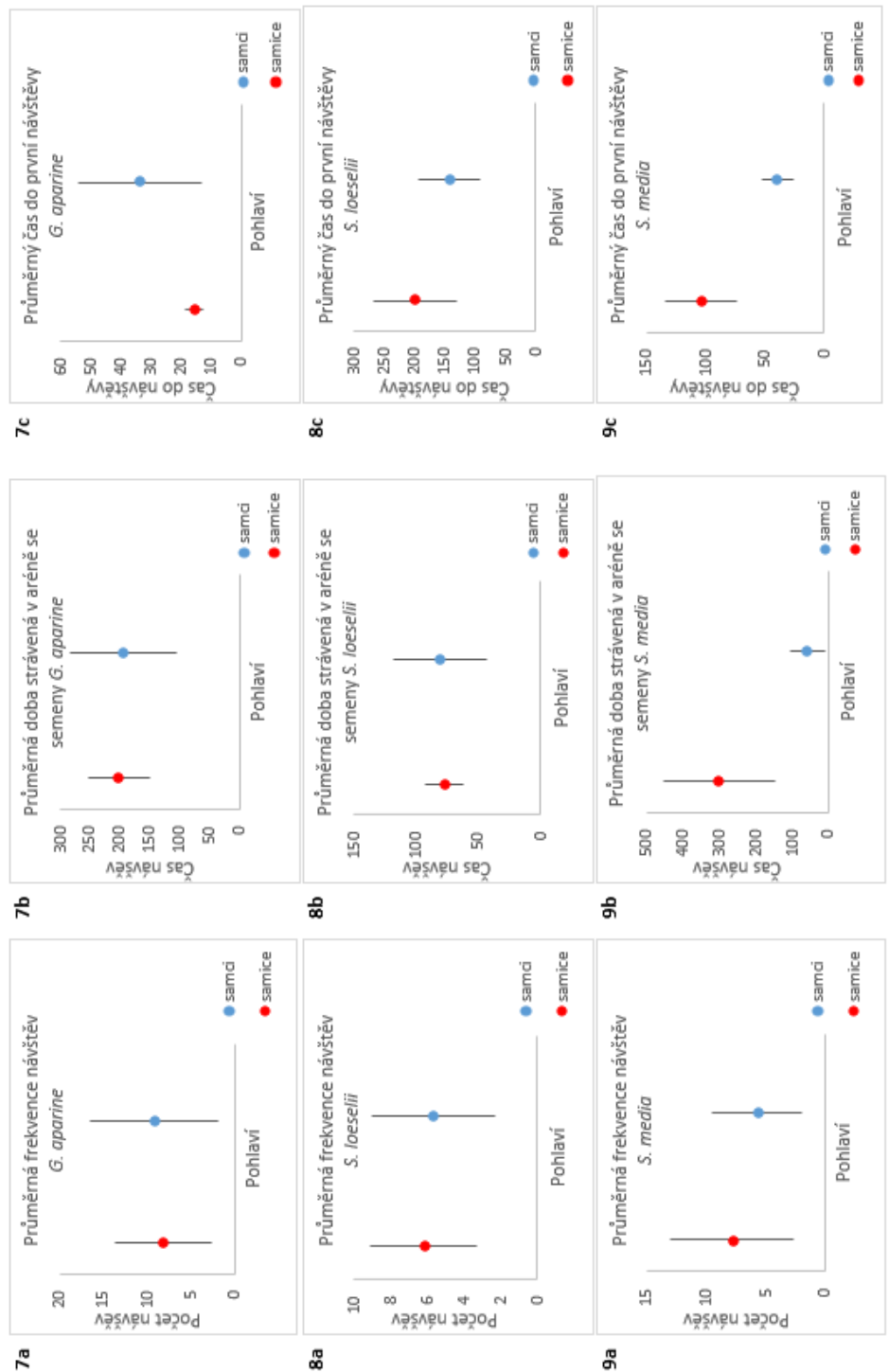
**Panel 1: Průměrná frekvence návštěv zón (sloupec A), průměrný čas strávený v zóně (sloupec B), průměrný čas do první návštěvy návštěvy zóny (sloupec C) pro rostliny laskavce ohnutého (1a-1c), kokošky pastuší tobolky (2a-2c) a pcháče rolního (3a-3c).**



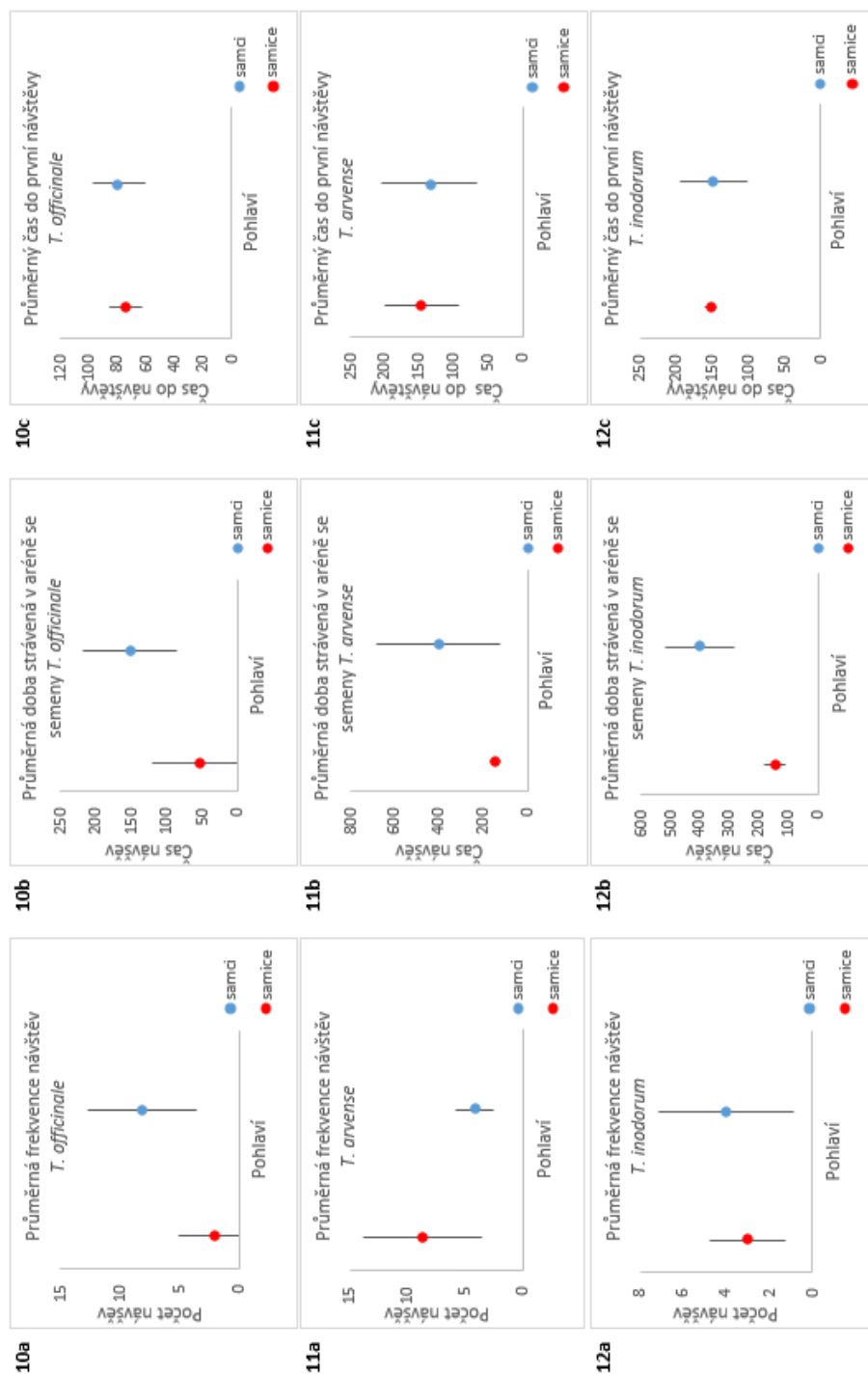
**Panel 1: Průměrná frekvence návštěv zón (sloupec A), průměrný čas strávený v zóně (sloupec B), průměrný čas do první návštěvy zóny (sloupec C) pro rostliny ostrožky stračky (4a-4c), úhorníku mnohohlídného (5a-5c) a pětouru malotělného (6a-6c).**



**Panel 1: Průměrná frekvence návštěv zón (sloupec A), průměrný čas strávený v zóně (sloupec B), průměrný čas do první návštěvy zóny (sloupec C) pro rostliny svízel přířítula (7a-7c), hulevník Loeselův (8a-8c) a ptáčínce prostředního (9a-9c).**



**Panel 1: Průměrná frekvence návštěv zón (sloupec A), průměrný čas strávený v zóně (sloupec B), průměrný čas do první návštěvy (sloupec C) pro rostliny pampelišky lékařské (10a-10c), penízku rolního (11a-11c) a heřmánkovce nevonného (12a-12c).**



**Tabulka 1: Reakce brouků na různé druhy semen při první návštěvě**

Pro výpočet rozdílu byl použit glm model s Gamma rozdělením, hodnoty se liší oproti nule.

Druh	Průměrný čas do první návštěvy [s]	Směrodatná odchylka	t	p
<i>Amaranthus retroflexus</i>	45.702	49.88	2.728	0.00776
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	166.608	66.92	2.033	0.04518
<i>Cirsium arvense</i>	132.730	52.90	2.572	0.01187
<i>Consolida regalis</i>	56.485	52.90	2.572	0.01187
<i>Descurainia sophia</i>	137.488	66.92	2.033	0.04518
<i>Galinsoga parviflora</i>	28.015	52.90	2.572	0.01187
<i>Galium aparine</i>	42.120	56.56	2.406	0.01833
<i>Sisymbrium loeselii</i>	185.923	45.12	3.016	0.00339
<i>Stellaria media</i>	95.102	49.88	2.728	0.00776
<i>Taraxacum officinale</i>	115.180	52.90	2.572	0.01187
<i>Thlaspi arvense</i>	212.160	52.90	2.572	0.01187
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	180.544	47.32	2.875	0.00511

**Tabulka 2: Rozdíly v průměrné frekvenci návštěv zón**

Tabulka znázorňuje rozdíly v průměrné frekvenci návštěv zón se semeny pro druh semen (sloupec 1), pro pohlaví hmyzu (sloupec 2), průměru strávený v zóně se semeny (sloupec 3), směrodatné odchylky (SD) (sloupec 4) a pravděpodobnost (sloupec 5).

Druh	Pohlaví	Průměr	SD	Průkaznost
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Samci	10	± 7.587	0.0572
	Samice	2.666	± 0.746	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Samci	2.333	± 0.050	0.535
	Samice	4.5	± 1.129	
<i>Cirsium arvense</i>	Samci	3.166	± 0.031	0.0843
	Samice	11.833	± 7.310	
<i>Consolida regalis</i>	Samci	13.333	± 7.087	0.9121
	Samice	12.333	± 3.500	
<i>Descurainia sophia</i>	Samci	5.5	± 2.694	0.8699
	Samice	6.166	± 2.198	
<i>Galinsoga parviflora</i>	Samci	7.333	± 5.273	0.23681
	Samice	3.666	± 0.753	
<i>Galium aparine</i>	Samci	9.166	± 7.324	0.709163
	Samice	8.166	± 5.561	
<i>Sisymbrium loeselii</i>	Samci	5.666	± 3.356	0.8814
	Samice	6.166	± 2.899	
<i>Stellaria media</i>	Samci	5.666	± 3.795	0.4321
	Samice	7.833	± 5.186	
<i>Taraxacum officinale</i>	Samci	8.166	± 4.552	0.2676
	Samice	2.166	± 2.944	
<i>Thlaspi arvense</i>	Samci	4.166	± 1.642	0.236
	Samice	8.666	± 5.097	
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Samci	4	± 3.124	0.43812
	Samice	3	± 1.761	

**Tabulka 3: Rozdíly v čase stráveném v zónách se semeny**

Tabulka znázorňuje rozdíly v průměrném čase stráveném v zónách se semeny pro druh semen (sloupec 1), pro pohlaví hmyzu (sloupec 2), průměru strávený v zóně se semeny (sloupec 3), směrodatné odchytky (SD) (sloupec 4) a pravděpodobnost (sloupec 5).

Druh	Pohlaví	Průměr	SD	Průkaznost
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Samci	213.286	± 158.119	0.05348
	Samice	42.553	± 35.464	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Samci	140.4	± 23.008	0.772
	Samice	189.886	± 23.869	
<i>Cirsium arvense</i>	Samci	166.66	± 59.314	0.922
	Samice	181.94	± 30.130	
<i>Consolida regalis</i>	Samci	210.34	± 147.923	0.17315
	Samice	80.86	± 7.410	
<i>Descurainia sophia</i>	Samci	126.1	± 69.361	0.7219
	Samice	96.72	± 16.479	
<i>Galinsoga parviflora</i>	Samci	198.033	± 112.030	0.6993
	Samice	149.673	± 28.047	
<i>Galium aparine</i>	Samci	195.173	± 88.675	0.9655
	Samice	201.846	± 51.235	
<i>Sisymbrium loeselii</i>	Samci	80.773	± 36.956	0.9543
	Samice	77.133	± 15.166	
<i>Stellaria media</i>	Samci	57.546	± 46.705	0.128
	Samice	301.86	± 154.424	
<i>Taraxacum officinale</i>	Samci	151.926	± 66.048	0.440
	Samice	54.253	± 67.196	
<i>Thlaspi arvense</i>	Samci	401.18	± 280.638	0.16810
	Samice	147.853	± 22.617	
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Samci	194.046	± 118.104	0.2889
	Samice	73.753	± 33.644	

**Tabulka 4: Rozdíly pro průměrný čas do první návštěvy zón se semeny**

Tabulka znázorňuje rozdíly pro průměrný čas do první návštěvy zón se semeny pro druh semen (sloupec 1), pro pohlaví hmyzu (sloupec 2), průměru strávený v zóně se semeny (sloupec 3), směrodatné odchytky (SD) (sloupec 4) a pravděpodobnost (sloupec 5).

Druh	Pohlaví	Průměr	SD	Průkaznost
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Samci	50.18	± 31.262	0.2620
	Samice	18.373	± 8.380	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Samci	61.62	± 7.844	0.842
	Samice	77.22	± 1.170	
<i>Cirsium arvense</i>	Samci	111.886	± 51.472	0.5959
	Samice	65.086	± 20.351	
<i>Consolida regalis</i>	Samci	45.5	± 28.567	0.5272
	Samice	29.813	± 5.867	
<i>Descurainia sophia</i>	Samci	76.613	± 41.291	0.4570
	Samice	37.96	± 11.992	
<i>Galinsoga parviflora</i>	Samci	28.946	± 20.122	0.13080
	Samice	8.406	± 4.072	
<i>Galium aparine</i>	Samci	33.54	± 20.320	0.3599
	Samice	15.6	± 3.095	
<i>Sisymbrium loeselii</i>	Samci	142.22	± 49.994	0.674



	Samice	198.64	$\pm 68.213$	
<i>Stellaria media</i>	Samci	39.173	$\pm 12.766$	0.402
	Samice	103.48	$\pm 30.026$	
<i>Taraxacum officinale</i>	Samci	79.126	$\pm 18.396$	0.958
	Samice	74.446	$\pm 11.438$	
<i>Thlaspi arvense</i>	Samci	135.2	$\pm 68.782$	0.8969
	Samice	147.68	$\pm 53.752$	
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Samci	148.633	$\pm 46.444$	0.980
	Samice	152.273	$\pm 7.756$	

## 6. Diskuse

Výsledky této práce se mohou vlivem mnoha faktorů od zkoumání jiných autorů značně lišit. Výzkumy týkající se predace semen střevlíky je možné provádět v odlišných prostředích, ať už se jedná o polní, laboratorní nebo poloprovozní podmínky. Vliv odlišnosti těchto podmínek se může projevit na charakteru i kvalitě získaných výsledků.

Preference hmyzu může být ovlivněna také chemickým složením a nutriční hodnotou semen. Například klasifikace rostliny hraje důležitou roli v obsahu olejů a množství mastných kyselin v jejích semenech. Rostliny čeledi miříkovitých, hvězdnicovitých nebo také brukvovitých obsahují ve svých semenech mnohem větší množství olejů než jiné čeledi, například čeleď lipnicovitých (Bretagnolle a kol. 2016). Dle výsledků tohoto výzkumu strávili samci i samice nejdelší průměrnou dobu v zónách právě se semeny rostlin kokošky pastuší tobolky (graf 2b) a penízku rolního (graf 11b), spadajících do čeledi brukvovitých rostlin. Jedná se o jednu z velmi preferovaných čeledí rostlin, protože semena těchto rostlin obsahují pro střevlíky přitažlivé chemické látky. Dále strávili nejdelší čas v zónách semen pcháče rolního (graf 3b) a pětouru malóuborného (graf 6b), pocházejících z čeledi hvězdnicovitých. Nutriční hodnota a chemické složení semen tak může hrát značnou roli v upřednostňování určitých semen. Čas do první návštěvy byl kratší u semen brukvovitých rostlin v porovnání s ostatními semeny. Tento výsledek mohl být způsoben právě taxonomickým zařazením druhů rostlin a také obsahem velkého množství olejů v semenech, která jsou pro čeleď střevlíkovitých přitažlivá. Pro zóny obsahující semena svízele přituly vyšly pro obě pohlaví všechny tři měřené veličiny s nejvíce pozitivními výsledky současně.

Zda jsou střevlíci schopni daná semena cítit, se může odvíjet i od množství vystavených semen. Dávka použitých semínek se u jednotlivých autorů liší. Honek a kol. (2013) ve svých laboratorních pokusech použil 30 kusů malých semen, pro semena větších rozměrů bylo množství určeno na 15 kusů. White a kol. (2007) pro své účely využil semena tří rostlin, konkrétně rostlin béru ohnutého, laskavce ohnutého a mračňáku Theophrastova. Počet semen, která nabídl třem druhům střevlíkovitých brouků, se pro každého zástupce hmyzu lišil. Vycházel tak z předešlých zkoumání, jak jsou daní jedinci schopni cítit tyto druhy semen a v jaké míře jsou jimi přitahována. Množství tak bylo určeno v rozmezí od 50 do 100 kusů. Petit a kol. (2014) pro své

polní pokusy nalepila na semenné kartičky po 20 semenech. Pro náš pokus bylo využito 30 kusů od každého druhu rostlin. Semena byla očištěna od případných nečistot a pro jednotlivé dílčí pokusy se využila nová dávka semen.

Značný vliv na predaci má i morfologie semen, tedy jejich velikost, tvar a tvrdost osemení. Preference semen mohou být ovlivněny omezením predátorů konzumovat různé velikosti semen. Kulkarni a kol. (2015) ve svých výzkumech zjistila, že menší střevlíci konzumují především semena menší, zatímco jedinci větších tělesných rozměrů upřednostňují semena větší. Důvodem je dle dosavadních informací jejich neschopnost uchopit a následně rozdrtit malá nebo naopak velká semena.

Experiment probíhal v laboratorních podmínkách v denních hodinách za přítomnosti umělého světla, kdy byla zkoumaná oblast přímo nasvícená. Tento jev nemusel mít kladný dopad na získané výsledky. Hůrka (1996) uvádí, že většina druhů střevlíků se usídluje v hrabance nebo pod kameny na povrchu půdy. Vyhledávají tak určitou míru zastínění. Námi stanovené podmínky, tedy prostředí bez jakéhokoli zastínění, tak mohly hmyzu poskytnout nevhodné podmínky k predaci. Kulkarni a kol. (2017) prováděla experiment čichových testů pomocí přístroje olfaktometru. Tmu navodila použitím červeného světla.

Významnou roli mohou hrát i mikroklimatické podmínky během experimentu, tedy například vlhkost nebo teplota. Kulkarni a kol. (2015) ve svých výzkumech stanovila, že konzumace druhů *Harpalus affinis* a *Pseudoophonus rufipes* vzrostla v souvislosti se zvyšující se teplotou prostředí. Výzkum, jenž je součástí této práce, byl prováděn v laboratorních podmínkách v letních měsících. Teplota se tak pohybovala přibližně kolem 26 °C. Honek a kol. (2013) volil během svého pokusu podobný rozsah teplot prostředí, konkrétně 25-27 °C.

Semena, která jsou rozptýlená v prostředí, mohou v půdě přetrvávat suchá, plně nebo částečně nabobtnalá vodou. Tento stav semen je určující pro jejich snazší vyhledání predátory. V nabobtnalých semenech totiž mohou nastat chemické procesy, které vedou k silnějšímu uvolňování těkavých sloučenin. Může se jednat například o ethanol nebo acetaldehyd. Tyto uvolněné látky mohou vést ke snazšímu nalezení semen rozptýlených v půdě a tím k jejich větší spotřebě predátory (Kulkarni a kol. 2017). Vlhkost prostředí je tak určujícím faktorem. Intenzita pachových stop zůstávajících po semenech se liší v závislosti na vlhkosti půdy. Dle výzkumů je již prokázáno, že živočichové jsou schopni lépe vyhledávat semena skrytá ve vlhkých

půdách, oproti situacím, kdy vyhledávají semena v suchém prostředí (Vander Wall a kol. 2003). Během našeho pokusu posloužil jako zdroj vlhkosti filtrační papír obsažený v každé z Petriho misek v arénách. Filtrační papíry byly navlhčeny vodou pomocí stříčky. Roli zde může hrát čas, jak dlouho byla semena ponechána ve vlhkém prostředí a zda mohlo dojít k uvolnění chemických látek během 15 minut, kdy byla semena vystavena vlhkosti okolí. Je potřeba vzít v potaz také fakt, zda nebyly námi určené arény příliš malé. Mohlo tak dojít k rozestoupení volatilních látek po celé aréně.

Střevlíkovití k vyhledávání potravy využívají kromě hmatových podnětů především čichové orgány. Receptory čichu jsou umístěné na tykadlech a na čelistních mandibulách (Isberg, 2013). S jedinci hmyzu se nakládalo ručně, občas s využitím pinzet. Nesmíme opomenout fakt, že u některých modelových organismů mohlo dojít vlivem zacházení k poškození těchto orgánů čichu.

## 7. Závěr

Záměrem této bakalářské práce bylo zkoumat pomocí čichových testů v laboratoři preference semen druhu *Harpalus affinis* (Coleoptera: Carabidae).

Principem výzkumu bylo nabídnout hmyzu semena 12 druhů polních plevelů. Zástupci modelového organismu byli vždy na stejné úrovni hladovění. Hmyz byl rozlišen na samce a samice. Bylo tak učiněno z důvodu, kdyby se zjistilo, že je preference a množství zkonsumovaných semen ovlivněno pohlavím. Samotný videozáznam v připravených podmínkách probíhal 15 minut. Pořízený obraz byl zpracováván pomocí programu Ethovision, statistické vyhodnocení výzkumu bylo uskutečněno pomocí počítačového softwaru R studio.

Dle získaných výsledků strávili zástupci modelového organismu průměrnou nejdelší dobu v zónách se semeny rostlin kokošky pastuší tobolky, penízku rolního, pcháče rolního a pět'ouru maloúborného. Jedná se tedy o rostliny spadající do čeledi brukvovitých a hvězdicovitých rostlin. Právě u těchto druhů bychom mohli vlivem vysokého obsahu olejů a mastných kyselin v semenech předpokládat jejich upřednostňování granivorními střevlíkovitými brouky. Nejvyšší frekvence návštěv rostlin z výš uvedených čeledí byla sledována u samců pro pampelišku lékařskou, pro samice u pcháče rolního a penízku rolního. Ze všech zástupců rostlin obě pohlaví nejvíce navštěvovala zóny se semeny ostrožky stračky. U samců se projevila preference svízele přituly. Nejkratší čas do první návštěvy zóny byl z čeledí brukvovitých a hvězdicovitých pozorován u obou pohlaví pro semena pět'ouru maloúborného. Z dalších čeledí pak byl nejkratší čas do návštěvy měřen u samců pro ptačinec prostřední a u samic pro svízel přitulu a laskavce ohnutého. Mezi pohlavími byl výrazný rozdíl ve frekvencích návštěv. U samic byla pozorována vyšší frekvence pro rostliny kokošky pastuší tobolky a pcháče rolního, u samců u rostlin pět'ouru maloúborného a pampelišky lékařské. Tyto rostliny patří do zmíněných čeledí brukvovitých a hvězdicovitých rostlin. Nejkratší průměrný čas do první návštěvy byl pozorován u semen rostlin laskavce ohnutého a svízele přituly.

Výsledky tohoto výzkumu přispívají nepatrnou částí k rozšíření zatím již získaných poznatků o predaci semen a částečně odpovídají na otázku, jak predátoři zjišťují výskyt semen. Dále tento výsledek může přispět k využití střevlíkovitých brouků k biologické ochraně místo užívání chemických přípravků v zemědělství. Do budoucna bude potřeba rozsáhlejších výzkumů a zkoumání, která přispějí

k dokonalejšímu pochopení tohoto tématu. Pro další výzkumy by bylo vhodné využít více druhů granivorních zástupců střevlíků, nebo určit delší čas pokusu, kdy budou mít střevlíci přístup k semenům.

## Přehled literatury a použitých zdrojů

Avign S. S., Luff M. L., 2010: Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators of human impact. *Munis Entomology & Zoology* 5(1). 209-215.

Boháč J., 2005: Brouci–střevlíkovití. Červená kniha biotopů, <http://www.uek.cas.cz/cervenakniha>.

Bohan D. A., Boursault A., Brooks D. R., Petit S., 2011: National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* 48(4). 888-898.

Bretagnolle F., Matejicek A., Grégoire S., Reboud X., Gaba S., 2016: Determination of fatty acids content, global antioxidant activity and energy value of weed seeds from agricultural fields in France. *Weed Research* 56(1). 78-95.

Brown J. H., Ojeda R. A., 1987: Granivory: patterns, processes, and consequences of seed consumption on two continents. *Revista Chilena de Historia Natural* 60. 337-349.

Dalling J. W., Davis A. S., Schutte B. J., Elizabeth Arnold A., 2011: Seed survival in soil: interacting effects of predation, dormancy and the soil microbial community. *Journal of Ecology* 99(1). 89-95.

Deyl M., Hísek K., 1980: Naše květiny (1. a 2. díl). Albatros, Praha.

Dostál J., 1954: Klíč k úplné květeně ČSR.

Dravnieks A., Prokop W. H., 1975: Source emission odor measurement by a dynamic forced-choice triangle olfactometer. *Journal of the Air Pollution Control Association* 25(1). 28-35.

Esch E., Jacobs J. M., Bergeron C., Spence J. R., 2008: Correcting for detection biases in the pitfall trapping of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Back to the Roots or Back to the Future*. 385-395.

Fenner M. K., Fenner M., Thompson K., 2005: *The ecology of seeds*. Cambridge University Press.

Firbank L. G., Watkinson A. R., 1986: Modelling the population dynamics of an arable weed and its effects upon crop yield. *Journal of applied Ecology* 147-159.

Ghannem S., Touaylia S., Boumaiza M., 2017: Beetles (Insecta: Coleoptera) as bioindicators of the assessment of environmental pollution. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 24(2). 456-464

Giglio A., Ferrero E. A., Perrotta E., Tripepi S., Brandmayr T. Z., 2003: Ultrastructure and comparative morphology of mouth-part sensilla in ground beetle larvae (Insecta, Coleoptera, Carabidae). *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology* 242(3). 277-292.

Giglio A., Brandmayr P., Ferrero E. A., Perrota E., Romeo M., Zetto T., Talarico F., 2008a: Comparative antennal morphometry and sensilla distribution pattern of three

species of Siagoninae (Coleoptera, Carabidae). *Back to Roots Back to Futur*. Sofia Moscow Pensoft. 143-158.

Giglio A., Brandmayr P., Ferrero E. A., Giulianini P. G., Perrotta E., Talarico F. F., Brandmayr T. Z., 2008b: Ultrastructure of the antennal sensorial appendage of larvae of *Ophonus ardosiacus* (Lutshnik, 1922)(Coleoptera, Carabidae) and possible correlations between size and shape and the larval feeding habits. *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology* 247(3). 209-221.

Greenslade P. J. M., 1964: Pitfall trapping as a method for studying populations of Carabidae (Coleoptera). *The Journal of Animal Ecology* 301-310.

Hagley E. A. C., Holliday N. J., Barber D. R. 1982: Laboratory studies of the food preferences of some orchard carabids (Coleoptera: Carabidae). *The Canadian Entomologist* 114(5). 431-437.

Hansson B. S., Stensmyr M. C., 2011: Evolution of insect olfaction. *Neuron* 72(5). 698-711.

Honěk A., Martinková Z., 2001: Aggregation of Ground Beetles (Carabidae, Coleoptera) on Winter Rape. *Plant Protection Science* 37(3). 97-102.

Honek A., Saska P., Martinkova Z., 2006: Seasonal variation in seed predation by adult carabid beetles. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 118(2). 157-162.

Honek A., Martinkova Z., Saska P., 2011: Effect of size, taxonomic affiliation and geographic origin of dandelion (*Taraxacum* agg.) seeds on predation by ground beetles (Carabidae, Coleoptera). *Basic and Applied Ecology* 12(1). 89-96.

Honek A., Martinkova Z., Jarosik V., 2013: Ground beetles (Carabidae) as seed predators. *EJE* 100(4). 531-544.

Honek A., Martinkova Z., Saska P., Pekar S., 2007: Size and taxonomic constraints determine the seed preferences of Carabidae (Coleoptera). *Basic and Applied Ecology* 8(4). 343-353.

Howe H. F., Smallwood J., 1982: Ecology of seed dispersal. *Annual review of ecology and systematics* 13(1). 201-228.

Huffaker C., 1957: Fundamentals of biological control of weeds. *Hilgardia* 27(3). 101-157.

Hulme P. E., Benkman C. W., 2002: Granivory. *Plant–animal interactions: an evolutionary approach*. 185-208.

Hůrka K., 1996: Carabidae of the Czech and Slovak republics.

Isberg E., Hillbur Y., Ignell R., 2013: Comparative study of antennal and maxillary palp olfactory sensilla of female biting midges (Diptera: Ceratopogonidae: Culicoides) in the context of host preference and phylogeny. *Journal of Medical Entomology* 50(3). 485-492.



- Jarošík A. H. V., 2000: The role of crop density, seed and aphid presence in diversification of field communities of Carabidae (Coleoptera). *Eur. J. Entomol* 97. 517-525.
- Jonason D., Smith H. G., Bengtsson J., Birkhofer, K., 2013: Landscape simplification promotes weed seed predation by carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). *Landscape Ecology* 28(3). 487-494.
- Jørgensen H. B., Toft S., 1997: Role of granivory and insectivory in the life cycle of the carabid beetle *Amara similata*, *Ecological Entomology* 22(1). 7-15.
- Junková B., 2019: Obraznost terminologie—motivace pojmenování brouků. *Nová čeština doma a ve světě* 1. 21-28.
- Jursík M., Holec J., Soukup J., 2008a: Biologie a regulace dalších významných plevelů ČR: Úhorník mnohodílný-*Descurainia sophia* (L.) PRANTL. *Listy Cukrovarnické a Řepářské* 124(12). 344.
- Jursík M., Holec J., Brant V., 2008b: Biologie a regulace dalších významných plevelu ČR: Pampelišky sekce Ruderalia (*Taraxacum* sect. *Ruderalia*). *Listy Cukrovarnické a Řepářské* 124(5-6). 165.
- Kay Q. O. N., 1969: The origin and distribution of diploid and tetraploid *Tripleurospermum inodorum* (L.) Schultz Bip. *Watsonia* 7(3). 130-141.
- King R. A., Read D. S., Traugott M., Symondson W. O. C., 2008: INVITED REVIEW: Molecular analysis of predation: a review of best practice for DNA-based approaches. *Molecular ecology* 17(4). 947-963.
- Koivula M. J., 2011: Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. *ZooKeys* (100). 287.
- Kotze D. J., Brandmayr P., Casale A., Dauffy-Richard E., Dekoninck W., Koivula M. J., Pizzolotto R., 2011: Forty years of carabid beetle research in Europe—from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *ZooKeys* (100). 55.
- Kulkarni S. S., Dossall L. M., Willenborg C. J., 2015: The role of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in weed seed consumption: a review. *Weed Science* 63(2). 355-376.
- Kulkarni S. S., Dossall L. M., Spence J. R., Willenborg C. J., 2017: Seed detection and discrimination by ground beetles (Coleoptera: Carabidae) are associated with olfactory cues. *PloS one* 12(1). e0170593.
- Lhotská M., Kropáč Z., 1985: Kapesní atlas semen, plodů a klíčnicích rostlin. Státní pedagogické nakladatelství.
- Lövei G. L., Sunderland K. D., 1996: Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual review of entomology* 41(1). 231-256.

- Lövei G. L., McCambridge M., 2002: Adult mortality and minimum lifespan of the ground beetle *Harpalus affinis* (Coleoptera: Carabidae) in New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology* 29(1). 1-4.
- Lundgren J. G., Rosentrater K. A., 2007: The strength of seeds and their destruction by granivorous insects. *Arthropod-Plant Interactions* 1(2). 93-99.
- Martinková Z., Saska P., Honěk A., 2006: Consumption of fresh and buried seed by ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *European Journal of Entomology* 103(2). 361.
- Martinovský J., 1959: Naše rostliny: Klíč k určování. SZN.
- Merivee E., Ploomi A., Rahi M., Luik A., Sammelseg V., 2000: Antennal sensilla of the ground beetle *Bembidion lampros* Hbst (Coleoptera, Carabidae). *Acta Zoologica* 81(4). 339-350.
- Merivee E., Ploomi A., Luik A., Rahi M., Sammelseg V., 2001: Antennal sensilla of the ground beetle *Platynus dorsalis* (Pontoppidan, 1763)(Coleoptera, Carabidae). *Microscopy Research and Technique* 55(5). 339-349.
- Mikulka J., 2013: Biology and control of creeping thistle (*Cirsium arvense* L. Scop.) in sugarbeet. *Listy Cukrovarnické a Řepářské* 129(5/6). 172-176.
- Mráz K., Samek V., 1966: Lesní rostliny.
- Noldus L. P., Spink A. J., Tegelenbosch R. A., 2001: EthoVision: a versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 33(3). 398-414.
- Noldus L. P., Spink A. J., Tegelenbosch R. A., 2002: Computerised video tracking, movement analysis and behaviour recognition in insects. *Computers and Electronics in agriculture* 35(2-3). 201-227.
- Petit S., Boursault A., Bohan D. A., 2014: Weed seed choice by carabid beetles (Coleoptera: Carabidae): Linking field measurements with laboratory diet assessments. *European Journal of Entomology* 111(5).
- Pikula J., Obdržálková D., Zapletal M., 1997: Atlas vybraných druhů plevelů ČR. ÚZPI.
- Pilát A., Ušák O., 1968: Kapesní atlas rostlin.
- Ploomi A., Merivee E., Rahi M., Bresciani J., Ravn H. P., Luik A., Sammelseg V., 2003: Antennal sensilla in ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Agron. Res* 1(8).
- Ploomi A., Kivimägi I., Kruus E., Sibul I., Jõgar K., Hiiesaar K., Metspalu L., 2012: Seasonal cold adaptation dynamics of some carabid beetle species: *Carabus granulatus*, *Pterostichus oblongopunctatus* and *Platynus assimilis*. *Forestry Studies*. 57(1).

- Ramírez N., Traveset A., 2010: Predispersal seed-predation by insects in the Venezuelan Central Plain: overall patterns and traits that influence its biology and taxonomic groups. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 12(3). 193-209.
- R Core Team, 2013: R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Saska P., Honěk A., Martinková Z., 2019: Preferences of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) for herbaceous seeds. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 65(Supplement). 57-76.
- Sint D., Raso L., Kaufmann R., Traugott M., 2011: Optimizing methods for PCR-based analysis of predation. *Molecular ecology resources* 11(5). 795-801.
- Slavík B. [ed.], 1990: Květena České republiky. Academia.
- Spink A. J., Tegelenbosch R. A. J., Buma M. O. S., Noldus L. P. J. J., 2001: The EthoVision video tracking system—a tool for behavioral phenotyping of transgenic mice. *Physiology & behavior* 73(5). 731-744.
- Sunderland K. D., Lovei G. L., Fenlon J., 1995: Diets and reproductive phenologies of the introduced ground beetles *harpalus-affinis* and *clivina-australasiae* (coleoptera, carabidae) in new-zealand. *Australian Journal of Zoology* 43(1). 39-50.
- Szentesi A., Jermy T., 1995: Predispersal seed predation in leguminous species: seed morphology and bruchid distribution. *Oikos*. 23-32.
- Talarico F., Giglio A., Pizzolotto R., Brandmayr P., 2016: A synthesis of feeding habits and reproduction rhythm in Italian seed-feeding ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *EJE* 113(1). 325-336.
- Vander Wall S. B., Beck M. J., Briggs J. S., Roth J. K., Thayer T. C., Hollander J. L., Armstrong J. M., 2003: Interspecific variation in the olfactory abilities of granivorous rodents. *Journal of Mammalogy* 84(2). 487-496.
- Wallerling C., Sint D., Baier F., Schmid C., Mayer R., Traugott M., 2015: Detection of seed DNA in regurgitates of granivorous carabid beetles. *Bulletin of entomological research* 105(6). 728-735.
- Westerman P. R., Wes J. S., Kropff M. J., Van der Werf W., 2003: Annual losses of weed seeds due to predation in organic cereal fields. *Journal of Applied Ecology* 40(5). 824-836.
- Winkler J., 2013: Plevelé v ekologickém zemědělství. *Zemědělec* 2013(37). 34-34.
- White S. S., Renner K. A., Menalled F. D., Landis D. A., 2007: Feeding preferences of weed seed predators and effect on weed emergence. *Weed Science* 55(6). 606-612.
- Zimdahl R. L., 2018: Fundamentals of weed science. Academic press.

## Seznam obrázků

URL 1: <<https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id23007/?taxonid=4377&type=1>>  
[cit. 2020.03.25]