

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra ochrany rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Využití dravých larev zlatooček *Chrysoperla carnea*
(Neuroptera: Chrysopidae) v programech biologické ochrany
rostlin**

Bakalářská práce

Autor práce: Ivana Opletalová

Obor studia: Ekologické zemědělství

Vedoucí práce: Mgr. Alena Samková, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití dravých larev zlatooček *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) v programech biologické ochrany rostlin" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.04.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoci práce Mgr. Aleně Samkové, Ph.D., za její vstřícnost, cenné rady, připomínky a odborné vedení této práce. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Janu Raškovi, Ph.D. za pomoc při statistickém zpracování dat. Poděkování patří i mé rodině, příteli a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali a provázeli.

Využití dravých larev zlatooček *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) v programech biologické ochrany rostlin

Souhrn

Biologická ochrana rostlin je perspektivní, celosvětově uznávaná a zkoumaná alternativa chemické ochrany rostlin. Vyznačuje se ohleduplností k životnímu prostředí s minimálním dopadem na necílové organismy, včetně člověka. V programech této ochrany jsou využívány prostředky na přírodní bázi, anebo živé organismy. Jedním z perspektivních bioagens jsou dravé larvy zlatoočky obecné (*Chrysoperla carnea*), které loví široké spektrum kořisti. Některá kořist ovšem vykazuje aktivní obranné chování, jehož dopad má vliv na efektivitu biologické ochrany a je taktéž tématem této bakalářské práce.

Výzkum byl zaměřen na využití zlatoočky obecné v biologické ochraně rostlin, konkrétně v souvislosti se zjištěním typů obranného chování housenek motýlu kovolessklec gama (*Autographa gamma*) proti predátorům. Dále byla vyhodnocena efektivita obranného chování housenek ve vztahu k jejich velikosti a účinnosti tohoto chování proti dravým larvám zlatoočky. Posledním bodem zájmu byla preference potravy predátora u kořisti typu housenka s aktivní obranou a kořisti typu mšice bez obranného chování. Všechny experimenty probíhaly v laboratorních podmínkách, na základě zpětného vyhodnocení pořízených videozáznamů modelových organismů.

U housenek kovolessklec gama byly popsány tři typy aktivního obranného chování: 1) třes těla; 2) úder hlavou a 3) sekrece obranných látek. Přičemž nejvíce obranných reakcí vykazovaly zkoumané housenky při simulovaném útoku predátora na jejich přední část těla. Z experimentů bylo dále statisticky průkazné, že efektivita obranného chování závisí na velikosti těla kořisti. Úspěšně ulovená kořist měla ve většině případech menší rozměry těla. Výsledky také ukázaly, že ačkoli zlatoočky úspěšně ulovily více jedinců kořisti typu mšice ve srovnání s kořistí typu housenka, výsledky nebyly statisticky průkazné.

Z bakalářské práce vyplývá, že larvy zlatoočky obecné jsou perspektivním predátorem nejen mšic, jak je obecně uváděno, ale také housenek. Ovšem na základě mého zjištění, že zlatoočky jsou schopné překonat obranu především menších housenek, je nutné dbát zvýšené opatrnosti při jejich aplikaci. Nesprávná aplikace zlatooček na napadený pozemek s výskytem starších instarů housenek může mít dopad na efektivitu biologické ochrany rostlin.

Klíčová slova: biologická ochrana; ekologické zemědělství; interakce kořist-predátor; zlatoočka

Use of predatory larvae of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) in biological control

Summary

Biological control is prospective and globally recognised and researched alternative of chemical protection of plants. It is environmentally friendly with minimal impact on non-target organisms, including humans. Such biological control programmes use natural-based products or organisms. One promising bioagent is the predatory larvae of the green lacewing (*Chrysoperla carnea*), which preys on a wide range of prey. However, some prey exhibits active defensive behaviour. The impact of defensive behaviour has implications for the effectiveness of biological control and it is also the subject of this bachelor's thesis.

The research focused on the use of the green lacewing in biological control, specifically to determine the types of defensive behaviour of caterpillars of the moth *Autographa gamma* against predators. Furthermore, the effectiveness of the caterpillars' defensive behaviour was evaluated in relation to their size and the effectiveness of this behaviour was evaluated against predator green lacewing. The last object of interest was the predator food preference of caterpillar-prey type with active defensive and aphid-prey type without defensive behaviour. All experiments were conducted under laboratory conditions, based on retrospective evaluation of video recordings taken of the model organisms.

Three types of active defensive behaviour were recorded in caterpillars of *Autographa gamma*: 1) twisting; 2) head-flick; and 3) chemical defences. The caterpillars exhibited the highest number of defensive reactions when the simulated attack was aimed at their anterior part of the body. The experiments further showed statistically that the effectiveness of the defensive behaviour depended on the body size of the prey. In most cases, the successfully caught prey had a smaller body size. The results also showed that green lacewing larvae successfully caught more aphid prey compared to caterpillar prey, but the results were not statistically significant.

This thesis suggests that green lacewing larvae are a promising predator not only of aphids, as is commonly reported, but also of caterpillars. Green lacewing larvae can overcome the defences of smaller caterpillars, which is why it is needed to be more careful with their application. Incorrect application of lacewing larvae to an infested plot with older caterpillar instars may impact the effectiveness of biological control.

Keywords: biological control; ecological agriculture; encounter prey-predator; lacewing

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce.....	2
3 Literární rešerše.....	3
3.1 Biologická ochrana rostlin.....	3
3.1.1 Historie biologické ochrany rostlin.....	4
3.1.2 Biologická ochrana rostlin v České republice a její současnost	4
3.2 Biologická ochrana rostlin za pomoci přirozených nepřátel.....	5
3.2.1 Rozdělení přirozených nepřátel	5
3.2.2 Využití přirozených nepřátel	6
3.3 Predátoři v biologické ochraně rostlin	7
3.3.1 Rozdělení predátorů dle rozsahu konzumované potravy	7
3.3.2 Využití predátorů v biologické ochraně rostlin	8
3.4 Kořist přirozených nepřátel	9
3.4.1 Škůdci hospodářských plodin	10
3.4.2 Obranné chování kořisti vůči predátorům	11
3.5 Modelové organismy	12
3.5.1 Zlatoočka obecná (<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836)) (Neuroptera: Chrysopidae)	12
3.5.1.1 Využití zlatooček v biologické ochraně	13
3.5.2 Kovolessklec gama (<i>Autographa gamma</i> (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Noctuidae).....	14
3.5.3 Mšice sp. (<i>Aphis</i> sp. (Linnaeus, 1758)) (Hemiptera: Aphididae)	15
3.5.4 Cukrová řepa (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>altissima</i>) (Caryophyllales: Amarantheceae)	16
4 Metodika	17
4.1 Modelové druhy.....	17
4.1.1 Predátor: Zlatoočka obecná (<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836)) (Neuroptera: Chrysopidae)	17
4.1.2 Kořist I. (škůdce): Kovolessklec gama (<i>Autographa gamma</i> (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Noctuidae).....	17
4.1.3 Kořist II. (škůdce): rod Mšice (<i>Aphis</i> (Linnaeus, 1758)) (Hemiptera: Aphididae).....	17
4.1.4 Rostlina: Cukrová řepa (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>altissima</i>) (Caryophyllales: Amarantheceae)	18
4.2 Experimenty.....	18
4.2.1 Experiment I: Obranné chování kořisti vůči útoku predátora.....	18
4.2.2 Experiment II: Vliv velikosti těla a obranného chování na predaci	18

4.2.3	Experiment III: Preference potravy predátora	19
4.2.4	Monitoring modelových organismů.....	19
5	Výsledky	20
5.1	Obranné chování kořisti	20
5.1.1	Zjištěné typy obranného chování kořisti.....	20
5.1.2	Preference typu obranného chování kořisti	20
5.1.3	Obranné chování kořisti v závislosti na místě simulovaného útoku predátora.....	21
5.2	Obranné chování kořisti vůči predátorovi.....	22
5.2.1	Predační chování	22
5.2.2	Obranné chování kořisti při interakci s predátorem.....	23
5.2.3	Vliv velikosti těla kořisti na efektivitu obranného chování	23
5.2.4	Vliv obranného chování kořisti na úspěšnost útoku predátora	24
5.3	Preference potravy	25
5.4	Monitoring v terénu	26
6	Diskuze	28
6.1	Zhodnocení obranného chování housenek.....	28
6.2	Zhodnocení predačního chování larev zlatooček	29
6.3	Zhodnocení predačního chování larev zlatooček ovlivněné obranným chováním kořisti a typy kořisti	29
6.4	Zhodnocení jednorázového monitoringu	30
6.5	Souhrn diskuze	30
7	Závěr.....	32
8	Seznam literatury	33

1 Úvod

Rozvoj konvenčního zemědělství představuje problém ve využívání nadměry chemických přípravků, které mají za následek vznik rezistence u škodlivých organismů vůči postřikům a ztrátu biodiverzity v ekosystémech. Chemické postřiky také přináší obavy zdravotního rizika pro člověka a ostatních živočichů. Kvůli těmto důvodům byly rozvíjeny a studovány alternativní způsoby ochrany rostlin, které jsou dnes shrnuty pod pojmem biologická ochrana rostlin (Price et al. 2011).

Biologická ochrana rostlin je využívána především v ekologickém a integrovaném zemědělství. Využívá prostředky pouze na přírodní bázi anebo do svých programů využívá přímo živé organismy. Vyznačuje se šetrností k životnímu prostředí, minimálním dopadem na necílové organismy, včetně člověka, a pozitivním vlivem na ekosystém. Je založena na principech rovnovážného stavu mezi škůdci a jejich přirozenými nepřáteli, kteří jsou do cílové oblasti uměle vysazováni či vábeni (Greathead 1995; Van Driesche & Bellows Jr 1996). Bývají pro ně utvářeny speciální mikrostaniště a zimoviště, které jim mají zajistit lepší životní podmínky (Şengonca & Henze 1992).

Z přirozených nepřátel se využívají paraziti, parazitoidi a predátoři, nazývání také jako bioagens. Perspektivním predátorem je zlatoočka obecná (*Chrysoperla carnea*), která bývá využívána ve sklenicích ale i v otevřených prostranstvích – na polích, či jiných kulturních plodinách. Larvy zlatooček mají velký prediční potenciál a loví široké spektrum škůdců (Senior & McEwen 2001). Avšak škůdci mohou vykazovat široké spektrum obranného chování proti predátorům o různé intenzitě (Greeney et al. 2012), což může mít negativní dopad na účinek biologické ochrany rostlin.

Výzkum této bakalářské práce je v širším slova smyslu zaměřen na využití zlatooček pro biologickou ochranu rostlin. Konkrétně popisuje nové typy obranného chování kořisti, zkoumá souvislost obranného chování ve vztahu k velikosti kořisti a preferenci potravy predátora zlatoočky obecné. Výsledky této práce přináší nové poznatky, které mohou napomoci k efektivnějšímu využití zlatoočky v biologické ochraně rostlin.

2 Cíl práce

V úvodní literární rešerši budou shrnuty dostupné údaje o využití zlatoočky (Neuroptera: Chrysopidae) v biologické ochraně rostlin.

Cílem práce je:

- 1) Popsat nově pozorované obranné chování kořisti (škůdce) vůči predaci zlatoočkou, která může snížit efektivitu biologické ochrany.
- 2) Zjištění vztahu mezi velikostí těla kořisti (škůdce) a jeho obranným chováním, resp. schopností bránit se predátorovi (larvám zlatoočky).

Hypotéza:

- 1) Úspěšnost lovu predátora závisí na obranném chování kořisti.
- 2) Efektivita obranného chování je závislá na velikosti těla kořisti.

3 Literární rešerše

3.1 Biologická ochrana rostlin

Poprvé byl termín „biologická ochrana“ použit v roce 1919 entomologem Smithem, jako označení využití přirozených nepřátel k regulaci hmyzích škůdců (Wilson & Huffaker 1976). Dle Martinkové & Hoňka (2008) definice biologické ochrany znamená využívání přírodních nepřátel škodlivých organismů zemědělských plodin a produktů. Cílem je regulace populací těchto škůdců pod ekonomickým prahem škodlivosti, zpomalování a oddalování vzniku jejich rezistence vůči pesticidům a snižování kontaminace životního prostředí a reziduí potravin. K biologické ochraně se využívají bioagens. Bioagens jsou dle zákona č. 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči a o změně některých souvisejících zákonů, definovány jako prostředek na ochranu rostlin obsahující makroorganismy. Makroorganismy představují živé parazity, parazitoidy nebo predátory mimo obratlovce ve formě výrobku poskytovaného uživateli k použití proti škodlivým organismům na rostlinách nebo rostlinných produktech. Dále se využívají viry, bakterie, houby, prvoci, hlístice, mikrobiální patogeny, či látky extrahované z rostlin, které např. zlepšují odolnost rostlin. Avšak extrahované látky s přímým negativním účinkem na škůdce do biologické ochrany nepatří. K dalšímu typu ochrany patří i šlechtění rostlin, které zajišťuje lepší podmínky pro bioagens. Nepatří sem šlechtění, které přímo potlačuje škůdce, například svou toxicitou. Biologická ochrana nemusí být pouze výsledkem záměrné lidské činnosti, zahrnují se i výsledky působení přírodních sil (Van Driesche & Bellows Jr 1996).

Mezi benefity biologické ochrany patří omezený a minimální dopad na necílové organismy, včetně člověka, jelikož biologická ochrana svým působením neznečišťuje životní prostředí a je cílena pouze na oblast s výskytem určitého škůdce. Dalším benefitem je pozitivní vliv na ekosystém (Greathead 1995). Kupříkladu v Egyptě byly využity larvy predátora zlatoočky obecné (*Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836)) (Neuroptera: Chrysopidae) na pole s cukrovou řepou (*Beta vulgaris* L. var. *altissima*) (Caryophyllales: Amaranthaceae) proti jejímu škůdci makadlovce řepné (*Scrobipalpa ocellatella* (Boyd, 1858)) (Lepidoptera: Gelechiidae). Z výsledků studie lze vyvodit, že na polích s využitím predátora proběhl nárůst přidruženého hmyzu. Oproti tomu na polích s chemickým ošetřením byl u těchto organismů zaznamenán pokles (Hegazy 2018). Populace bioagens se také často na vysazeném území usadí po vícero generací, což je dalším benefitem nejen pro ekosystém, ale i pro rozpočet, jelikož zemědělec nemusí uvolňovat další výdaje pro udržení ochrany v chodu (Pomerinke & Stansly 1998). V některých případech je biologická ochrana mnohem výhodnější a žádoucí než konvenční ošetření. Kupříkladu, pokud je zamoření škůdcem či plevelem velmi vysoké a chemické ošetření by tím pádem bylo příliš nákladné (Greathead 1995). Další situace nastává u plodin s velmi ranou sklizní, kde jsou rezidua chemikálií nežádoucí. Například v afrických zemích, kde se sklízí i mladé výhonky manioku jedlého (*Manihot esculenta* (Crantz)) (Malpighiales: Euphorbiaceae), byl proti jeho škůdci červci maniokovému (*Phenacoccus manihoti* (Matile-Ferrero, 1977)) (Hemiptera: Pseudococcidae) úspěšně nasazen parazitoid *Apoanagyrus lopezi* (De Santis, 1964) (Hymenoptera: Encytridae) (Herren & Neuenschwander 1991).

Negativem biologické ochrany je pomalejší působení, než u chemického ošetření – účinnost se objeví se zpožděním. Škůdce není zcela odstraněn, ale je udržován pod hranicí škodlivosti. Dále se biologická ochrana musí přizpůsobit abiotickým faktorům oblasti, druhu škůdce a plodiny, jinak nemusí být účinná, např. bioagens v oblasti s nepříznivými podmínkami může zahynout (Pultar 2008).

Rizika biologické ochrany mohou nastat v případech, kdy je proti škůdci nasazen nepůvodní druh bioagens. V těchto situacích je důležitý výzkum škůdce, oblasti i nasazeného bioagens a následné posouzení jeho pozitivního nebo negativního dopadu na ekosystém. Při podcenění tohoto výzkumu může nastat ekologická nerovnováha, a bioagens může způsobit škody v ekosystému, kupříkladu se sám stane škůdcem (Delfosse 2005).

3.1.1 Historie biologické ochrany rostlin

Biologická ochrana sahá hluboko do historie. Některé metody s využitím predátorů byly praktikovány již před stovkami let, a to díky pozorování tehdejších zemědělců. Například ve starověké Číně kolonie mravenců faraonů (*Monomorium pharaonis* (Linnaeus, 1758)) (Hymenoptera: Formicidae) byly přesouvány do lokalit s datlovníky pravými (*Phoenix dactylifera* (L.)) (Arecales: Arecaceae), které byly napadeny škůdci (Van Driesche & Bellows Jr 1996).

V Evropě byl první písemný návrh o využití predátorů proti škůdcům zaznamenán v roce 1752 přírodovědcem Carlem Linné. Dle Linného platí, že každý hmyz má svého predátora, který ho vyhledává a usmrcuje. Takový predátor by se měl odchytávat a používat k ochraně plodin (Hörstadius 1974). Od druhé poloviny 18. století se přírodovědci začali zabývat některými bioagens, kteří by se dali využít k ochraně plodin na polích či ve sklenicích. Jednalo se především o slunéčko sedmítečné (*Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758)) (Coleoptera: Coccinellidae) a hmyz z čeledi pestřenkovití (Syrphidae) (Samouelle, 1819) (Kirby & Spence 1815).

Největší rozmach výzkumů následoval v 19. století po pochopení a popsání životního cyklu parazitoidů a jejich negativních dopadech na škůdcích. Díky těmto poznatkům se biologická ochrana začala formovat do podoby použitelné technologie. V průběhu 19. a 20. století začalo přibývat více způsobů biologické ochrany, např. byl využíván hmyz na hubení plevelů; byly organizovány mezinárodní přesuny bioagens; započalo využití hub, postřiků na biologické bázi, či patogenů, kupříkladu známý *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915) (Bacillales: Bacillaceae); aj. (Van Driesche & Bellows Jr 1996). Nyní jsou programy biologické ochrany rostlin využívány především v ekologickém a integrovaném zemědělství, zřídka na ně lze narazit i v zemědělství konvenčním (Prokinová 2017).

3.1.2 Biologická ochrana rostlin v České republice a její současnost

V České republice má biologická ochrana poměrně dlouhou tradici. Od 70. let 20. století se ve sklenicích využívali různí bioagens, např. parazitická vosička *Encarsia formosa* (Gahan 1924) (Hymenoptera: Aphelinidae), anebo dravý roztoč savečka oranžová (*Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot, 1957)) (Mesostigmata: Phytoseiidae) (Navrátilová 1999). Mnohé metody biologické ochrany se ovšem praktikují a zkoumají i mimo uzavřené prostory (Pekár &

Kocourek 2004; Kohout et al. 2010). V posledních letech se biologická ochrana a její metody stále více prosazují (Navrátilová 2019).

K roku 2022 je v České republice registrováno přes 100 přípravků pro biologickou ochranu rostlin (Ministerstvo zemědělství © 2009-2022), které jsou díky distributorům dobře dostupné nejen pro velké hospodářské podniky, ale i pro drobné, soukromé anebo hobby pěstitele. Mezi evropské společnosti, které povolené přípravky poskytují, patří např. belgická společnost Biobest N.V., či německá společnost Koppert B.V (Agromanuál © 2020). V České republice se nachází společnost MANETECH, a.s., která se zaměřuje na výzkum a prodej mikroorganismů, které mají zajistit lepší kondici rostlin, zvířat a půdy (Manetech © 2022). Další českou společností je BIOCONT LABORATORY, spol. s r.o., která je mimo jiné i hlavním distributorem bioagens (Ministerstvo zemědělství © 2009-2022).

3.2 Biologická ochrana rostlin za pomoci přirozených nepřátel

3.2.1 Rozdělení přirozených nepřátel

Přirození nepřátelé jsou dle Hoňka & Řezáče (2008) organismy, žijící na úkor škůdců a škodící jim do té míry, že vážně snižují jejich životaschopnost, čímž způsobují smrt hostitele¹ nebo snižují jeho schopnost rozmnožování. Řadí se sem paraziti, parazitoidi a predátoři (Honěk & Řezáč 2008).

Paraziti získávají živiny z hostitele (např. saním krve), kterého tak poškozují a oslabují, ale neusmrtí (Votýpka et al. 2018).

Parazitoidi jsou organismy, u kterých jejich vývojový cyklus probíhá uvnitř nebo na povrchu těla hostitele a na konci svého vývoje hostitele usmrtí a často i zkonsumují (Jasič et al. 1984). V biologické ochraně se využívá například parazitická vosička *Aphidius colemani* (Viereck, 1912) (Hymenoptera: Braconidae) (Obrázek 1 a)). Jedna samice je schopna parazitovat až tři sta mšic. Do mšic klade vždy jedno vajíčko. Larva vosičky se vyvíjí přímo v těle mšice a zprvu požírá části, které nejsou pro mšici životně důležité. Postupem času larva dokončí celý svůj vývoj v těle mšice a přemění se zde na kuklu. V této fázi je již mšice mrtvá, tak zvaně mumifikovaná, je hnědá a nafouknutá (Obrázek 1 b)). Po čtyřech dnech se kukla parazitoida přemění na dospělého jedince, který se za pomoci kusadel dostane z těla mrtvé mšice ven (Bohatá ©2014 - 2022).

Predátoři jsou dle Priceho et al. (2011) živočichové, kteří zabíjejí a konzumují kořist vcelku, nebo požírají její části. Liší se od parazitoidů tím, že jejich populace v reakci na populaci kořisti bývá opožděná a roste pomaleji, produkují méně potomků vůči usmrcené kořisti (Sabelis 1992) a k dosažení dospělosti potřebují zkonsumovat velké množství organismů (Price et al. 2011). Využití více druhů přirozených nepřátel má pozitivní účinky na biodiverzitu, a zvyšuje se i úspěšnost biologické ochrany. Mortalita škůdců je vyšší a jejich početnost populace je nižší než při využití jednoho druhu přirozeného nepřítele. Může ale dojít k situaci,

¹ Hostitel je dle Jasiče et al. (1984) živočich, sloužící jinému organismu jako zdroj živin a současně je i vhodným místem pro jeho vývoj

kdy skupiny přirozených nepřátel na sebe mají antagonistický a inhibiční vliv, což je zapříčiněno například konkurencí² či mezidruhovou predací (Stiling & Cornelissen 2005).



Obrázek 1: a) Parazitická vosička kladoucí vajíčko do mšice; b) Mumifikovaná mšice

Zdroj: a) <https://www.biobee.com>; b) <https://izahradkar.cz>

3.2.2 Využití přirozených nepřátel

Existují tři základní metody, jakými jsou přirození nepřátelé využíváni. První metodou je introdukce – tj. záměrné dovezení přirozeného nepřitele z jiných zeměpisných oblastí (Honěk & Řezáč 2008). Kupříkladu úspěšná introdukce proběhla na konci 19. století v Kalifornii, kde byl využit predátor slunéčko australské (*Rodolia cardinalis* (Mulsant, 1850)) (Coleoptera: Coccinellidae), původem z Austrálie (Quezada & DeBach 1973; Honěk et al. 2021).

Druhou metodou je umělé množení přirozených nepřátel a jejich následné vysazení do postižených oblastí. Pokud jsou přirození nepřátelé vysazeni v menším množství a jsou schopni se množit, nazývá se tento zásah jako inokulativní. Při vysazení ve velkém množství, při kterém jsou zahubeni škůdci ale i přirození nepřátelé, se tento zásah nazývá inundativní. Při opakovaném vysazování přirozených nepřátel, za účelem udržení vysoké hustoty jejich populace, se jedná o tzv. periodický zásah (Honěk & Řezáč. 2008; Honěk et al. 2021). Vysazení přirozených nepřátel musí být provedeno včas, aby mohla nastat rovnováha mezi populacemi predátorů a škůdců. Pokud ovšem vysazení přirozeného nepřitele, zejména predátora, proběhne v situaci, kdy je již v lokalitě velmi početná populace škůdce, bývá tento zásah neúspěšný (Symondson et al. 2002).

Poslední metodou je soubor opatření a metod, jejichž cílem je ochrana a usměrnění přirozených nepřátel, které mají zajistit osídlení škůdci postižené oblasti. Pod tyto opatření se řadí zakládání biopásů (Obrázek 2); šetrná agrotechnika; šetrné chemická aplikace zásah (Honěk & Řezáč 2008; Honěk et al. 2021); vytvoření mikrostanovišť a zimovišť, např. dřevěných bedýnek či slaměných úkrytů (Sengonca & Henze 1992); anebo zajištění alternativní kořisti na počátku sezóny, která má zajistit rozvoj populace přirozeného nepřitele (Symondson et al. 2002), a to například využitím mulče, který může být osídlen dalšími druhy organismů, kteří následně slouží jako alternativní kořist (Brust 1994).

² Konkurence je vztah, kdy organismy vzájemně soupeří o životně důležité potřeby, především o potravu a prostor (Jasič et al. 1984)

Do 20. století převažovala introdukce a vysazování přirozených nepřátel do sadů a hospodářských lesů, kde se dosáhlo úspěšnějších výsledků než v dočasných agroekosystémech, což je např. orná půda s jednoletými plodinami. Ochrana dočasných agroekosystémů je obtížnější, jelikož je oblast periodicky přerušována obděláváním půdy, chemickým ošetřením a střídáním druhů plodin, což brání v rozvoji kontinuálních vztahů mezi přirozenými nepřáteli a kořistí, a omezuje počet i rozmanitost přirozených nepřátel (LaRock & Ellington 1996).

V lokaci vysazení přirozeného nepřítel by v ideální situaci měla mezi ním a škůdcem nastat stabilní rovnováha. Aby bylo dosaženo ideální rovnováhy, tak by přirozený nepřítel měl být zaměřen pouze na jeden druh kořisti; měl by mít vysokou účinnost vyhledávání kořisti a být s kořistí synchronní, kupříkladu schopností rychlé reprodukce, pokud se počty kořisti také rychle zvýší. Také by měl zkonsumovat co nejméně kořisti k potřebě dokončení životního cyklu. Tyto vlastnosti náleží mnoha parazitoidům (Beddington et al. 1978). Avšak v ekosystémech je mnoho dalších abiotických i biotických faktorů, které mají vliv na jednotlivé organismy a jejich populační vztahy, a proto je obtížné dosáhnout ideální stabilní rovnováhy mezi populacemi škůdce a přirozeného nepřítel (Price et al. 2011). Zejména u predátorů je zapotřebí zohlednit více parametrů a vlastností, které je ale v terénu obtížné zjistit (Beddington et al. 1978).



Obrázek 2: Biopás mezi plodinou na hospodářském pozemku
Zdroj: <https://www.agromanual.cz>

3.3 Predátoři v biologické ochraně rostlin

3.3.1 Rozdělení predátorů dle rozsahu konzumované potravy

Predátory lze rozdělit na specializované a polyfágní.

Specializovaní predátoři (dále jen specialisté) napadají pouze jeden druh škůdce, proto je jejich využití možné pouze při velké početnosti populace škůdce (Honěk et al. 2021). Na počátku sezóny, kdy je hustota populace škůdců nízká, může specialistům trvat delší časový úsek, než se dostanou do porostu a vytvoří si dostatečně početnou populaci. Oproti nim, polyfágní predátoři mohou být v porostu dříve, jelikož se živí alternativní kořistí (Settle et al. 1996). Mezi využívané specialisty patří čeleď slunéčkovitých, pestřenkovitých a denivkovitých (Hemerobiidae) (Latreille, 1803) (Honěk et al. 2021).

Polyfágní predátoři (dále jen polyfágové), v jiné literatuře také nazývání jako generalisté (Jasič et al. 1984), napadají více druhů kořisti v různých stádiích vývinu, a někteří se živí i rostlinnou stravou (Honěk et al. 2021). V 75 % vyhodnocených studií, shrnutých

Symondsonem et al. (2002), se za pomoci polyfágů výrazně snížila početnost škůdců. Dále studie ukazují, že při využití polyfágů byla efektivita biologické ochrany vyšší než při použití specialistů. Nevýhodou těchto predátorů je potencionální kanibalismus, díky kterému mohou snížit sami svoji populaci, anebo můžou mít negativní vliv na necílové organismy (Symondson et al. 2002). Necílové organismy mohou sloužit jako kořist, nebo zahynou kvůli nově vzniklé konkurenci či mezidruhové predaci (Stiling & Cornelissen 2005).

Polyfágové mohou lokálně vyhubit škůdce, aniž by se početnost jejich populace rapidně snížila. V nepříznivých podmínkách, kdy je cílové kořisti málo, mohou polyfágové zahájit vyčkávací strategii. Udržují svoji populaci díky požívání alternativní kořisti, což zabraňuje opětovnému vniknutí škůdců do téže lokace (Boer 1986). Polyfágové konzumují jakoukoliv dostupnou kořist, až na velmi jedovaté či špatně stravitelné výjimky. Pokud se v oblasti vyskytuje především nutričně chudá a mírně jedovatá kořist, může se u polyfágů snížit délka života či jejich plodnost (Toft & Wise 1999). Při malém množství dostupné kořisti anebo při její nízké nutriční hodnotě může nastat u polyfágů suboptimální stav výživy (Bilde & Toft 1998), v některých případech byla u polyfágních predátorů zjištěna prázdná střeva (Sunderland 1975). V opačné situaci, kdy je kořisti nadbytek, se projevuje preference ve výběru kořisti (Riechert & Harp 1987).

Polyfágové zpravidla preferují kořist, kterou lze snadno ulovit, zejména podle těchto faktorů: dle schopnosti vyhledat a odhalit kořist, dle míry obranného chování kořisti vůči predátorovi a dle schopnosti predátora účinně kořist zkonzumovat. Dále si vybírají kořist dle její nutriční hodnoty (Price et al. 2011) anebo hustoty populace (Jaworski et al. 2013). Někteří polyfágové, např. čelad' střevlíkovitých (Coleoptera: Carabidae) (Latreille, 1802), jsou uzpůsobeni k vyhledávání a požívání agregované (tj. seskupené) kořisti. Po jejím zkonzumování vyhledávají v bezprostředním okolí stejný typ kořisti (Mols 1993).

3.3.2 Využití predátorů v biologické ochraně rostlin

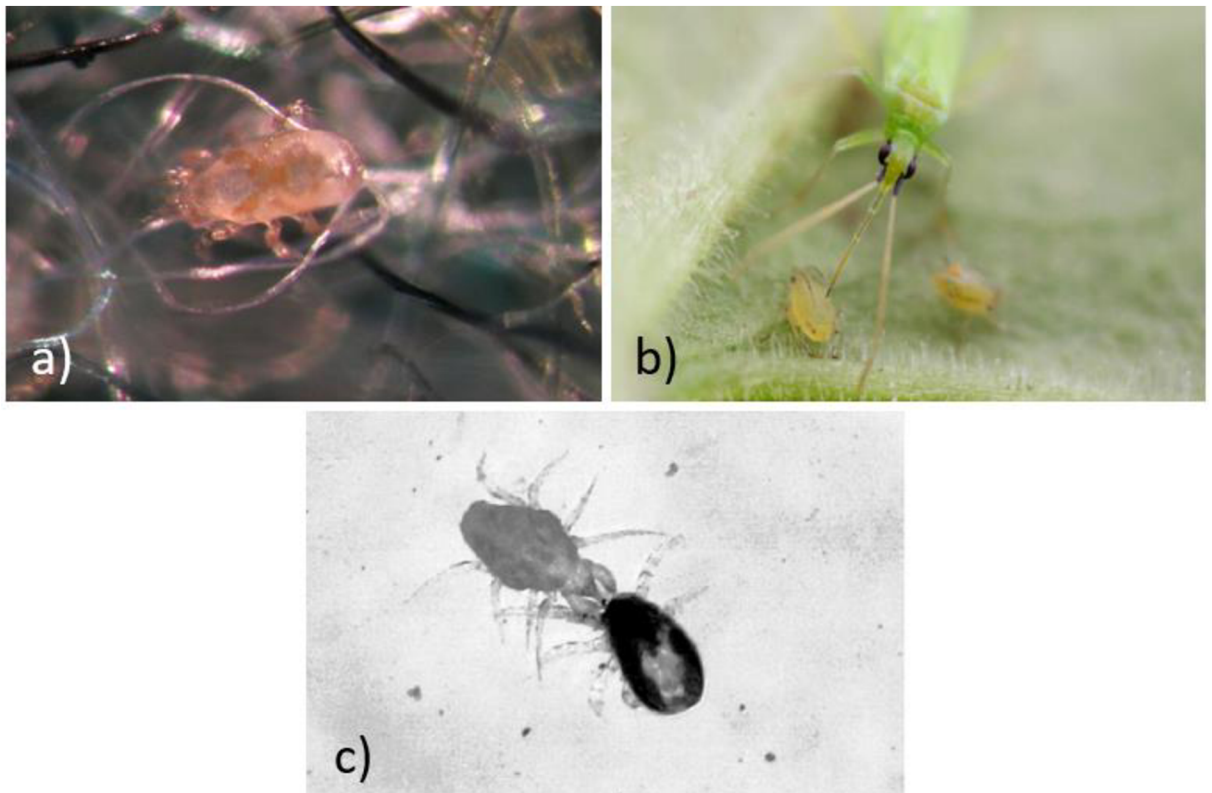
Mezi významné polní polyfágní predátory patří čelad' střevlíkovitých, drabčíkovitých (Coleoptera: Staphylinidae) (Latreille, 1802), sršňovitých (Hymenoptera: Vespidae) (Linnaeus, 1771) a podřád ploštice (Hemiptera: Heteroptera) (Latreille, 1810). V ovocných sadech a vinicích je často využíván dravý roztoč *Typhlodromus pyri* (Scheuten, 1857) (Mesostigmata: Phytoseiidae) (Obrázek 3 a)), který požívá široké spektrum škodlivých roztočů. *Typhlodromus* je v lokacích schopen udržovat svoji populaci i po několik let, jelikož v nich dokáže přezimovat a je schopen i dlouhodobě přežít bez kořisti. Jako náhradní potrava mu slouží pyl z rostlin (Collyer 1956).

Ve sklenicích s produkcí zeleniny je kupříkladu využívána dravá ploštice klopuška škrabošková (*Macrolophus pygmaeus* (Rambur, 1839)) (Hemiptera: Miridae), která je přirozeným nepřítelem typických skleníkových škůdců, např. zástupců z čeledi molicovitých (Hemiptera: Aleyrodidae) (Westwood, 1856) (Sylla et al. 2016). Úspěšně také usmrcuje invazivního škůdce rajčat *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae), původem z jižní Ameriky, který se od roku 2006 započal šířit ve sklenicích v Evropě (Desneux et al. 2011). Dalším polyfágem, který se vysazuje do skleníků ale i do venkovních prostorů, je zlatoočka obecná (New 1975). Nicméně predátoři obecně se ve venkovních prostorech využívají v menší míře než parazitoidi a parazité (Eilenberg et al. 2000).

Predátoři se využívají i ve skladovém hospodářství a potravinářském průmyslu (mlýny, sila, aj.). K likvidaci škodlivých skladištních roztočů slouží dravý roztoč dravčík spízní (*Cheyletus eruditus* (Schrank, 1781)) (Prostigmata: Cheyletidae) zásah (Honěk & Řezáč. 2008; Honěk et al. 2021).

Predátoři ovšem v lokaci nemusí snižovat počty škůdců pouze predací. Přítomnost predátora v porostu může ovlivnit chování škůdců. Ti se predátorem osídlenému porostu mohou vyhýbat, a přesunou se tak do jiných oblastí. V některých případech může být nově osídlený porost pro škůdce výživově chudý, a škůdci tak mohou vyhladovět (Schmitz et al. 1997; Price et al. 2011).

V případě narušení a snížení populace predátorů, např. pesticidem, může nastat populační nerovnováha, což vede k opětovnému výskytu původních, ale případně i nových, sekundárních, škůdců (Settle et al. 1996). Pokud je člověkem snížena populace škůdců, populace predátora se také může snížit, z důvodu nedostatku kořisti (Symondson et al. 2002).



Obrázek 3: a) Dravý roztoč *Typhlodromus pyri*; b) Ploštice klopuška klopuška škrabošková požírající mšici; c) Dravý roztoč skladištník spízní požírající svoji kořist.

Zdroj: a) <http://user.mendelu.cz/>; b) <https://entocare.nl>; c) <https://bioone.org>

3.4 Kořist přirozených nepřátel

Přirození nepřátelé si vybírají svoji kořist dle její dostupnosti a preference výběru (viz 3.3.1 Rozdělení predátorů dle rozsahu konzumované potravy). Člověk ovšem vyžaduje, aby jejich primární kořistí byli škůdci. Škůdci jsou organismy, kteří svým působením poškozují plodinu a tím pádem snižují výnos úrody (Kreuter 2002). Dle Kreuter (2002) ovšem škůdci v ekologickém systému přírody vůbec neexistují, tuto nálepku jim vtiskl pouze člověk.

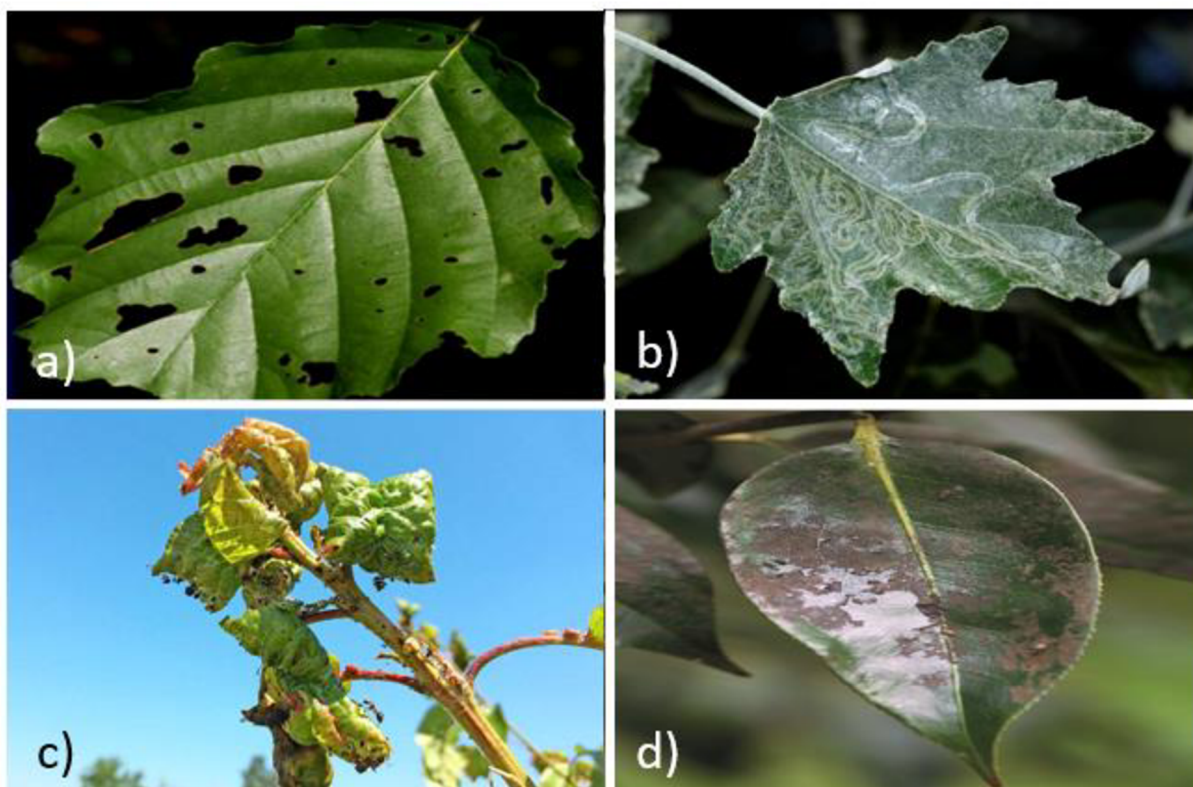
3.4.1 Škůdci hospodářských plodin

Názory na dělení škůdců se u mnoha autorů liší. Škůdci se nejčastěji rozdělují podle šíře svého potravního spektra na monofágy, oligofágy a polyfágy. Monofágové jsou vázání na jeden druh rostliny. Oligofágové jsou vázání na více druhů rostlin ze stejné čeledi nebo jen na několik druhů rostlin téhož rodu. Polyfágové jako potravu využívají velmi široký okruh rostlin různých druhů, rodů i čeledí a může se u nich vyskytovat potravní preference (Kazda et al. 2003).

Škůdci s kousacím ústrojí mohou poškozovat rostlinu tak zvaným žírem. Výsledek žiru se nazývá požerek a škůdci ho mohou tvořit na různých částech rostliny, a to buď na povrchu, nebo i uvnitř rostlinných orgánů. Dle vzhledu a velikosti plochy poškozených pletiv rostlin lze požerky dělit na dírkování, okénkování (Obrázek 4 a)), zoubkování, hrubý žír, holožír, skeletování, či minování (Obrázek 4 b)) (Kazda et al. 2003). Žír kupříkladu způsobují některé larvy z čeledi motýlů (Lepidoptera) (Linnaeus, 1758), kterým se obecně říká polypodní larvy typu housenka, anebo larvy či dospělci z řádu brouků (Coleoptera) (Linnaeus, 1758) (Resh & Cardé 2009). Mezi známé polní evropské škůdce patří např. velmi rozšířené housenky běláška zelného (*Pieris brassicae* (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Pieridae) (Mushtaque & Mohyuddin 1984), anebo housenky makadlovky řepné, které se v posledních letech v České republice rozšiřují kvůli teplejším a sušším ročníkům (Holý 2021). V sadech mohou škodit housenky drvopleně hrušňového (*Zeuzera pyrina* (Linnaeus, 1761)) (Lepidoptera: Cossidae), který napadá slabší kmeny a větve nejenom ovocných stromů (UKZÚZ ©2014 – 2022). Některé housenky motýlů mají dokonce i tracheální žábry a živí se vodními rostlinami. Ovšem ne všechny housenky lze považovat za škůdce. Některé jsou dravé, a mohou požírat např. i mšice (Resh & Cardé 2009).

Škůdci s bodavě savým ústním ústrojím poškozují rostlinu sáním, kdy z rostliny odjímají živiny. Také mohou být přenašeči rostlinných patogenů. U škůdci napadených rostlin nastává nerovnoměrný růst pletiv, který se projevuje různými deformacemi, např. propadlými místy, zakrucováním listů (Obrázek 4 c)), aj. (Kazda et al. 2003). Mezi škůdce s bodavě savým ústrojím patří zástupci řádu polokřídlic (Hemiptera) (Linnaeus, 1758), např. mšice, či podřád křísi (Auchenorrhyncha), kteří jsou významnými škůdci ve sklenících, ale i na polích. Mnoho těchto škůdců navíc vylučuje nadbytek cukrů získaných z rostlinných šťáv ve formě medovice, která ulpívá na povrchu rostlin. Tato medovicová vrstva často bývá prorůstána saprofytickými houbami, tzv. černěmi, které zčásti blokují průběh fotosyntézy (Obrázek 4 d)) (Rod 2017).

Nutno dodat, že škůdci mají na rostliny i další sekundární negativní vliv. Poškozené rostliny jsou oslabené, a tím pádem jsou i náchylnější k napadení patogenem. (Kazda et al. 2003).



Obrázek 4: a) Okénkování listu; b) Minování listu; c) Deformace listů způsobená bodavě savým hmyzem; d) Čern na listu.

Zdroj: a), b) [Symptomatologie-a-jeji-vyuziti-pri-diagnostice-chorob-a-skudcu-okr-drevin.html](https://www.agromanual.cz); c) <https://www.agromanual.cz>; d) <https://www.floranazahrade.cz>

3.4.2 Obranné chování kořisti vůči predátorům

Díky evoluci se u kořisti vyvinulo mnoho typů obranného chování, které lze dle účelu a načasování, v rámci interakce s predátorem, rozdělit na primární, sekundární a terciální. Avšak mnohdy se tyto typy v určitých situacích prolínají (Price et al. 2011).

Primární obranné chování zahrnuje mechanismy a uzpůsobení, které mají zabránit detekci kořisti predátorem. Kořist toho může docílit snížením své aktivity v situaci, kdy je predátor na blízku. Některá kořist odstraňuje a skrývá důkazy o své přítomnosti, např. odstraňováním nahromaděného trusu, nebo si vytváří úkryty. Dalším uzpůsobením je maskování, které má za cíl co nejvíce splynout s prostředím díky svému zabarvení, kresbě anebo tvarem těla (Obrázek 5 a). Naopak některé jedovaté druhy kořisti využívají opačnou strategii, kdy pomocí svého nápadného zbarvení upozorní nepřítele na svoji jedovatost, a tím pádem ho odradí. Mnoho nejedovatých druhů svým vzhledem napodobují druhy jedovaté. Toto přejímání znaků nese označení mimikry (Price et al. 2011). Nejednoznačným obranným mechanismem je velikost těla kořisti. Při větších rozměrech hrozí kořisti zvýšená pravděpodobnost detekce a ulovení především predátorem - obratlovcem, avšak při útoku bezobratlým predátorem má kořist s většími rozměry zvýšenou pravděpodobnost útoku se ubránit (Whitman & Vincent 2008).

Sekundární obranné chování má především odradit predátora od chycení kořisti (Price et al. 2011). Housenky některých druhů motýlů mají tělo pokryté chlupy (Obrázek 5 b), či ostny, které bývají často toxické (Evans 1983). Jiné organismy, nejenom housenky, na predátora útočí

přímým fyzickým útokem, např. kousnutím, úderem hlavy, vymrštěním, kroucením anebo úderem těla. Útok při zapojení celého těla může mít za následek spadnutí z rostliny, a tím pádem i vzdálení se od predátora. Dalším typem ochrany je chemická obrana, kupříkladu regurgitace³, defekace či vypuzování sekretů ze sekrečních žláz, které mají na predátora repelentní (tj. zapuzující), účinek (Greeney et al. 2012).

Terciální obranné chování je využíváno ve fázi, kdy je kořist chycena a není schopna uniknout, tudíž je nucena provést protiútok (Price et al. 2011). Některé druhy kořisti vylučují toxiny, které mohou přivodit i smrt predátora, anebo kroucí svým tělem (Greeney et al. 2012).

K dalšímu příkladu obranného chování patří vyměšování poplašných feromonů, např. u mšice kyjaty hrachové (*Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776)) (Hemiptera: Aphididae), jejichž cílem je varovat ostatní škůdce na přítomnost predátora (Schwartzberg et al. 2008).



Obrázek 5: a) Krycí zbarvení kozlíčka dazule (*Acanthocinus aedilis* (Linnaeus, 1758)) (Coleoptera: Cerambycidae); b) Morfologická obrana housenky motýla bourovce ostružiníkového (*Macrothylacia rubi* (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Lasiocampidae).

Zdroj: a) <https://ekolist.cz>; b) <https://motyli.kolas.cz>

3.5 Modelové organismy

3.5.1 Zlatoočka obecná (*Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836)) (Neuroptera: Chrysopidae)

Ve světě je využíváno vícero druhů rodu zlatoočka, avšak v Evropě převládá zlatoočka obecná (Senior & McEwen 2001), která je hojně rozšířena i ve volné přírodě na území České republiky (Jedlička et al. 2004).

Dospělci mají podlouhlé zelené tělo, o délce mezi 1,2–2 cm, se čtyřmi průhlednými síťovanými křídly (Obrázek 6 a)). Jejich složené oči mají jasně zlatavý lesk. Živí se rostlinným pylem a nektarem. Samice kladou 100–900 vajíček o velikosti jednoho milimetru na dlouhých stopkách (Obrázek 6 b)). Za dva týdny se z vajíček líhnou larvy (Obrázek 6 c)). Ty prochází přes tři larvální stádia. Vývoj může trvat až 4 týdny a končí zakuklením v kokonu (Obrázek 6 d)). Larvy mohou měřit od 0,3–2 cm. Tělo mají světlé s tmavými skvrnami, bradavkovitými výběžky a s třemi páry končetin. Na tělo si nalepují vysátá těla kořisti (Šefrová 2006).

³ Regurgitace = vyloučení natrávené potravy ústním otvorem (Raška 2022)

Na hlavě mají dlouhé zahnuté čelisti, kterými uchopují kořist. Do těla kořisti vstříkují trávicí tekutiny, které natráví tkáň, které následně larva vysaje (New 2001).



Obrázek 6: Vývojová stádia zlatoočky obecné: a) dospělec; b) vajíčko; c) larva požírající kořist; d) kukla.

Zdroj: a), b) <https://www.biolib.cz>; c) vlastní zdroj; d) <https://nathistoc.bio.uci.edu>

3.5.1.1 Využití zlatooček v biologické ochraně

Dle Seniora & McEwena (2001) jsou larvy zlatoočky více než 250 let považovány za účinné predátory mšic a dalších členovců. V průběhu 20. století bylo publikováno mnoho studií o využití larev ve sklenících, na polích i sadech a také o kombinaci využití těchto bioagens společně s chemickou ochranou. Výsledky těchto studií ukázaly velký potenciál zlatooček v biologické ochraně. K rozsáhlejšímu využívání těchto predátorů také pomohly studie, které komerčním společnostem usnadnily chov a distribuci zlatooček (Senior & McEwen 2001), např. nalezením vhodné umělé potravy (Hagen & Tassan 1965).

Larvy zlatooček jsou díky svým vlastnostem velmi efektivními bioagens. Vynikají ve vyhledávání potravy, která probíhá především v noci (Bond 1980) a požírají různá vývojová stádia širokého spektra kořisti, do kterého spadá mnoho hospodářských škůdců, kupříkladu zástupci z řádu polokřídli (Hemiptera) (Linnaeus, 1758), třásnokřídli (Thysanoptera) (Haliday, 1836) anebo housenky motýlů (Canard 2001). Mají velký predační potenciál, jedna larva je schopna za svůj život zkonsumovat i přes 500 mšic (Šefrová 2006). Avšak i přes široké spektrum potravy mají larvy vysoké nároky na nutriční hodnotu potravy. Kvůli tomuto důvodu skončilo mnoho experimentů neúspěchem, jelikož larvy uhynuly kvůli nedostatku živin. Benefitem využití zlatooček je jejich odolnost vůči několika druhům pesticidů. Dále se

vyznačují svou schopností rychlé reprodukce (Senior & McEwen 2001). Dospělci žijí poměrně dlouho, díky čemuž mohou za život naklást velký počet vajíček (New 1975).

Zlatoočky obecné se mimo jiné přirozeně vyskytují ve volné přírodě téměř po celé Evropě. Toho lze v biologické ochraně využít za pomoci atraktantů⁴. Bylo zjištěno, že některé látky rostlinného původu, např. skvalen, jsou pro dospělé zlatooček atraktivní (Koczor et al. 2019). Další ze studií z nedávných let dokázala, že samice zlatooček kladly vajíčka v blízkosti aplikovaných ternárních směsí, které jsou složeny ze tří organických látek rostlinného původu: fenylacetaldehydu, methylsalicyátu a kyseliny octové (Koczor et al. 2017).

Bylo zjištěno několik příčin neúspěšné biologické ochrany pomocí zlatooček. Mimo výše zmíněnou nízkou nutriční hodnotu kořisti, může být smrt predátorů způsobena toxicitou kořisti. Toxicita může být ovlivněna stravou kořisti (Emrich 1991). Nízká účinnost larev také může nastat na rostlinách, které svou morfológickou strukturou znesnadňují pohyblivost a vyhledávací schopnost larev, např. voskovité listy u hlávkového zelí (*Brassica oleracea* convar. *Capitata* (L.)) (Brassicales: Brassicaceae) (Eigenbrode et al. 1995).

3.5.2 Kovolessklec gama (*Autographa gamma* (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Noctuidae)

Tento motýl je teplomilný a vlhkomilný. Na území České republiky se vyskytuje díky migraci z jižní Evropy (Agromanuál © 2020). V letech 1961 a 1962 bylo v Československu zaznamenáno přemnožení jeho housenek, které způsobily velké škody na polích cukrové řepy (Novák 1975). Dospělec tohoto motýla má tmavě fialová až šedá křídla s rozpětím kolem 4 cm, se stříbřitě lesklou skvrnou ve tvaru písmene gama (Obrázek 7 a)). Samice klade 0,5 cm velká vajíčka s žebérky jednotlivě na spodní strany listů (Obrázek 7 b)). Larvou je housenka, která je zelená, až hnědozelená, s jemnými vlnitými hřbetními pruhy a žlutým postranním pruhem (Obrázek 7 c)) a kuklí se za 2–3 týdny (Obrázek 7 d)). Má tři páry panožek, při pohybu ohýbá tělo do oblouku (píd'alkovitý pohyb) a dorůstá délky až 4 cm. Housenky žírem listů škodí na velkém spektru rostlin. Kupříkladu na cukrové řepě má jejich žír má za následek výsledek snížení výnosu bulev a cukernatost, dále škodí na polní zelenině, okrasných rostlinách nebo luštěninách (Agromanuál © 2020) . Přirozeným nepřítelem housenek jsou parazitoidi, např. z řádu blanokřídli (Noyes 2019).

⁴ Atraktant - látka podmiňující pohyb organismů



Obrázek 7: Vývojová stádia druhu kovolessklec gama: a) dospělec; b) vajíčko; c) housenka; d) kukla.
 Zdroj: a) <https://www.syngenta.cz>; b) <http://www.pisvojvodina.com>; c), d) <https://www.biolib.cz>

3.5.3 Mšice sp. (*Aphis* sp. (Linnaeus, 1758)) (Hemiptera: Aphididae)

Do této skupiny patří mnoho druhů mšic, monofágních i polyfágních (Obrázek 8). Při vysoké hustotě populace vytvářejí velké škody na širokém spektru hospodářských plodin (Resh & Cardé 2009). Škody způsobené mšicemi jsou shrnuty v podkapitole 3.4.1 Škůdci hospodářských plodin.

Velikost těla mšic se pohybuje od jednoho do šesti milimetrů, zbarvené jsou většinou do černa, hněda, či zelena. Mají bodavě savé ústní ústrojí. Larvy i dospělci žijí v koloniích, přičemž dospělci mohou tvořit jak okřídlené tak bezkřídle formy. Životní cyklus mšic bývá mezi druhy odlišný, avšak ke společným znakům patří např. střídání partenogenetických a sexuálních stádií anebo schopnost velmi rychlé reprodukce, za rok mohou mít až 16 generací. Mezi přirozené nepřátele mšic řadíme zástupce z čeledi zlatoočkovitých nebo sluněčkovitých (Resh & Cardé 2009).

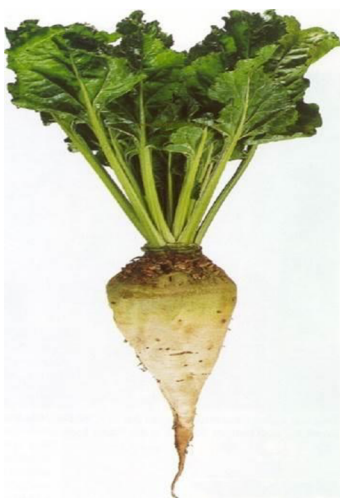


Obrázek 8: Mšice maková (*Aphis fabae* (Scopoli, 1763)) (Hemiptera: Aphididae).

Zdroj: <https://www6.inrae.fr>

3.5.4 Cukrová řepa (*Beta vulgaris* var. *altissima*) (Caryophyllales: Amaranthaceae)

Nazývaná také jako cukrovka. Jedná se o dvouletou bylinu s kuželovitou protaženou žlutobílou bulvou (Obrázek 9), která je z větší části pod zemí. Chrást může dosahovat délky 1,5 m (Hejný & Slavík 2003). Je náročná na výživu a kvalitu půdy, a pěstuje se v řepářských, kukuřičných a bramborářských oblastech pro následné zpracování v potravinářském a fermentačním průmyslu, především pro výrobu cukru (Pulkrábek et al. 2007). V České republice byla osevní plocha cukrové řepy v roce 2021 vyměřena přes 61 tisíc hektarů (Český statistický úřad 2022). Mezi škůdce cukrové řepy řadíme např. mšice, dále zástupce z čeledi květilkovití (Anthomyiidae) a motýlů (Pulkrábek et al. 2007).



Obrázek 9: Cukrová řepa

Zdroj: <https://web2.mendelu.cz>

4 Metodika

4.1 Modelové druhy

4.1.1 Predátor: Zlatoočka obecná (*Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836)) (Neuroptera: Chrysopidae)

Dravé larvy predátora byly chovány německou společností Koppert Biological Systems a dodány distributorem BIOCONT LABORATORY, spol. s r.o. Tyto larvy byly následně chovány v laboratoři při teplotě 23 °C po dobu pěti dnů.

K experimentu II. bylo odděleno 43 larev (experiment I. nezahrnoval predátory). Larvy se chovaly jednotlivě v Petriho miskách, o průměru 9 cm, s filtračním papírem. Každých 48 hodin byl filtrační papír způli navlhčen vodou pro zachování optimální vlhkosti a do každé Petriho misky bylo jako krmivo přidáno 5 mšic (Hemiptera: Aphididae) (celkem 15 mšic na jednu zlatoočku před zahájením pokusu).

Chov k experimentu III. probíhal s 1000 jedinci larev predátora (garantováno dodavatelem) v umělohmotném boxu s rozměry 16,5 x 6,5 cm, který obsahoval obaly (slupky) od pohanky jedlé (*Fagopyrum esculentum* (Moench)) (Caryophyllales: Polygonaceae), se kterými byly larvy dodány, a navlhčený papírový ubrousek. Vývin a růst predátora probíhal díky kanibalismu, ke kterému docházelo již při přepravě v původním balení. Larvy nebyly krmeny mšicemi, jelikož ty byly použity do preferenčních testů potravy v experimentu III., a tak nebylo žádoucí, aby predátor se mšicemi přišel do kontaktu již před pokusem.

4.1.2 Kořist I. (škůdce): Kovolessklec gama (*Autographa gamma* (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Noctuidae)

Housenky škůdce byly sbírány na poli s cukrovou řepou (*Beta vulgaris* var. *altissima*) u obce Horoměřice (50.1304400N, 14.3264067E), ve dnech 31. července 2021 k experimentu I. a 20. července 2021 k experimentu II. a III. Housenky byly uchovávané v plastovém boxu s rozměry 16,5 x 6,5 cm, za stejných laboratorních podmínek jako larvy predátora (teplota 23 °C). Box obsahoval listy cukrové řepy, které sloužily jako potrava a úkryt.

Pro experiment III. byly využity housenky s podobnou velikostí těla, stanovenou pomocí délky těla. Průměrná hodnota délky těla těchto housenek byla 1,29 cm. Do všech experimentů byly housenky využity v rámci dvou hodin.

4.1.3 Kořist II. (škůdce): rod Mšice (*Aphis* (Linnaeus, 1758)) (Hemiptera: Aphididae)

Mšice byly sbírány v lokalitě Praha-Suchdol (50.1352094N, 14.3743744E; 50.1302733N, 14.3808414E). Mšice, které sloužily k výkrmu larev predátora, byly sbírány dne 14. července 2021 a uchovávané v plastovém boxu s rozměry 16,5 x 6,5 cm, při teplotě 23 °C.

Mšice, které byly použity k experimentu III., byly sbírány dne 21. července 2021 a uchovávané ve stejných podmínkách. Do experimentu III. byly vybírány mšice s podobnou velikostí, průměrná délka těla těchto mšic byla 4,6 mm. Do experimentu III. byly mšice využity v rámci dvou hodin.

4.1.4 Rostlina: Cukrová řepa (*Beta vulgaris* var. *altissima*) (Caryophyllales: Amaranthaceae)

Pole s cukrovou řepou se nacházelo u obce Horoměřice (50.1304400N, 14.3264067E). Z této lokality byl proveden sběr housenek ve dnech 31. července 2021 k experimentu I. a 20. července 2021 k experimentu II. a III.

Byl zde i proveden jednorázový monitoring 31. 7. 2021.

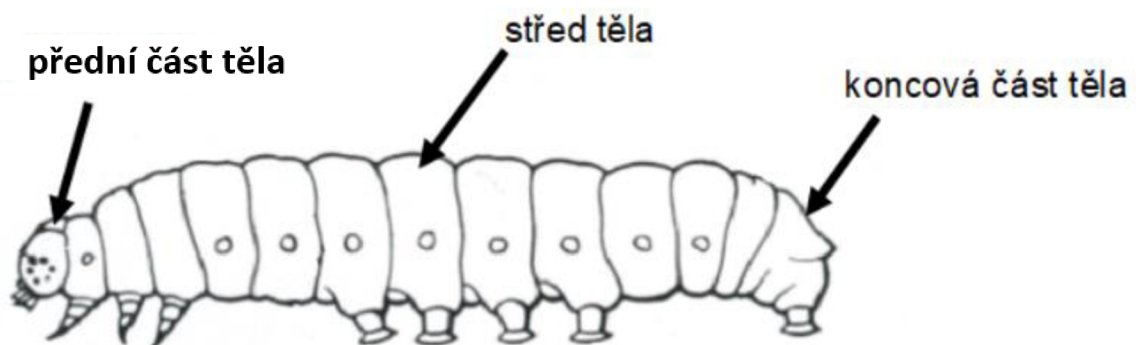
4.2 Experimenty

4.2.1 Experiment I.

Obranné chování kořisti vůči útoku predátora

Jednotlivé typy obraného chování housenek škůdce kovolessklec gama byly zjištěny pomocí simulace útoku predátora. Každá housenka byla umístěna do Petriho misky (průměr 9,5cm) a pomocí měkké entomologické pinzety byl simulován útok predátora. Bylo použito 13 housenek. Každá housenka (n=13) byla podrobena útoku pinzetou v náhodném pořadí na tři části těla: přední část těla (hlava), střed těla, koncová část těla (Obrázek 10). Chování kořisti bylo zaznamenáváno na videozáznam digitálního mikroskopu Hirox–RH 2000. Z videozáznamu se zpětně určily tři typy obraného chování: 1) útok hlavou - tj. úder hlavou proti predátorovi; 2) třes - tj. silný třes celého těla a 3) sekrece obranných látek – tj. vyloučení zeleného výměšku.

Zaznamenaná data byla statisticky zpracována pomocí programu R 3. 63. 3. (R Core Team 2020).



Obrázek 10: Vymezená místa zásahu na housence při simulaci útoku predátorem.

Zdroj: <https://web-zoopark.ru>

4.2.2 Experiment II.

Vliv velikosti těla a obranného chování kořisti na predaci

V experimentu bylo použito 43 larev predátora, které byly jednotlivě vloženy do Petriho misek s průměrem 6 cm (n=43). Po dvaceti minutách byla do Petriho misky přidána jedna housenka škůdce druhu kovolessklec gama, a ihned poté byl pořízen videozáznam pomocí digitálního fotoaparátu Nikon D-800 (délka 30 minut). Ze záznamu byly zpětně zaznamenány všechny interakce mezi modelovými organismy - tj. situace, kdy byly kořist a predátor v blízké

vzdálenosti, respektive kořist byla zaregistrována predátorem. V rámci každé interakce bylo u predátora zaznamenáno predáční chování a u kořisti obrané chování.

Zaznamenaná data byla statisticky zpracována pomocí programu R 3. 63. 3. (R Core Team 2020). Z videozáznamu v programu ImageJ byla zpětně změřena velikost těla modelových organismů, a housenky byly rozděleny podle velikostí těla na tři skupiny: malé (rozmezí 0,6 - 1,25 cm), střední (rozmezí 1,3 – 2,4) a velké (rozmezí 2,7 – 4 cm).

4.2.3 Experiment III.

Preference potravy predátora

V experimentu bylo použito 17 larev predátora, které byly jednotlivě vloženy do Petriho misek s průměrem 6 cm (n=17). Po dvaceti minutách byla do Petriho misky přidána jedna housenka škůdce druhu kovošklec gama (do experimentu se vybíraly housenky s podobnou velikostí těla) a jedna mšice, a ihned poté byl pořízen videozáznam (délka 30 minut). Ze záznamu byly zpětně zapsány všechny interakce mezi modelovými organismy. V rámci každé interakce bylo u predátora zaznamenáno predáční chování.

Zaznamenaná data byla statisticky zpracována pomocí programu R 3. 63. 3. (R Core Team 2020). Z videozáznamu v programu ImageJ byla zpětně změřena velikost housenek a larev predátora.

4.2.4 Monitoring modelových organismů

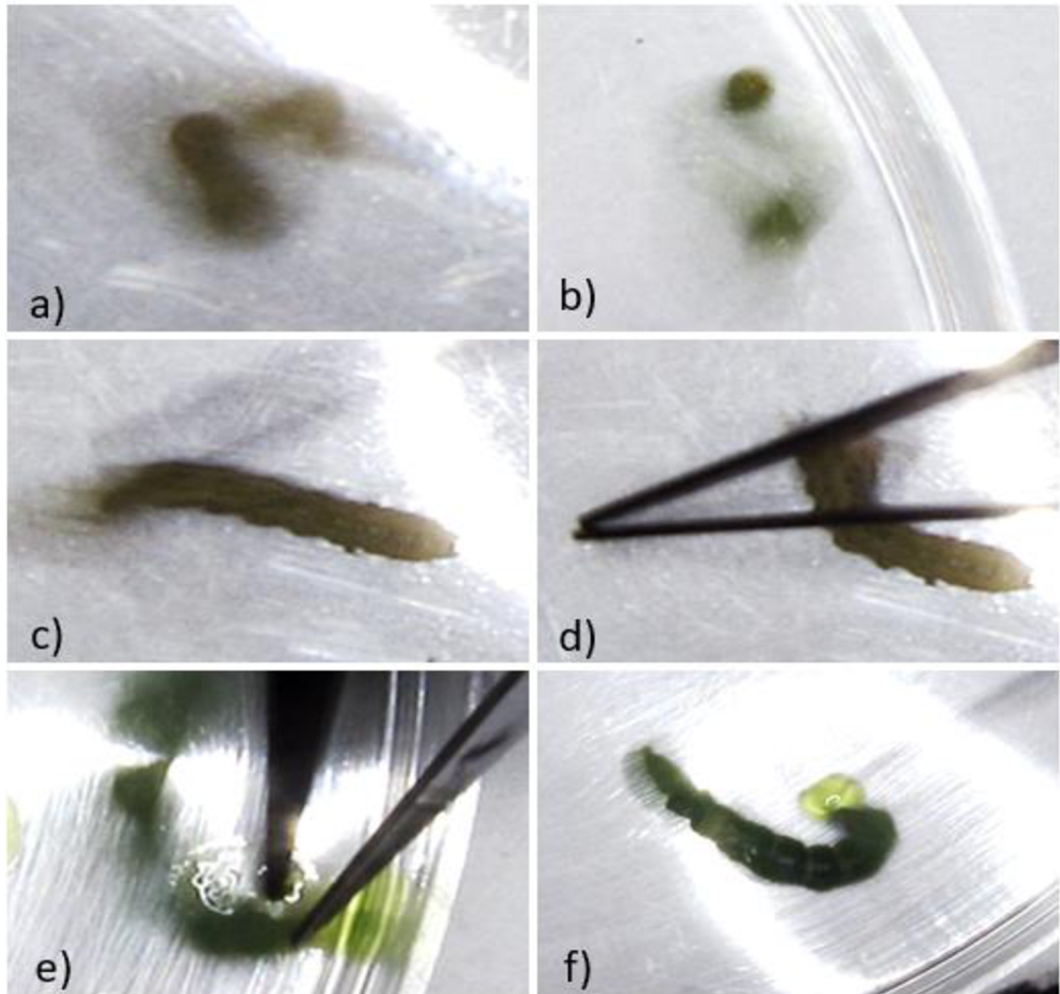
Jednorázový monitoring proběhl na poli s cukrovou řepou (*Beta vulgaris* var. *altissima*) u obce Horoměřice (50.1304400N, 14.3264067E) dne 31. července 2021 v dopoledním čase (9:00-12:00). Monitoring probíhal za pomoci smýkadla (30 cm v průměru) ve dvou přímých liniích s hranicí pozemku. První linie byla vzdálena 10 metrů od hranice pozemku a druhá 50 metrů. V každé linii bylo provedeno 40 smyků. Byl pozorován a zapsán výskyt larev i dospělců predátora zlatoočky obecné a housenek škůdců u druhů kovošklec gama, můry zelné (*Mamestra brassicae* (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Noctuidae) a larev i dospělců mšic (rod *Aphis*). Byla pořízena fotodokumentace krajní hranice pozemku, celého pozemku a oblasti v liniích.

5 Výsledky

5.1 Obranné chování kořisti

5.1.1 Zjištěné typy obranného chování kořisti

V rámci experimentu byly u kořisti druhu *Kovalesklec gama* zjištěny tři typy obranného chování při simulovaném útoku predátora: 1) třes těla, 2) útok hlavou a 3) sekrece obranných látek. Zjištěné typy obranného chování kořisti jsou dokumentovány na Obrázku 11.



Obrázek 11: Fotografické zobrazení třech typů obranného chování kořisti proti simulovanému útoku predátora: a), b) třes těla; c), d) útok hlavou; e), f) sekrece obranných látek.

5.1.2 Preference typu obranného chování kořisti

Z celkového počtu pozorovaných housenek ($n=13$) vykazovalo obranné chování typu třes těla, útok hlavou nebo sekrece obranných látek 11 jedinců housenek proti simulovanému útoku predátora.

Bylo zjištěno, že:

- celkový počet obranného chování byl pozorován u 9 housenek a byl roven 22, oproti tomu 3 housenky nevykazovaly žádný typ obranného chování vůči simulovanému útoku
- nejčastěji použitým typem obranného chování byl třes těla, který zvolilo 9 housenek celkem 16krát
- nejméně použitým obranným typem byl útok hlavou, který byl zpozorován pouze jedenkrát
- u osmi housenek byl zaznamenán pouze jeden typ obranného chování: v sedmi případech se jednalo o třes těla, v jednom o sekreci obranných látek
- u tří housenek byly zaznamenány dva typy obranného chování, jednalo se o třes těla a sekreci
- všechny tři typy obranného chování nevykonala žádná housenka
- každá housenka v rámci všech tří útoků vykonala v průměru dva typy obranných reakcí.

5.1.3 Obranné chování kořisti v závislosti na místě simulovaného útoku predátora

Celkový počet typů obranných reakcí v závislosti na místě simulovaného útoku predátora a podíl reagujících housenek na simulovaný útok predáčním chováním je shrnut v Tabulce 1. Z tabulky je patrné, že nejvíce obranného chování typu třes těla probíhal při simulovaném útoku predátora na střed těla. Oproti tomu obranné chování typu sekrece obranných látek probíhal nejčastěji při útoku na přední část těla.

Pomocí tohoto experimentu, bylo statisticky prokázáno, že počet typů obranných reakcí závisel na umístění útoku ($p=0,029$; $n=13$). Počet typů obranného chování byl nejvyšší při simulovaném útoku na přední část těla, kdy housenky vykazovaly všechny tři typy obranného chování. Oproti tomu, při simulovaném útoku na koncovou část těla, housenky reagovaly pouze obranným typem třes těla.

Marginálně signifikantní byl vliv umístění simulovaného útoku predátora (přední část těla, střed těla, koncová část těla) na spuštění obranného chování kořisti ($p=0,056$; $n=13$). Kdy nejvyšší počet spuštěného obranného chování vyvolal simulovaný útok na přední část těla kořisti (Tabulka 1).

Tabulka 1: Souhrn počtu obranných reakcí kořisti proti simulovanému útoku predátora v závislosti na místě útoku a podíl reagujících housenek na simulovaný útok predátora.

	třes těla	útok hlavou	sekrece obránných látek	podíl reagujících housenek
hlavová část těla	5	1	4	0,54
přední část těla	7	0	1	0,54
koncová část těla	4	0	0	0,31

5.2 Obranné chování kořisti vůči predátorovi

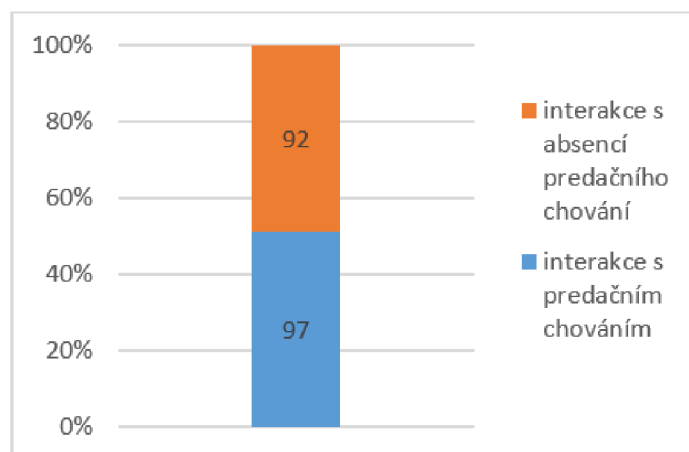
5.2.1 Predační chování

Z celkového množství sledovaných pokusných zvířat (n=86) umístěných v Petriho miskách (n=43) proběhlo celkem 189 interakcí mezi predátorem a kořistí.

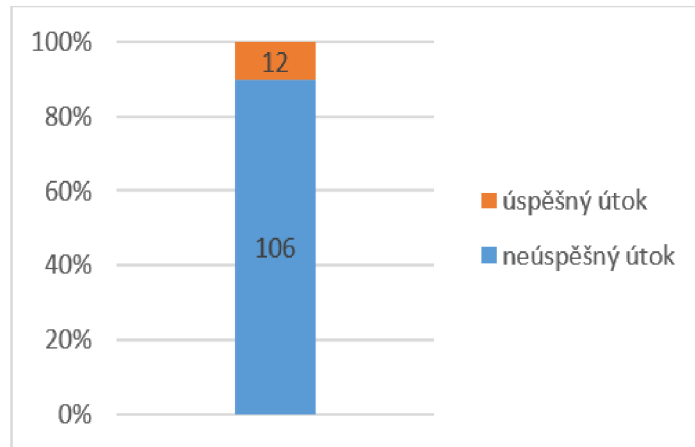
Bylo zjištěno, že:

- v rámci 92 interakcí nebylo zaznamenáno predáční chování zlatooček
- v rámci 97 interakcí bylo zaznamenáno 118 útoků
- 106 útoků bylo vyhodnoceno jako neúspěšných, tj. útok, který nebyl zakončený ulovením kořisti
- 12 útoků bylo vyhodnoceno jako úspěšných, tj. útok, který byl zakončený ulovením a usmrcením kořisti
- průměrný počet útoků v rámci jedné Petriho misky byl stanoven na 2,7 útoku
- průměrný počet útoků v rámci jedné interakce byl stanoven na 0,66 útoku
- z celkového počtu útoků (118) predátor uchopil do čelistí kořisti celkem 36krát
- celkový počet uchopení kořisti do čelistí při neúspěšných útocích byl roven 25
- průměrný počet uchopení kořisti do čelistí, přepočteno na jednu Petriho misku, ve které proběhl úspěšný útok, byl stanoven na 1,6 uchopení kořisti.

Grafické zobrazení poměrů interakcí s predáčním chováním oproti útokům s absencí predáčního chování znázorňuje Graf 1. Dále zobrazení poměrů úspěšných a neúspěšných útoků znázorňuje Graf 2.



Graf 1: Procentuální zobrazení interakcí s predáčním chováním vůči útokům s absencí predáčního chování ve vztahu k celkovému počtu interakcí mezi kořistí a predátorem.



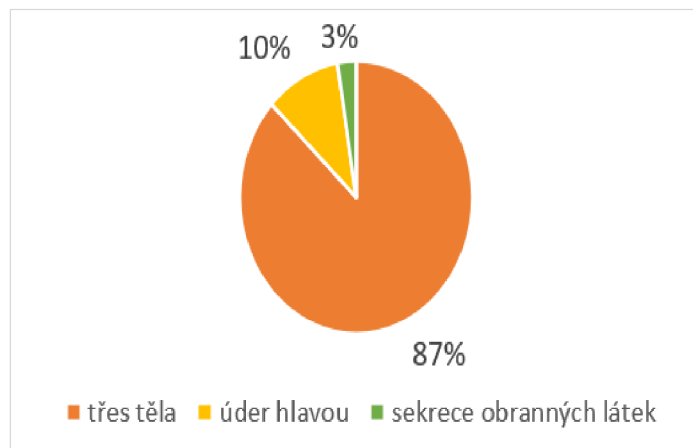
Graf 2: Procentuální zobrazení úspěšných a neúspěšných útoků v rámci všech interakcí s predačním chováním.

5.2.2 Obranné chování kořisti při interakci s predátorem

V rámci celkového počtu interakcí (189) bylo zaznamenáno 77 obranných reakcí typů třes těla, úder hlavou anebo sekrece obranných látek. Průměrný počet obranných reakcí jedné housenky byl stanoven na 1,8 obrannou reakci. Housenky vykonaly více obranných reakcí v případech, když byly predátorem uchopeny do čelistí ($p=0,001$; $n=34$).

V rámci 106 neúspěšných útoků bylo zaznamenáno celkem 66 obranných reakcí. Oproti tomu pro 12 úspěšných útoků bylo zaznamenáno 11 obranných reakcí.

Z celkového počtu obranných reakcí (77) byl 67krát zaznamenán třes těla, osmkrát úder hlavou a dvakrát sekrece obranných látek. Procentuální zhodnocení obranného chování v rámci všech interakcí (189) znázorňuje Graf 3.



Graf 3: Procentuální vizualizace třech typů obranného chování housenek vůči predátorovi.

5.2.3 Vliv velikosti těla kořisti na efektivitu obranného chování

Po statistickém zpracování dat, při kterém byly využity interakce s predačním chováním, kdy kořist vykazala alespoň jednu obrannou reakci ($n=65$), bylo zjištěno, že velikost těla má vliv na efektivitu obranného chování ($p=0,007$; $n=43$). Rozdělení housenek dle velikosti těla a shrnutí jednotlivých parametrů vyjadřuje Tabulka 2. Pro možnost porovnání výsledků byly celkové sumy přepočteny na průměr na jednu housenku (Tabulka 3).

Ze získaných dat je patrné (Tabulka 3):

- predátoři nejčastěji útočili na střední housenky ($\bar{x}=4,3$), se kterými se i nejvíce střetávali ($\bar{x}=7,25$)
- predátoři častěji útočili na malé housenky ($\bar{x}=2$), než na velké ($\bar{x}=1,5$), i přes to, že s malými housenkami měli menší počet střetů ($\bar{x}=1,9$) než s velkými ($\bar{x}=6,6$)
- malé housenky byly častěji uloveny ($\bar{x}=0,4$), a to i přes relativně malý počet útoků predátora ($\bar{x}=2$) a vyšší počet obranného chování ($\bar{x}=1,4$)
- velké housenky se byly schopny ubránit (nebyly uloveny predátorem ani v jednom případě), i přes to, že vykazovaly menší počet obranného chování ($\bar{x}=0,6$) oproti menším housenkám (malé $\bar{x}=1,4$; střední $\bar{x}=2,8$).

Tabulka 2: Rozdělení housenek dle délky těla a shrnutí sum parametrů.

	počet housenek	průměrná délka těla [cm]	počet střetů	počet útoků	počet obranného chování	suma ulovených housenek
malé	22	0,97	40	43	30	9
střední	16	1,78	116	68	44	3
velké	5	3,54	33	7	3	0

Tabulka 3: Průměry celkových parametrů v přepočtu na jednu housenku.

	průměrný počet střetů	průměrný počet útoků	průměrný počet obranného chování	průměrný počet ulovených housenek
malé	1,9	2	1,4	0,4
střední	7,25	4,3	2,8	0,2
velké	6,6	1,5	0,6	0

5.2.4 Vliv obranného chování kořisti na úspěšnost útoku predátora

Byla stanovena hypotéza, zda obranné chování housenky snižuje pravděpodobnost úspěšnosti útoku predátora. Avšak po statistickém vyhodnocení interakcí, při kterých proběhl úspěšný útok ($n=12$), vyšel tento předpoklad neprůkazně ($p=0,126$). Obranné chování kořisti nesnížilo pravděpodobnost úspěšnosti útoku. Z celkového počtu úspěšných útoků (12), v devíti případech vykazovaly housenky celkem 10 obranných reakcí typu třes těla a 1 obranou reakcí typu úder hlavou. S absencí obranného chování byly housenky úspěšně uloveny ve třech případech.

Dále byl stanoven předpoklad, že interval mezi interakcemi se bude prodlužovat v závislosti na obranném chování kořisti. Ovšem po statistickém vyhodnocení dat, kde byly brány zřetel interakce s neúspěšnými útoky a s výskytem obranného chování kořisti, nebyl potvrzen očekávaný klesající trend ($p=0,085$; $n=181$).

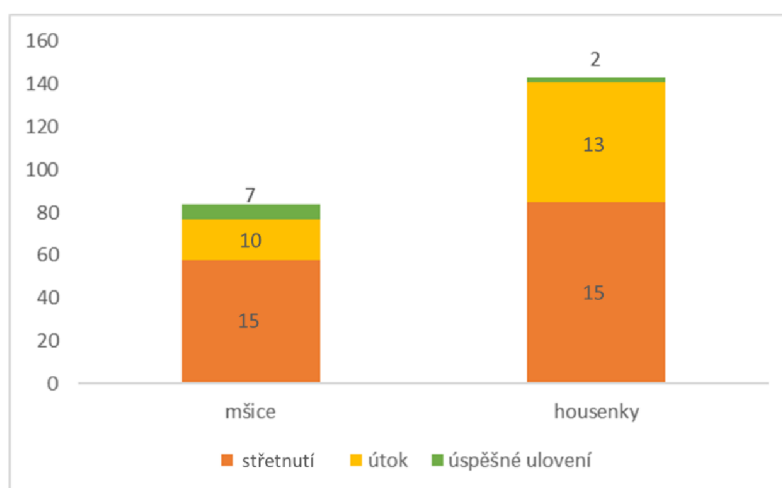
5.3 Preference potravy

Z celkového množství sledovaných pokusných zvířat umístěných v Petriho miskách (n=17) po dobu 30 minut, proběhlo celkem 143 interakcí mezi predátorem a kořistí. Numerický souhrn vyhodnocených parametrů je uveden v Tabulce 4 a interakce mezi predátorem a kořistí z fotodokumentovány v Obrázku 12. Poměry jednotlivých typů interakcí mezi kořistí a predátorem jsou uvedeny v Grafu 4. Predátor vykazoval o 47% více interakcí s kořistí typu housenka ve srovnání s kořistí typu mšice. Interakce byly rozlišeny na: 1) střetnutí kořisti s predátorem; 2) útok predátora na kořist a 3) úspěšné ulovení kořisti. Počet střetnutí se mezi jednotlivými typy kořisti průkazně nelišil ($p=0,081$), ačkoli predátor vykazoval více střetnutí s kořistí typu housenka (85) proti kořistí typu mšice (58). Stejně tak byl počet útoků vyšší na kořist typu housenka (56) než na kořist typu mšice (19).

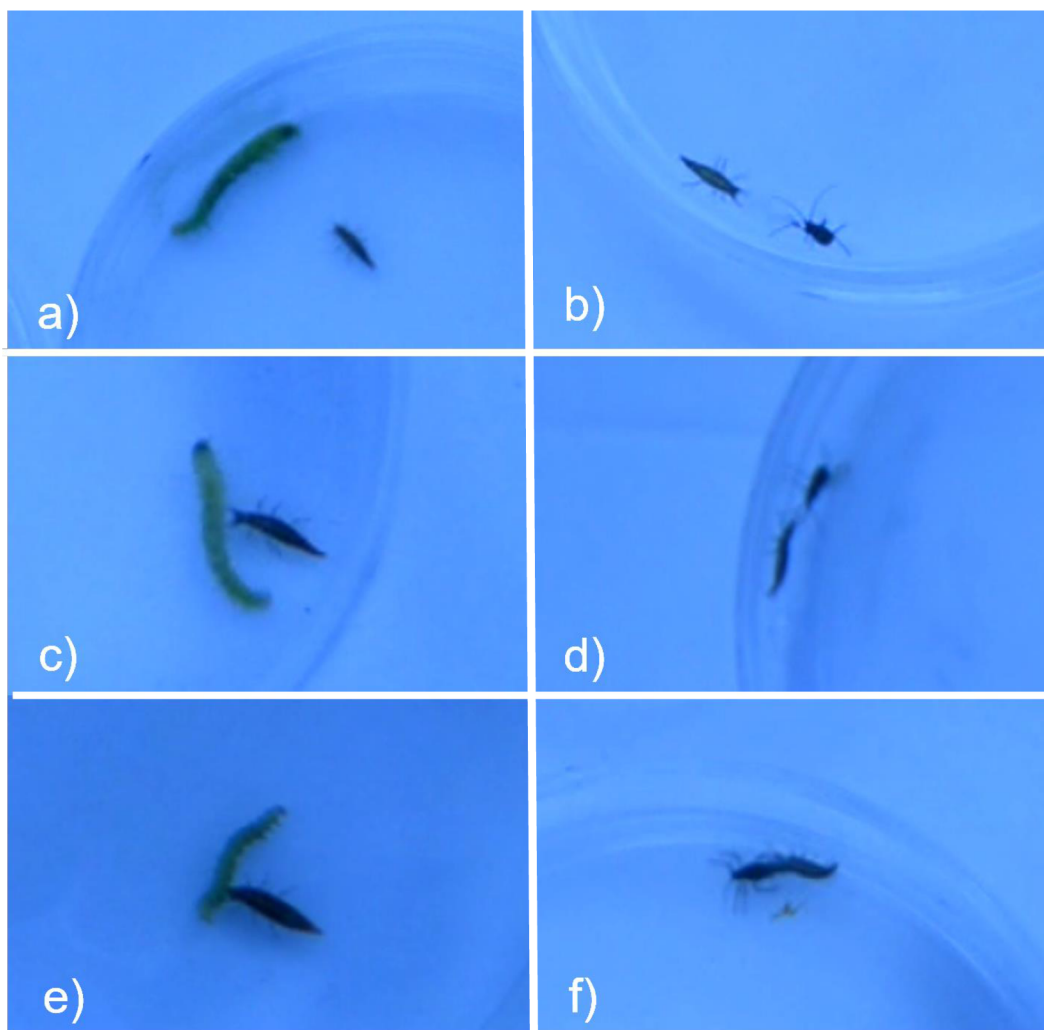
Z celkového počtu kořisti (34) (každá zlatoočka (n=17) měla k dispozici 1 mšici a 1 housenku) bylo uloveno celkem 9 jedinců. Ani jedna zlatoočka neulovila oba dva typy kořisti, ulovila pouze kořist typu housenka (2x) nebo pouze kořist typu mšice (9x). Pro úspěšné ulovení kořisti typu mšice vykonaly zlatoočky v průměru dva útoky, a pro kořist typu housenka vykonaly v průměru sedm útoků. Ačkoliv v úspěšně ulovené kořisti převažuje typ mšice ve srovnání s typem housenka, nebyly tyto výsledky statisticky průkazné ($p=0,179$; n=17).

Tabulka 4: Souhrn vyhodnocených parametrů predáčnického chování zlatooček vůči dvěma druhům kořisti (mšice a housenka).

	střetnutí	útok	úspěšné ulovení
mšice	58	19	7
housenky	85	56	2



Graf 4: Znázornění vyhodnocených parametrů predáčnického chování zlatooček vůči dvěma typům kořisti. U každého typu chování predátora vůči kořisti (střetnutí; útok; úspěšné ulovení) je v grafu uveden počet predátorů, kteří toto chování projeví, z celkového počtu 17 predátorů.



Obrázek 12: Fotografická dokumentace interakcí kořist–predátor: a) střet s kořistí typu housenka; b) střet s kořistí typu mšice; c) útok na kořist typu housenka; d) útok na kořist typu mšice; e) úspěšné ulovení kořisti typu housenka; f) úspěšné ulovení kořisti typu mšice.

5.4 Monitoring v terénu

V rámci jednorázového monitoringu byly na vybrané lokalitě zaznamenány tyto hodnoty: počet mšic, larev a dospělců zlatoočky spp. a počet housenek motýlů kovolessklec gama a můry zelné (viz Tabulka 5). Z tabulky je patrné, že větší počet sledovaných živočichů se vyskytoval blíže k okraji pozemku a v obou sledovaných liniích převládal výskyt mšic v okřídlené formě. Mimo zaznamenané živočichy v tabulce byly na pozemku přítomni i další živočichové, např. z řádu pavouci (Araneae). Vzhled pozemku a zpozorování živočichové jsou zdokumentováni na Obrázku 13.

Tabulka 5: Souhrn zaznamenaných živočichů v rámci jednorázového monitoringu, provedeného 40 smyky smýkadlem ve dvou liniích.

vzdálenost od okraje pozemku	larvy zlatooček	dospělci zlatooček	housenky motýlů	mšice
10 m	1	0	3	15
50 m	0	1	2	10



Obrázek 13: Fotografická dokumentace pole s cukrovou řepu a zpozorovaných živořichů: a) celý pozemek; b) okraj pozemku; c) linie 10 m od okraje pozemku; d) linie 50 m od okraje pozemku; e) zaplevelení 50 m od okraje pozemku; f) zachycený dospělec zlatoočky.

6 Diskuze

Cílem bakalářské práce bylo zaprvé, popsat nově pozorované obranné chování kořisti vůči predaci zlatoočkou obecnou (*Chrysoperla carnea*), které může snížit efektivitu biologické ochrany. Druhým cílem bylo zjistit vztah mezi velikostí těla kořisti a jeho obranným chováním, respektive schopností bránit se predátorovi. Výsledky této práce by měly být přínosem poznatků pro využití zlatoočky obecné v biologické ochraně rostlin, využití proti kořisti vykazující obranné chování.

6.1 Zhodnocení obranného chování housenek

U housenek mnoha druhů motýlů se během evoluce vyvinulo aktivní obranné chování proti predátorům, které lze rozdělit na agresivní a manévrovací obranné chování (Greeney et al. 2012). U housenky druhu kovolessklec gama byly vyzkoušeny tři typy obranného chování (úder hlavou, třes celého těla, sekrece obranných látek). Sekrece probíhala v oblasti koncové části těla, výměšek byl tekutého skupenství a zelené barvy a z pozorování v rámci experimentu II. bylo patrné, že sekret měl na predátory repelentní účinek. Ze vzhledu sekretovaného výměšku bylo usouzeno, že se nejedná o trus, jelikož vzhled trusu housenek je tužší, soudržný a tmavé barvy – černý či hnědý (Beránek 2017; Lochyňska & Frankowski 2018). Mohlo by jít o podobnost sekrece obranných repelentních látek, kterou například využívá housenka druhu martináč atlas (*Attacus atlas* (Linnaeus, 1758)) (Lepidoptera: Saturniidae), která vylučuje ze sekrečních žláz na koncové části těla sekret v malých kapkách, či ho dokonce po predátorech vystříkuje (Deml & Dettner 1994). U housenky druhu kovolessklec gama by byla v budoucnu vhodná pitva pro zjištění morfologické stavby těla a zjištění případných sekrečních žláz.

Obranné chování typu třes těla anebo útok hlavou není pro housenky tolik energeticky náročný (Greeney et al. 2012), oproti sekreci obranných látek (Raška 2022). To by mohlo být důvodem, proč housenky vykazovaly největší počet obranných reakcí typu třes těla (celková suma obranného chování typu třes těla v rámci experimentů II. a III.: 83). Dále také většina housenek vykazovala pouze jeden typ obranného chování v rámci jednoho útoku predátorem v experimentu II. (23 housenek) a to i v rámci simulovaného útoku predátorem v experimentu I. (8 housenek). Důvodem, proč při simulovaném útoku vykazovaly housenky více obranného chování typu sekrece obranných látek (5x) než při útoku predátora zlatoočkou v experimentu II. (2x), mohla být větší intenzita tlaku pinzety – simulovaného útoku, z čehož mohly housenky vyhodnotit, že se jedná o větší nebezpečí.

Je zajímavé, že housenky vykazovaly největší počet obranného chování při simulovaném útoku na přední část těla (hlavu) (10 obranných reakcí), na kterou predátoři ve volné přírodě obvykle neútočí a to kvůli morfologickým charakteristikám hlavy hmyzu (např. kvůli silné sklerotizaci hlavy a kvůli kusadlům) (DuPorte 1957). Na druhou stranu je vyšší citlivost ze strany kořisti na útok predátora na hlavu očekávaný, díky vyšší koncentraci smyslových orgánů v přední části těla (Akent'eva 2011). Naopak nejméně obranných reakcí housenka vykázala při útoku na koncovou část těla (4 obranné reakce).

Vliv obranného chování zhodnocovalo shrnutí Greeney et al. (2012), složeného z mnoha výzkumů zabývajících se obranným chováním housenek. Výsledky studií ukazují, že obranné chování kořisti má vliv na úspěšnost útoku predátora. Ovšem tento výsledek nebyl v mé

bakalářské práci statisticky potvrzen. Důvodem mohly být menší velikosti ulovených housenek (9 malých housenek s průměrnou délkou těla 0,97 cm; 3 střední housenky s průměrnou délkou těla 1,78 cm), které tím pádem vykazují i menší efektivitu obranného chování (diskutováno níže). Navíc ze studie Cogni et al. (2002) vyšlo najevo, že predátoři úspěšněji loví housenky s menšími rozměry těla.

6.2 Zhodnocení predačního chování larev zlatooček

Larvy zlatooček jsou aktivními lovci, kteří po první interakci s kořistí zahájí tzv. intenzivní vyhledávání. Toto vyhledávání se vyznačuje snížením rychlosti pohybu a častou změnou směru pohybu, čímž jsou schopny prohledat oblast ve větší šíři (Bond 1980). Tato účinná forma vyhledávání kořisti by vysvětlovala velké množství interakcí predátora s kořistí (v rámci experimentu II. a III. nastalo celkem 332 interakcí). Dalším faktorem je malý průměr Petriho misek, kde experimenty probíhaly ($d=6\text{cm}$). Tyto vlastnosti a faktory by v rámci experimentu II. mohly taktéž vysvětlovat, proč nebyl statisticky potvrzen očekávaný klesající trend intervalů mezi interakcemi predátor–kořist. Tento klesající trend bývá u predátorů velmi častý (Mitchell 2009).

Dle studie Rimmel et al. (2011) platí, že predátoři, obecně z kmene členovců, útočí častěji na kořist s menší délkou těla, než na kořist s většími rozměry. Tato studie koresponduje s mými výsledky v experimentu II., kde zlatoočky častěji útočily na malé a střední housenky (průměrná délka těla: 0,97 cm a 1,78 cm; průměrný počet útoků: 2 a 4,3) než na velké (průměrná délka těla: 3,54; průměrný počet útoků: 1,5). Avšak experiment III. byly s těmito studiemi v rozporu, jelikož predátoři častěji útočili na kořist typu housenka, která měla větší rozměry, než na kořist typu mšice (důvody této preference jsou diskutovány níže).

6.3 Zhodnocení predačního chování larev zlatooček ovlivněné obranným chováním kořistí a typy kořistí

Jedním z důvodů, proč predátoři více útočí na menší kořist vykazující obranné chování (data vypsána v předchozím odstavci), je stanovisko, že úspěšnost a efektivita obranného chování je závislá na velikosti těla kořistí. Čím větší velikost těla, tím větší bývá pravděpodobnost ubránit se před ulovením predátorem (Greeney et al. 2012). Tento předpoklad byl statisticky průkazný i v experimentu II. Navíc kořist s většími rozměry může při obranné reakci predátorovi i fyzicky ublížit (Greeney et al. 2012). Na druhou stranu, kořist s většími rozměry těla bývá nápadnější a dostupnější pro větší predátory, kupříkladu ptáky (Rimmel et al. 2011).

Pro zhodnocení predačního chování v rámci preferenčních testů je dobré si uvědomit, že housenky motýlů jsou mobilní a větší pohyblivost vykazují při vyhledávání potravy (Cain et al. 1985). Toto stanovisko by mohlo vysvětlovat výsledky experimentu III., ve kterém nastalo střetnutí zlatooček s kořistí typu housenka 85x, kdežto s kořistí typu mšice 58x. Mšice jsou všeobecně méně pohyblivými živočichy (Fereses et al. 2017). Housenky mají jako kořist díky větším rozměrům těla vyšší nutriční hodnotu (Cogni et al. 2002), což by společně s jejich vlastností velké mobility mohlo vysvětlovat vyšší počet jedinců zlatooček, které útočily častěji na kořist typu housenka (13 jedinců zlatooček) než na kořist typu mšice (10 jedinců zlatooček).

Dalším důvodem je poznatek, že predátoři s mimotělním trávením, které využívají i larvy zlatooček, mohou lovit a konzumovat kořist, která má větší rozměry těla než predátor (Cohen 1995).

Typy obranného chování housenek (popsáno výše) a větší velikost jejich těla by vysvětlovala malý počet úspěšného ulovení tohoto typu kořisti (2x). Dále je nutné si uvědomit, že ve volné přírodě housenka při vykonávání třesu těla často z hostitelské rostliny spadne, což znemožní predátorovi útok opakovat, tudíž se sníží pravděpodobnost ulovit ji (Greeney et al. 2012). Z toho by se dalo usoudit, že v laboratorních podmínkách je úspěšně ulovených housenek vyšší počet, než v přirozeném prostředí. Oproti tomu mšice nevykazují ve velké míře agresivní chování vůči predátorům, díky čemuž byla kořist typu mšice úspěšně ulovena ve větším množství případů (7x). Mezi obranné taktiky mšic patří vysoká agregace jejich populace, při které bývají její jednotlivci speciálně seskupeni, aby polohou svého těla a končetin znesnadňovali útok predátora, kupříkladu i úderem končetiny (Völkl & Stadler 1996). Podobný jev byl zachycen v jednom případě mého pozorování interakcí mezi kořistí a predátorem, kdy predátor po velmi blízkém kontaktu s kořistí typu mšice na tuto kořist nezaútočil. Na druhou stranu tato kořist nemusela být pro predátora atraktivní potravou. Další obranné taktiky mšic jsou spíše únikové, když je v blízkosti přítomen predátor, a to např. odpadávání z rostlin (Braendle & Weisser 2001) anebo líhnutí okřídlených jedinců a jejich následná migrace na jinou rostlinu (Weisser et al. 1999).

6.4 Zhodnocení jednorázového monitoringu

Ze studie Denis & Tschamtker (2002) vyšlo najevo, že početnější populace hmyzích společenstev, jak predátorů, tak škůdců, se vyskytovala na okrajových částí polí, kde hospodářská plodina sousedila s osetými nebo přirozeně rostlými krajními pásy u polí. Toto zjištění korespondovalo s výsledky pilotního monitoringu této bakalářské práce, kdy v linii, bližší k okraji pozemku, bylo nalezeno 19 jedinců sledovaných živočichů a 13 jedinců bylo nalezeno ve vzdálenější linii. Nejpočetnějším sledovaným živočichem byly mšice, které patří mezi obvyklou kořist larev zlatooček (Canard 2001), z čehož lze usoudit, že by larvy zlatooček měly mít na polích dostatečný příjem potravy. Důvodem, proč bylo sledovaných živočichů obecně nalezeno poměrně malé množství, byl pravděpodobně způsob monitoringu. Při pozorování každé jednotlivé rostliny by mohla být zpozorována většina z vyskytujících se živočichů, oproti využití smýkadla, které nemuselo z rostliny zachytit všechny živočichy.

6.5 Souhrn diskuze

Bylo prokázáno, že potenciální využití zlatoočky obecné v biologické ochraně rostlin je možné nejen proti mšicím ale případně i proti housenkám škůdce kovošklec gama. Bylo zjištěno, že housenky druhu kovošklec gama vykazují proti predátorům tři typy obranného chování, které ovlivňuje úspěšnost lovu zlatoočky obecné. Nicméně zlatoočky byly schopny tuto obranu překonat, především u menších housenek a při testech potravní preference zlatoočky nepreferovaly mšice před housenkami. Experimenty, které byly v rámci této práce provedeny, se mohou považovat za pilotní studie, na které by bylo možné navázat v budoucích

výzkumech. Zde by měl být kladen důraz na větší specifikaci výzkumu a s početnějším datasetem, tj. s větším počtem modelových organismů v rámci jedné skupiny.

7 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala využitím predátora zlatoočky obecné (*Chrysoperla carnea*) v programech biologické ochrany rostlin. Metody výzkumu byly založeny na pozorování modelových organismů v Petriho miskách a následném vyhodnocení videozáznamů. Ze získaných dat: 1) byly popsány tři typy aktivního obranného chování housenky druhu kovolessklec gama (*Autographa gamma*) vůči predátorům (experiment I.); 2) byl zhodnocen efekt obranného chování proti predátorovy zlatoočce obecné (*Chrysoperla carnea*) v souvislosti s rozdílnou velikostí těla kořisti (experiment II.) a 3) byla zjištěna potravní preference predátora (experiment III.). Nad rámec těchto experimentů byl proveden pilotní monitoring hmyzu na poli s cukrovou řepou odkud byly získány housenky použité v experimentech.

Hlavním zdrojem potravy larev zlatooček jsou mšice a jiný drobný hmyz. Ze zjištěných počtů živočichů hmyzího společenstva na poli s cukrovou řepou (v rámci monitoringu), bylo patrné, že se zlatoočka samovolně vyskytuje i na zemědělských pozemcích, kde je schopna uživit se jejími škůdci. U modelové kořisti, která vykazuje aktivní obranné chování (housenka kovolessklec gama) byly pozorovány dvě obranné reakce, které jsou pro housenky časté: třes těla a úder hlavou. Nad rámec byla pozorována a popsána sekrece obranných látek.

Úspěšnost kořisti ubránit se predátorovi závisí na mnoha faktorech. Z výsledků bakalářské práce bylo patrné, že kořist s většími rozměry měla vyšší pravděpodobnost ubránit se útoku predátora. Dále bylo pravděpodobné, že housenky při větší intenzitě útoku vykazovaly více typů obranného chování, které pro ně bývá i energeticky náročnější. Housenky také využívaly rozdílné obranné chování při útocích na různé části těla.

V preferenčních testech, ačkoli data nebyla statisticky průkazná, bylo patrné, že pokud byly larvy zlatoočky vystaveny dvěma typům kořisti, tak útočily častěji na kořist typu housenka, která vykazovala aktivní obranné chování. Avšak větší počet úspěšných ulovení připadal na kořist typu mšice, která aktivní obranné chování nevykazovala.

Z poznatků této bakalářské práce vyplývá, že využití larev zlatooček, v rámci biologické ochrany rostlin, může být účinné nejen proti mšicím, jak se obecně uvádí, ale i proti housenkám. Nicméně v bakalářské práci bylo zjištěno obranné chování housenky kovolessklec gama proti predátorům, jehož účinnost se snižuje spolu s menší velikostí těla housenek. Na základě těchto výsledků poukazují, že je důležité včasné vysazení bioagens zlatoočky obecné do porostu napadeného škůdci, aby zde byla větší pravděpodobnost výskytu škůdců s larválními stádii menších rozměrů těla.

Na závěr lze říci, že zlatoočka představuje bioagens s vysokým potenciálem využití v biologické ochraně rostlin, ať už díky širokému potravnímu spektru, vysoké predační schopnosti nebo toleranci k chemickým postřikům. Budoucí výzkum by se měl zabývat především vlastnostmi potenciální kořisti, preferenčními potravními testy a kooperací zlatooček s jinými přirozenými nepřáteli. Na laboratorní testy je nutné navázat poloprovozními pokusy využívající pozorovací arény větších rozměrů např. síťové boxy, či provést pokusy v přímém provozu. Možností, které tato bakalářská práce otevírá je rozhodně mnoho, ale hlavní přínos této bakalářské práce je popis a studium často opomíjeného obranného chování kořisti, které snižuje efektivitu biologické ochrany rostlin.

8 Seznam literatury

- Agromanuál. © 2020. Kovolessklec gama. Kurent s.r.o. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/atlas/skudci/skudce/kovolessklec-gama> (accessed March 2022).
- Agromanuál. © 2020. Registranti přípravků. Kurent s.r.o. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/vlastnosti/registrant/koppert-b-v-218> (accessed April 2022).
- Akent'eva NA. 2011. Morphology of the antennal sensory cone in insect larvae from various orders. *Seriia Biologicheskaiia* **5**:539-549.
- Beddington JR, Free CA, Lawton JH. 1978. Characteristics of successful natural enemies in models of biological control of insect pests. *Nature* **273**:513-519.
- Beránek J. 2017. Symptomatologie a její využití při diagnostice chorob a škůdců okrasných dřevin. UKZÚZ. Available from <http://docplayer.cz/113474741-Symptomatologie-a-jeji-vyuziti-pri-diagnostice-chorob-a-skudcu-okr-drevin.html> (accessed April 2022).
- Bilde T, Toft S. 1998. Quantifying food limitation of arthropod predators in the field. *Oecologia* **115**:54-58.
- Boer PJ. 1986. Facts, hypotheses and models on the part played by food in the dynamics of carabid populations. Pages 81-96 in Szyszko J, editor. Feeding behaviour and accessibility of food for carabid beetles. Wydawnictwo SGGW-AR, Varšava.
- Bohatá A. ©2014 – 2022. Mšicomaři. UKZÚZ. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%227ce88979b78062af8041508c0b6d2de7%22#r|p|uzitorg|detail:7ce88979b78062af8041508c0b6d2de7|popis (accessed March 2022).
- Bond AB. 1980. Optimal foraging in a uniform habitat: The search mechanism of the green lacewing. *Animal Behaviour* **28**:1019.
- Braendle C, Weisser WW. 2001. Variation in escape behavior of red and green clones of the pea aphid. *Journal of Insect Behavior* **14**:497-509.
- Brust GE. 1994. Natural enemies in straw-mulch reduce Colorado potato beetle populations and damage in potato. *Biological control: theory and applications in pest management (USA)* **4**:163-169.
- Cain ML, Eccleston J, Kareiva PM. 1985. The influence of food plant dispersion on caterpillar searching success. *Ecological Entomology* **10**:1-7.
- Canard M. 2001. Natural food and feeding habits of lacewings. Pages 116-129 in McEwen P, New T, Whittington A, editors. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cogni R, Freitas AVL, Amaral Filho BF. 2002. Influence of prey size on predation success by *Zelus longipes* L. (Het., Reduviidae). *Journal of Applied Entomology* **126**:74-78.
- Cohen AC. 1995. Extra-oral digestion in predaceous terrestrial arthropoda. *Annual Review of Entomology* **40**:85-103.
- Collyer E. 1956. Notes on the biology of some predacious mites on fruit trees in south-eastern England. *Bulletin of Entomological Research* **47**:205-214.

- Český statistický úřad. 2022. Veřejná databáze. Český statistický úřad. Available from https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt-parametry&z=T&f=TABULKA&katalog=30840&pvo=ZEM02A&sp=A&skupId=346&evo=v545_%21_ZEM02A-2019_1&str=v443 (accessed April 2022).
- Delfosse ES. 2005. Risk and ethics in biological control. *Biological Control* **35**:319-329.
- Deml R, Dettner K. 1994. *Attacus atlas* caterpillars (Lep., Saturniidae) spray an irritant secretion from defensive glands. *Journal of Chemical Ecology* **20**:2127-2138.
- Denis CH, Tschardtke T. 2002. Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia* **130**:315-324.
- Desneux N, Luna MG, Guillemaud T, Urbaneja A. 2011. The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science* **84**:403-408.
- DuPorte EM. 1957. The comparative morphology of the insect head. *Annual Review of Entomology* **2**:55-70.
- Eigenbrode SD, Moodie S, Castagnola T. 1995. Predators mediate host plant resistance to a phytophagous pest in cabbage with glossy leaf wax. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **77**:335-342.
- Eilenberg J, Enkegaard A, Vestergaard S, Jensen B. 2000. Biocontrol of pests on plant crops in Denmark: Present status and future potential. *Biocontrol Science and Technology* **10**:703-716.
- Emrich B. 1991. Acquired toxicity of the lupin aphid, *Macrosiphum albifrons*, and its influence on the aphidophagous predators *Coccinella septempunctata*, *Episyrphus balteatus* and *Chrysoperla carnea*. *Zeitschrift fuer Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **98**:398-404.
- Evans EW. 1983. Niche relations of predatory stinkbugs (*Podisus* spp., Pentatomidae) attacking tent caterpillars (*Malacosoma americanum*, Lasiocampidae). *The American Midland Naturalist* **109**:316-323.
- Fereres A, Irwin M, Kampmeier E. 2017. Aphid movement: Process and consequences. Pages 196-216 in Emden HF van, Harrington R, editors. *Aphids as crop pests*. CABI, Wallingford, Oxfordshire.
- Greathead DJ. 1995. Benefits and risks of classical biological control. Pages 53-63 in Hokkanen HMT, Lynch JM, editors. *Biological control benefits and risks*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Greeney H, Dyer L, Smilanich A. 2012. Feeding by lepidopteran larvae is dangerous: A review of caterpillars' chemical, physiological, morphological, and behavioral defenses against natural enemies. *Invertebrate Survival Journal* **9**:7-34.
- Hagen KS, Tassan RL. 1965. A method of providing artificial diets to chrysopa larvae. *Journal of Economic Entomology* **58**:999-1000.
- Hegazy FH. 2018. Role of *Chrysoperla carnea* (Stephens) release in the biocontrolling of *Cassida vittata* Vill. and *Scrobipalpa ocellatella* Boyd, larvae as well as enhancing the associated arthropod predator populations in comparison with conventional

- insecticides applications in sugar beet fields. *Zagazig Journal of Agricultural Research* **45**:2357-2365.
- Hejný S, Slavík B. 2003. Květena České republiky 2. Academia, Praha.
- Herren HR, Neuenschwander P. 1991. Biological control of cassava pests in Africa. *Annual Review of Entomology* **36**:257-283.
- Holý K. 2021. Riziko škodlivosti makadlovky řepné v roce 2021. Kurent s.r.o. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/riziko-skodlivosti-makadlovky-repne-v-roce-2021> (accessed March 2022).
- Honěk A, Martinková Z, Platková H, Saska P, Skuhrovec J. 2021. Škůdci na obilninách a jejich přirození nepřátelé. VÚRV, Praha.
- Honěk A, Řezáč M. 2008. Podpora využití přirozených nepřátel v polních podmínkách. Pages 7-19 in Martinková Z, Honěk A, editors. Význam predátorů a parazitoidů v integrovaných systémech ochrany rostlin. VÚRV, Praha.
- Hörstadius S. 1974. Linnaeus, animals and man. *Biological Journal of the Linnean Society* **6**:269-275.
- Jasič A et al. 1984. Entomologický naučný slovník. Příroda, Bratislava.
- Jaworski CC, Bompard A, Genies L, Amiens-Desneux E, Desneux N. 2013. Preference and prey switching in a generalist predator attacking local and invasive alien pests. *PLoS One* (**8**:e82231) DOI: 10.1371/journal.pone.0082231.
- Jedlička J, Ševčík J, Vidlička L. 2004. Checklist of neuroptera of Slovakia and the Czech republic. *Biologia* **59**:59-67.
- Kazda J, Jindra Z, Kabíček J, Prokinová E, Ryšánek P. 2003. Metody diagnózy v ochraně rostlin. Pages 6-11 in Choroby a škůdci polních plodin, ovoce a zeleniny. Profi Press, Praha.
- Kirby W, Spence W. 1815. An introduction to entomology or elements of the natural history of insects with plates. Longman, Brown, Green and Longmans, London.
- Koczor S, Szentkirályi F, Fekete Z, Tóth M. 2017. Smells good, feels good: oviposition of *Chrysoperla carnea*-complex lacewings can be concentrated locally in the field with a combination of appropriate olfactory and tactile stimuli. *Journal of Pest Science* **90**:311-317.
- Koczor S, Szentkirályi F, Tóth M. 2019. New perspectives for simultaneous attraction of *Chrysoperla* and *Chrysopa* lacewing species for enhanced biological control (Neuroptera: Chrysopidae). *Scientific Reports* **9**:1-6.
- Kohout V, Kohoutová-Hradecká D, Holec J. 2010. Biological control of broad-leaved docks on perennial grassland in the Czech Republic. *Herbologia* **11**:33-38.
- Kreuter M. 2002. Úvod do vztahů přirozených nepřátel. Pages 7-11 in Biologická ochrana rostlin. Rebo Productions CZ, s.r.o., Dobřejovice.
- LaRock DR, Ellington JJ. 1996. An integrated pest management approach, emphasizing biological control, for pecan aphids. *Southwestern Entomologist* **21**:153-166.
- Lochyńska M, Frankowski J. 2018. The biogas production potential from silkworm waste. *Waste Management* **79**:564-570.

- Manetech a.s. © 2022. Manetech. Praha. Available from <https://manetech.cz> (accessed April 2022).
- Martinková Z, Honěk A. 2008. Úvod. Page 5 in Martinková Z, Honěk A, editors. Význam predátorů a parazitoidů v integrovaných systémech ochrany rostlin. VÚRV, Praha.
- Ministerstvo zemědělství. 2004. Zákon č. 326 ze dne 31. května 2004 Sb., o rostlinolékařské péči a o změně některých souvisejících zákonů. Pages 6618-6664 in Sbírka zákonů České republiky, 2004, částka 106. Česká republika.
- Ministerstvo zemědělství. © 2009-2022. Registr přípravků na ochranu rostlin. Ministerstvo zemědělství. Available from: <https://eagri.cz/public/app/eagriapp/POR/DataKeStazeni.aspx> (accessed April 2022).
- Mitchell WA. 2009. Multi-behavioral strategies in a predator-prey game: an evolutionary algorithm analysis. *Oikos* **118**:1073-1083.
- Mols PJM. 1993. Walking to survive: searching feeding and egg production of carabid beetle *Pterostichus coerulescens* L. (= *Poecilus versicolor* Sturm). Agricultural University Wageningen, the Netherlands.
- Mushtaque M, Mohyuddin AI. 1984. *Peris brassicae* - (Pieridae: Lepidoptera), a pest of crucifers and its control by parasites. *Pakistan Journal of Agricultural Research* **5**:165-169.
- Navrátilová M. 1999. Results of the efficacy evaluation of biological control agents in glasshouses in the Czech Republic. *EPPO Bulletin* **29**:69-72.
- Navrátilová M. 2019. Komplexní celostní ochrana rostlin s využitím biologické ochrany. Kurent s.r.o. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/komplexni-celostni-ochrana-rostlin-s-vyuzitim-biologicke-ochrany> (accessed February 2022).
- New TR. 1975. The biology of Chrysopidae and Hemeroibiidae (Neuroptera), with reference to their usage as biocontrol agents: a review. *Transactions of the Royal Entomological Society of London* **127**:115-140.
- New T. 2001. Introduction to the systematics and distribution of Coniopterygidae, Hemeroibiidae, and Chrysopidae used in pest management. Pages 6-16 in McEwen PK, New TR, Whittington AE, editors. *Lacewings in the crop environment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Novák I. 1975. Critical number of *Autographa gamma* L. caterpillars (Lep., Noctuidae) on sugar-beet. *Sborník UVTI - Ochrana Rostlin* **11**:295-299.
- Noyes JS. 2019. Universal chalcidoidea database. World Wide Web electronic publication. Available from <http://www.nhm.ac.uk/chalcidoids> (accessed April 2022).
- Pekár S, Kocourek F. 2004. Spiders (Araneae) in the biological and integrated pest management of apple in the Czech Republic. *Journal of Applied Entomology* **128**:561-566.
- Pomerinke M, Stansly P. 1998. Establishment of *Agéniaspis citricola* (Hymenoptera: Encyrtidae) for biological control of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Florida. *Florida Entomologist* **81**:361-372.
- Price PW, Denno RF, Eubanks MD, Finke DL, Kaplan I. 2011. *Insect Ecology: Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press.

- Prokinová E. 2017. Využití biologické ochrany rostlin v systému ekologického pěstování plodin. Kurent s.r.o. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/vyuziti-biologicke-ochrany-rostlin-v-systemu-ekologickeho-pestovani-plodin>.
- Pulkrábek J, Urban J, Bečková L, Valenta J. 2007. Řepa cukrová - Pěstitelský rádce. Kurent s.r.o., Praha.
- Pultar O. 2008. Základní metodiky použití biologické ochrany rostlin v temperovaných prostorách. Pages 22-39 in Martinková Z, Honěk A, editors. Význam predátorů a parazitoidů v integrovaných systémech ochrany rostlin. VÚRV, Praha.
- Quezada J, DeBach P. 1973. Bioecological and population studies of the cottony-cushion scale, *Icerya purchasi* Mask., and its natural enemies, *Rodolia cardinalis* Mul. and *Cryptochaetum iceryae* Will., in southern California. *Hilgardia* **41**:631-688.
- Raška J. 2022. Obranná regurgitace u hmyzu: případová studie druhového komplexu makadlovky řepné. Rostlinolékař, submitted.
- R. Core Team, 2020, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vídeň.
- Rommel T, Davison J, Tammaru T. 2011. Quantifying predation on folivorous insect larvae: the perspective of life-history evolution. *Biological Journal of the Linnean Society* **104**:1-18.
- Resh VH, Cardé RT. 2009. Encyclopedia of insects. Academic Press, Elsevier.
- Riechert SE, Harp JM. 1987. Nutritional ecology of spiders. Page 1016 in Slansky F, Rodriguez JG, editors. Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates. Wiley, New York.
- Rod J. 2017. Příčiny poškození rostlin. Pages 12-18 in Choroby a škůdci na zahradě, identifikace, prevence a ochrana. Grava Publishing a.s., Praha.
- Sabelis MW. 1992. Predatory arthropods. Pages 225-264 in Crawley MJ, editor. Natural enemies: the population biology of predators, parasites and diseases. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Ŝengonca Ć, Henze M. 1992. Conservation and enhancement of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera, Chrysopidae) in the field by providing hibernation shelters. *Journal of Applied Entomology* **114**:497-501.
- Senior LJ, McEwen PK. 2001. The use of lacewings in biological control. Pages 296-299 in New TR, Whittington AE, editors. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Settle WH, Ariawan H, Astuti ET, Cahyana W, Hakim AL, Hindayana D, Lestari AS. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* **77**:1975-1988.
- Schmitz OJ, Beckerman AP, O'Brien KM. 1997. Behaviorally mediated trophic cascades: effects of predation risk on food web interactions. *Ecology* **78**:1388-1399.
- Schwartzberg EG, Kunert G, Röse USR, Gershenson J, Weisser WW. 2008. Alarm pheromone emission by pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, clones under predation by lacewing larvae. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **128**:403-409.

- Stiling P, Cornelissen T. 2005. What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. *Biological Control* **34**:236-246.
- Sunderland KD. 1975. The diet of some predatory arthropods in cereal crops. *The Journal of Applied Ecology* **12**:507-515.
- Sylla S, Brévault T, Diarra K, Bearez P, Desneux N. 2016. Life-History traits of *macrolophus pygmaeus* with different prey foods. *PLoS One* **11** (e0166610) DOI: 10.1371/journal.pone.0166610.
- Symondson WOC, Sunderland KD, Greenstone MH. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology* **47**:561-594.
- Šefrová H. 2006. Rostlinolékařská entomologie. Konvoj, Brno.
- Toft S, Wise D. 1999. Growth, development, and survival of a generalist predator fed single- and mixed-species diets of different quality. *Oecologia* **119**:191-197.
- UKZÚZ. ©2014-2022. Rostlinolékařský portál. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c9f23d2%22#r1p|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c9f23d2|popis. (accessed March 2022).
- Van Driesche RG, Bellows Jr TS. 1996. *Biological control*. Kluwer academic publishers, Boston.
- Völkl W, Stadler B. 1996. Colony orientation and successful defence behaviour in the conifer aphid, *Schizolachnus pineti*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **78**:197-200.
- Votýpka J, Kolářová I, Horák P. 2018. *O parazitech a lidech*. Triton, Praha.
- Weisser WW, Braendle C, Minoretti N. 1999. Predator-induced morphological shift in the pea aphid. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* **266**:1175-1181.
- Whitman DW, Vincent S. 2008. Large size as an antipredator defense in an insect. *Journal of Orthoptera Research* **17**:353-371.
- Wilson F, Huffaker CB. 1976. The philosophy, scope, and importance of biological control. Pages 3-14 in Huffaker CB, Messenger PS, editors. *Theory and Practice of Biological Control*. Elsevier, New York.