

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra ochrany rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Interakce mezi sluněčkem a mšicomarem s využitím pro
biologickou ochranu rostlin**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Tereza Hojerová

Obor studia: Ekologické zemědělství

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

Konzultant: RNDr. Jan Raška, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Interakce mezi sluněčkem a mšicomarem s využitím pro biologickou ochranu rostlin" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí práce Mgr. Aleně Samkové, Ph.D. za vstřícnost, ochotu, trpělivost a odborné rady a připomínky jak při plnění experimentu, tak i během zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala konzultantovi RNDr. Janu Raškovi, Ph.D. za pomoc při statistickém vyhodnocení dat a užitečné rady.

Interakce mezi sluněčkem a mšicomarem s využitím pro biologickou ochranu rostlin

Souhrn

Biologická ochrana je celosvětově uznávaná alternativa k chemickým prostředkům ochrany rostlin využívaná především v ekologickém zemědělství, které klade důraz na ochranu přírodních zdrojů a zachování biodiverzity. K ochraně rostlin využívá především přirozených nepřátel škůdců, kterými jsou mimo jiné i parazitoid mšicomar (*Aphidius colemani*) a sluněčko sedmitečné (*Coccinella septempunctata*).

V literární části je podrobněji rozebrána problematika biologické ochrany rostlin, její základní principy, historie a význam pro ekologické zemědělství. Dále jsou uvedeni přirození nepřátelé s možným využitím v biologické ochraně rostlin a jejich vzájemné interakce. V závěrečné části literární rešerže jsou představeni modelové organismy použité pro experiment této diplomové práce.

Vlastní výzkum byl založen na pozorování modelových organismů na Petriho miskách a vyhodnocení behaviorálních interakcí, které mezi nimi probíhaly. Z výsledků pozorování vyplynulo, že přestože k určitým interakcím mezi mšicomary a sluněčky sedmitečnými docházelo, nebyly tyto interakce statisticky významné.

Dále byl proveden preferenční test, kdy byl zkoumán vliv kvality a zdraví rostlin na reprodukční úspěch mšicomara a potravní preferenci u sluněčka sedmitečného. Ani tyto výsledky nebyly statisticky průkazné, dle tohoto lze předpokádat, že kvalita rostlin nemá na úspěšnost biologické ochrany rostlin vliv.

Dalším cílem práce byl vliv velikosti mateřských samiček mšicomara na jeho reprodukční úspěšnost a možnost predace sluněčkem sedmitečným. Výsledky z této části experimentu byly opět statisticky neprůkazné, lze tedy usuzovat, že velikost mateřské samice nemá vliv na její reprodukční úspěšnost ani možnost ulovení predátorem a neovlivňuje tak úspěšnost biologické ochrany rostlin.

Klíčová slova: biologická ochrana, interakce parazitoid x predátor, mšicomar, sluněčko sedmitečné, virová žloutenka rostlin

Interaction between ladybird and aphidius with use in biological control

Summary

Biological control is a globally accepted alternative to chemical plant protection, used primarily in organic farming, which emphasises the protection of natural resources and the preservation of biodiversity. Plant protection mainly uses natural enemies of pests, including the parasitoid of aphid (*Aphidius colemani*) and the ladybird (*Coccinella septempunctata*).

The review part discusses in more detail the problems of biological plant protection, its basic principles, history and importance for organic farming. Furthermore, natural enemies with possible use in biological plant protection and their mutual interactions are presented. In the final part of the review, the model organisms used in the experiment of this thesis are presented.

The research itself was based on the observation of the model organisms on Petri dishes and the evaluation of the behavioural interactions that took place between them. The results showed that although some interactions between aphids parasitoids and ladybirds did occur, these interactions were not statistically significant.

Next, a preference test was conducted to investigate the effect of plant quality and health on reproductive success of aphids and food preference in the ladybird. These results were not statistically significant either, according to this it can be assumed that plant quality does not influence the success of biological control.

Another aim of the study was the effect of the body size of the female aphid on its reproductive success and the possibility of predation by the ladybirds. The results from this part of the experiment were again not statistically significant, thus it can be concluded that the size of the maternal female does not affect her reproductive success or the possibility of being predated and thus does not affect the success of biological control of plants.

Keywords: biological control, parasitoid x predator interaction, aphidius, ladybird, beet yellows virus

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod | 8 |
| 2 Vědecká hypotéza a cíle práce | 9 |
| 2.1 Vědecká hypotéza | 9 |
| 2.2 Cíle práce | 9 |
| 3 Literární rešerše | 10 |
| 3.1 Biologická ochrana rostlin | 10 |
| 3.1.1 Přínosy biologické ochrany rostlin..... | 11 |
| 3.1.2 Negativa biologické ochrany rostlin | 11 |
| 3.1.3 Základní principy biologické ochrany rostlin | 11 |
| 3.1.3.1 Podpora (ochrana) přirozených nepřátel a úprava krajiny..... | 12 |
| 3.1.3.2 Introdukce – klasická biologická ochrana..... | 12 |
| 3.1.3.3 Augmentace | 13 |
| 3.1.4 Historie biologické ochrany | 13 |
| 3.1.5 Význam biologické ochrany v ekologickém zemědělství..... | 14 |
| 3.2 Využití parazitoidů a predátorů v biologické ochraně rostlin | 14 |
| 3.2.1 Charakteristika parazitoidů..... | 14 |
| 3.2.2 Rozdíl mezi parazitoidem a parazitem..... | 15 |
| 3.2.3 Životní strategie parazitoidů..... | 15 |
| 3.2.4 Využití parazitoidů v biologické ochraně rostlin..... | 16 |
| 3.3 Charakteristika predátorů | 17 |
| 3.3.1 Životní strategie predátorů..... | 18 |
| 3.3.2 Využití predátorů v biologické ochraně..... | 18 |
| 3.4 Interakce parazitoid x predátor | 18 |
| 3.5 Modelové organismy | 20 |
| 3.5.1 Mšicomar | 20 |
| 3.5.1.1 Původ a rozšíření..... | 20 |
| 3.5.1.2 Popis..... | 20 |
| 3.5.1.3 Hospodářský význam..... | 21 |
| 3.5.1.4 Životní cyklus | 21 |
| 3.5.2 Slunéčko sedmitečné | 23 |
| 3.5.2.1 Původ a rozšíření | 23 |
| 3.5.2.2 Popis..... | 23 |
| 3.5.2.3 Hospodářský význam..... | 24 |
| 3.5.2.4 Životní cyklus | 24 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5.3 | Mšice | 25 |
| 3.5.3.1 | Popis čeledi mšicovití (Aphidiae) | 25 |
| 3.5.3.2 | Hospodářský význam čeledi mšicovití (Aphidiae) | 25 |
| 3.5.3.3 | Životní cyklus čeledi mšicovití (Aphidiae) | 26 |
| 3.5.3.4 | Mšice broskvoňová | 27 |
| 3.5.4 | Řepa cukrová | 27 |
| 3.5.4.1 | Virové choroby řepy | 27 |
| 4 | Metodika | 31 |
| 4.1 | Modelové druhy: | 31 |
| 4.2 | Příprava experimentu | 33 |
| 4.3 | Experiment | 33 |
| 5 | Výsledky | 36 |
| 5.1 | Reprodukční úspěch parazitoida ve vztahu ke kvalitě rostlin (misky 1a) a 2a))..... | 36 |
| 5.1.1 | Rozdíl v počtu parazitovaných mšic na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou..... | 36 |
| 5.1.2 | Rozdíl v počtu návštěv listů a interakcí s hostiteli na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou..... | 36 |
| 5.2 | Interakce mezi mšicomarem a sluníčkem sedmítečným (misky 1b) a 2b))..... | 38 |
| 5.3 | Preferenční listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou (misky 1c) a 2c)) | 38 |
| 5.3.1 | Mšicomar..... | 39 |
| 5.3.2 | Sluníčko sedmítečné | 40 |
| 5.4 | Velikost parazitoida ve vztahu k jeho reprodukční úspěšnosti | 42 |
| 5.4.1 | Variabilita ve velikosti těla mateřských samiček..... | 42 |
| 6 | Diskuze | 44 |
| 6.1 | Interakce mezi mšicomarem a sluníčkem sedmítečným..... | 44 |
| 6.2 | Vliv kvality rostlin na chování mšicomara a sluníčka sedmítečného..... | 44 |
| 6.3 | Velikost parazitoida | 45 |
| 7 | Závěr | 46 |
| 8 | Literatura | 47 |
| 9 | Seznam použitých zkratk..... | 53 |

1 Úvod

Chemické přípravky na ochranu rostlin, používané především v konvenčním zemědělství, mohou představovat riziko přítomnosti reziduí v rostlinných produktech, v půdě nebo vodě a tím poškozovat lidské zdraví, mít negativní dopad na ostatní živočichy, necílové organismy nebo životní prostředí, a snižovat přirozenou biodiverzitu (Hrabánek 2018). Proto je kladen stále větší důraz na využívání alternativních metod a přípravků na ochranu rostlin.

Biologická ochrana rostlin, která je využívána především v ekologickém zemědělství, představuje cílené využívání živých organismů, jako jsou roztoči, hmyz, hlístice, viry, bakterie nebo houby (bioagens) pro udržení škodlivých biologických činitelů, kterými mohou být škůdci, choroby nebo plevelné rostliny pod úroveň jejich ekonomického vlivu v porostech kulturních rostlin (Van Driesche & Bellows, Jr. 1996). Cílem biologické ochrany je omezení ochrany chemické a snaha o zlepšení kvality potravin a životního prostředí, resp. odstraňování chemických prvků z potravních cyklů a sítí, ve svém důsledku vedoucí k šetrnému vývoji a stabilitě ekosystémů v kulturní krajině.

Mezi závažné škůdce rostlin patří mšice, jelikož sáním poškozují rostlinná pletiva a mohou přenášet rostlinné viry. V biologické ochraně rostlin se proti těmto škůdcům využívají jejich přirození nepřátelé, především parazitoidi a predátoři, mezi kterými probíhají mezidruhové interakce. Hojně se vyskytujícím přirozeným nepřítelem mšic je slunéčko sedmítečné (*Coccinella septapunctata*), které může mít dopad na vypuštěné populace komerčně dostupného mšicomara (*Aphidius colemani*), jelikož představují riziko v podobě predace parazitovaných mšic. Mšicomaři proto reagují na chemické stopy zanechané slunéčky a místům s výskytem těchto stop se vyhýbají. V této diplomové práci je zkoumána vzájemná interakce mezi těmito bioagens, která by mohla mít vliv na celkový účinek biologické ochrany. Dále je zkoumán vliv zdraví a kvality rostlin, která může ovlivnit chování přirozených nepřátel a snižovat tak úspěšnost biologické ochrany rostlin.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

2.1 Vědecká hypotéza

Reprodukční strategie parazitoida mšicomara (*Aphidius colemani*) je ovlivněna přítomností predátora.

Reprodukční strategie parazitoida mšicomara (*Aphidius colemani*) je ovlivněna kvalitou rostlin.

Reprodukční úspěšnost parazitoida mšicomara (*Aphidius colemani*) je ovlivněna velikostí těla mateřských samiček.

Potravní preference predátora slunéčka sedmitečného (*Coccinella septempunctata*) je ovlivněna přítomností parazitoida a odlišnou kvalitou rostlin.

2.2 Cíle práce

- 1) Přezkoumat reprodukční strategii parazitoida mšicomara (*Aphidius colemani*) v souvislosti s výskytem predátora jeho hostitelů.
- 2) Přezkoumat reprodukční strategii parazitoida mšicomara (*Aphidius colemani*) v souvislosti s odlišnou kvalitou rostlin.
- 3) Přezkoumat reprodukční úspěšnost parazitoida mšicomara (*Aphidius colemani*) v souvislosti s velikostí těla mateřských samiček.
- 4) Přezkoumat potravní preferenci predátora slunéčka sedmitečného (*Coccinella septempunctata*) v přítomnosti parazitoida a v souvislosti s odlišnou kvalitou rostlin.

3 Literární rešerše

3.1 Biologická ochrana rostlin

Biologickou ochranou se označuje inhibice růstu, omezení rozmnožování a šíření jednoho organismu (choroby, škůdci) druhým organismem (bioagens) (Bleša 2019). V systému pěstování plodin zaujímá hmyz roli jak škůdců, tak i přirozených nepřátel (Rajendran & Singh 2016). V rámci biologické ochrany lze využívat přirozených nepřátel škůdců a patogenů k jejich úplné eradikaci nebo pouze ke snížení jejich populace pod práh ekonomického poškození rostlin. Toho se dosahuje podporou přirozeného výskytu těchto prospěšných organismů na daném stanovišti nebo přímou introdukcí nepůvodních organismů. Biologickou ochranou se rovněž myslí i využití nepatogenních, inkompatibilních nebo avirulentních mikroorganismů (Bleša 2019).

K potlačení populací škůdců zahrnuje biologická ochrana použití parazitoidů, predátorů, patogenů nebo antagonistických populací. Tato definice se opírá o schopnost těchto přirozených nepřátel najít a využít kořist nebo hostitele ve svůj prospěch. Proto je důležité pochopit komplexní soubor chování přirozených nepřátel, který vede ke snížení velikosti populace cílových organismů (Wajnberg et al. 2015).

Biologická ochrana rostlin představuje rychle rostoucí oblast, která sdružuje vědce z mnoha oborů, včetně ekologů, entomologů, vědců zabývajících se pleveli, rostlinných a hmyzích patologií a mikrobiologů (Omkar & Kumar 2016). Vědecké základy biologických forem ochrany proti škůdcům jsou velmi rozsáhlé. Možnosti jejich rozvoje se rozšiřují s nárůstem vědeckých poznatků a jsou využívány v souladu s hospodářskými a společenskými potřebami (Wilson & Huffaker 1976).

Na základě studií Eilenberga et al. (2001) a Cocka et al. (2010) lze biologickou ochranu rozdělit na tři odvětví, kterými jsou 1) Regulace škůdců pomocí predátorů, parazitoidů a patogenních mikroorganismů; 2) Regulace plevelů pomocí herbivorů nebo patogenů a 3) Regulace původců onemocnění rostlin pomocí antagonistických a mykoparazitických mikroorganismů.

Tento způsob ochrany rostlin je limitován znalostmi životních cyklů organismů, jejich vzájemnou interakcí, případně etologií, ale také lokálními podmínkami prostředí (Bleša 2019).

V současné době jsou ve světě známy komerčně dostupné přípravky využívající téměř sto druhů mikroorganismů a více než padesát druhů makroorganismů (Omkar & Kumar 2016). Rozsah biologické ochrany se postupně rozšířil z použití entomofágního hmyzu k hubení hmyzích škůdců na použití celé řady organismů k hubení hmyzu, roztočů, plžů, případně obratlovců a rostlin (Wilson & Huffaker 1976).

Než se však potencionální bioagens pro biologickou ochranu stane komerčním produktem, musí být vyhodnocena jeho účinnost proti cílovému škůdci a jeho dopad na necílové organismy. To je důležité zejména pro nepůvodní druhy, které se mohou stát škůdci, pokud uniknou z ošetřované oblasti (Helyer et al. 2014). Mnoho škodlivých organismů se v přírodě vyskytuje v určité rovnováze se svými přirozenými nepřáteli a zásah člověka může tuto rovnováhu negativně ovlivnit. Pro využití bioagens v biologické ochraně rostlin musí být detailně známy biologické vlastnosti a chování jak přirozených nepřátel, tak škodlivých organismů, a jejich vzájemný vztah. Tyto znalosti určují úspěšnost biologické ochrany rostlin

(Ozturk 2020). Selhání může být důsledkem nesprávné identifikace ať už škůdce nebo přirozeného nepřitele a může mít nepříznivé ekonomické důsledky. Špatná identifikace cílového organismu v přirozeném prostředí může vést k zavlečení nesprávných přirozených nepřátel (Delucchi et al. 1976).

3.1.1 Přínosy biologické ochrany rostlin

Biologická ochrana rostlin výrazně snižuje vystavení plodin chemickým pesticidům, čímž snižuje riziko rezistence škůdců proti těmto přípravkům a zamezuje vzniku reziduí v produktech uváděných na trh (Evropská unie 2020). Při použití biologické ochrany také nedochází k předčasné ztrátě květů a plodů a v naprosté většině případů neexistuje žádná bezpečná doba mezi aplikací a sklizní, proto lze sklizeň provádět kdykoli po aplikaci přirozených neřátel. Metody biologické ochrany přispívají k zachování nebo dokonce ke zlepšení biologické rozmanitosti a je zde nízké riziko znečištění vody a životního prostředí. Další výhodou biologické ochrany je v některých případech vysoká úroveň ochrany rostlin při nízkých nákladech (Omkar & Kumar 2016). Ochrana rostlin proti škůdcům pomocí přirozených nepřátel je obecně považována za jednu z nejdůležitějších ekosystémových služeb (Hajek & Eilenberg 2018).

3.1.2 Negativa biologické ochrany rostlin

Biologické přípravky mají preventivní účinnost a bioagens je nutné aplikovat až po výskytu škůdce, který je potravním zdrojem organismu, což může vést, ve srovnání s chemickou ochranou, k méně výrazným účinkům (Canna 2021). Biologická ochrana rostlin je metoda, která klade poměrně vysoké nároky na znalosti pěstitele, a také na jeho pečlivost při aplikaci (Prokinová 2017).

Přestože se jedná o přírodní produkty, nejsou všechny biologické prostředky ochrany rostlin zcela neškodné. Mohou jimi být poškozeny i jiné než cílové organismy (Canna 2021). Potencionální rizika lze rozdělit do třech kategorií, kterými jsou 1) Rizika pro zdravý lidí a zvířat; 2) Rizika pro zdravý rostlin a 3) Rizika pro životní prostředí (De Clercq 2011).

3.1.3 Základní principy biologické ochrany rostlin

Biologická ochrana (dále BO) je jednou z šesti strategií integrované ochrany rostlin (IPM) a je rozdělena do čtyř kategorií: 1) Klasická BO; 2) Inokulace; 3) Inundace a 4) Konzervační BO (Helyer et al. 2014). Klasická biologická ochrana spočívá v nasazení exotických bioagens, nejčastěji predátorů a parazitoidů pro regulaci určitého druhu škůdce. Tito škůdci jsou sami o sobě často exotickým druhem náhodně zavlečeným mimo své přirozené prostředí. Inokulační vypouštění zavádí malý počet bioagens, kteří se budou množit, jak budou využívat svého cílového hostitele, a očekává se, že zajistí dlouhodobou regulaci. Naproti tomu inundativní vypouštění spočívá v zavedení velkého počtu parazitoidů, kteří napadají škůdce, ale neočekává se, že by poskytovali dlouhodobou kontrolu škůdce (Wajnberg et al. 2015). Další slibnou metodou je biologická ochrana, která se zaměřuje na management zemědělské krajiny ve prospěch přirozených nepřátel (Boivin et al. 2012).

Oproti výše zmíněnému rozdělují autoři Waage a Mills (1992) základní principy biologické ochrany rostlin jako 1) Podpora přirozených nepřátel a úprava krajiny (conservative); 2) Zavlečení přirozených nepřátel (introductive); 3) Přímé vypouštění přirozených nepřátel (augmentative).

Přirozené nepřátele lze definovat jako živé organismy, které se běžně vyskytují v přírodě a jsou schopny usmrcovat nebo oslabovat populace jiných organismů nebo přímo snižovat reprodukční potenciál těchto organismů. Mezi přirozené nepřátele jsou řazeni predátoři, paraziti, parazitoidi, patogenní mikroorganismy a antagonisti. Pro záměrné vypouštění přirozených nepřátel jsou zavedeny velkokapacitní chovy, které ve světě zajišťují firmy zabývající se vývojem, výrobou a prodejem biopreparátů na bázi makroorganismů i mikroorganismů. V rámci strategií lze vzájemně kombinovat i různé druhy přirozených nepřátel za účelem eliminace jednoho škůdce (Landa 2002c). Předpokládá se, že populace většiny druhů v přírodě podléhají přirozené regulaci prostřednictvím interakcí v rámci potravního řetězce. Cílem několika různých strategií biologické ochrany je obnovit tuto úroveň soběstačné přirozené ochrany, a to buď zavedením přirozeného nepřítele pro trvalé usazení (klasická biologická ochrana), nebo změnou prostředí tak, aby byla zachována nebo zvýšena aktivita populace přirozeného nepřítele (ochranná biologická ochrana). Třetí hlavní strategie, augmentace, není často zaměřena na zavedení dlouhodobé regulace populací škůdců, přesto spoléhá na stejné základní interakce přirozených nepřátel na úkor hostitelů (Hajek & Eilenberg 2018).

3.1.3.1 Podpora (ochrana) přirozených nepřátel a úprava krajiny

Podpora přirozených nepřátel a úprava krajiny představují klíčovou strategii biologické ochrany rostlin. V principu je tato strategie zaměřena na podporu a udržení autochtonních populací přirozených nepřátel buďto redukcí faktorů interferujících s výskytem a funkcí přirozených nepřátel nebo záměrnou podporou a zajišťováním zdrojů, které užitečné druhy ve svém prostředí potřebují. K obecným prvkům strategie podpory přirozených nepřátel a úpravy krajiny lze zařadit mnoho agroekologických a agronomických opatření (Landa © 2021a). BO prostřednictvím ochrany a úprav krajiny se v podstatě zaměřuje na podporu populací predátorů a parazitoidů, které již v zemědělském prostředí existují, ale jejichž hustota se v důsledku zemědělských postupů, jako je hluboké zpracování půdy, používání pesticidů a homogenizace krajiny, výrazně snížila (Boivin et al. 2012).

Tato metoda je založena na využívání stávajících přirozených nepřátel úpravou prostředí, aby se podpořilo založení a přežití většího počtu prospěšných organismů. To může zahrnovat rozvoj oblastí, které fungují jako útočiště, poskytují vhodné rostliny a místa pro přezimování (Kalyanasundaram & Kamala 2016).

3.1.3.2 Introdukce – klasická biologická ochrana

Klasická biologická ochrana se používá již více než 120 let a vypouštění více než 2000 druhů přirozených nepřátel vedlo k trvalé redukci nejméně 165 druhů škůdců po celém světě (Kalyanasundaram & Kamala 2016).

Endemický nebo neendemický druh parazitoida, predátora nebo patogenního mikroorganismu je v malém množství záměrně introdukován do nového areálu rozšíření

škodlivého organismu, případně reintrodukovan do areálu, ve kterém se již dříve vyskytoval. Strategie introdukce je dnes používána i pro účely reintrodukce endemických druhů přirozených nepřátel do areálů (včetně agrobiocenóz), ve kterých se již dříve vyskytovali, případně nahradit místní (autochtonní) populaci populací jinou (Landa © 2021b).

Helyer at al. (2014) definuje klasickou biologickou ochranu tak, že prospěšné druhy jsou zavedeny do oblasti, země nebo kontinentu za účelem potlačení škůdce, který nemá účinné přirozené nepřátele. Po zavedení se očekává dlouhodobé nebo dokonce trvalé usazení pro udržení rovnováhy. Tato forma biologické ochrany je vhodná, když se hmyz, který je zavlečen (obvykle náhodně) do oblastí mimo svoji přirozenou oblast, stane škůdcem především kvůli absenci svých přirozených nepřátel (Van Driesche & Bellows, Jr. 1996).

V některých případech může introdukce přirozených nepřátel vést k nežádoucím účinkům, jako jsou dopady na necílové druhy, křížení s místními druhy nebo kmeny a cechovní interakce, jako je konkurence s místními druhy nebo přímá „intaguild predation“ či parazitismus (Boivin et al. 2012).

3.1.3.3 Augmentace

Augmentace je zaměřena na zvýšení počtu a/nebo aktivity přirozených nepřátel v agroekosystémech. Tato strategie zahrnuje hromadné množení a periodické vypouštění přirozených nepřátel, aby se mohli množit během vegetačního období (Kalyanasundaram & Kamala 2016).

Hlavním principem této strategie je přímá manipulace s populacemi endemických nebo neendemických druhů přirozených nepřátel s cílem zvýšit jejich supresivní účinnost. Augmentativní strategie má výrazně technologický charakter. Klíčovou podmínkou praktické realizace této strategie je existence masových komerčních chovů parazitoidů a predátorů, resp. velkokapacitní biotechnologie produkce mikroorganismů a jejich komerční dostupnost ve formě standardních biologických prostředků (makroorganismy) a biopreparátů (mikroorganismy). Pouze výjimečně je augmentativní strategie založena na introdukcích přirozených nepřátel získaných sběrem v lokalitě jejich masového výskytu (Landa © 2021b).

Dnes je na trzích v Evropě a Spojených státech k dispozici více než 150 druhů přirozených nepřátel a existuje přibližně 85 komerčních výrobců pro augmentativní formy ochrany (Omkar & Kumar 2016).

3.1.4 **Historie biologické ochrany**

Wilson a Huffaker (1976) zmiňují, že jednotlivé příklady využití přirozených nepřátel k regulaci škůdců existují již po staletí, ale biologická ochrana rostlin se jako vědecká metoda objevila až koncem devatenáctého století. Tento výraz v roce 1919 poprvé použil entomolog Smith pro označení použití přirozených nepřátel k regulaci hmyzích škůdců, kdy bylo prokázáno, že jejich přítomnost efektivně snižuje populaci škůdce. S tímto se shodují i Omkar a Kumar (2016), kteří uvádějí, že jednotlivé příklady použití přirozených nepřátel k regulaci škůdců jsou známy po staletí, ale biologická ochrana jako taková se objevila až koncem devatenáctého století s rozvojem oboru entomologie. Díky tomu začalo růst povědomí o důležitosti predátorů, parazitoidů a patogenů pro omezení počtu škodlivého hmyzu a byly předloženy návrhy pro praktické využití těchto přirozených nepřátel.

Podle Bleši (2019) se biologická ochrana jako multidisciplinární vědní obor zformovala v 70. letech, významnou měrou se tato problematika zkoumá zhruba od poloviny 20. století a dnes představuje rozvinuté odvětví.

3.1.5 Význam biologické ochrany v ekologickém zemědělství

Biologická ochrana rostlin je jednou z metod využívanou v rámci integrované ochrany rostlin především v ekologickém zemědělství, kde je použití chemických látek značně omezeno. V 90. letech 20. století byly pro ochranu plodin proti škůdcům používány primárně insekticidy. Postupem času však začalo přibývat mnoho faktů, které dokazují, že jejich přímá expozice má negativní vliv na lidské zdraví. Aplikace insekticidů může také vést k úplnému vyhubení škodlivého hmyzu namísto řízení jejich populací pod ekonomickou prahovou úroveň, čímž v konečném důsledku může narušit biodiverzitu (Omkar & Kumar 2016).

V posledním desetiletí došlo ke zvýšenému zájmu o minimalizaci ekonomických ztrát způsobených škůdci a zároveň vyvarování se použití chemických pesticidů. Pávě smyslem ekologického zemědělství je produkce zdravých a kvalitních potravin trvale udržitelným způsobem. Zahrnuje zejména postupy zamezující poškozování půdy a širokou podporu biodiverzity v krajině. Pracuje, mimo jiné, s vyloučením agrochemikálií a geneticky modifikovaných organismů (Settele & Settle 2018).

Trvale udržitelné zemědělství je často definováno jako eko kompatibilní a v tomto smyslu je také považováno za alternativní vůči zemědělství konvenčnímu. Teorie i praxe trvale udržitelného zemědělství se odvíjí od čtyř základních principů, kterými jsou 1) Prevence znečišťování; 2) Zvýšení kvality rostlin; 3) Redukce kvantity; 4) Zachování biodiverzity. Na rozdíl od konvenčních nejsou trvale udržitelné zemědělské technologie parametrizovány pouze standardními ekonomickými kritérii (např. náklady, kvalita produkce), ale i tím, jakým způsobem se podílejí (resp. nepodílejí) na spotřebě neobnovitelných přírodních zdrojů a jak přispívají k ochraně životního prostředí a lidského zdraví (Landa © 2021b).

3.2 Využití parazitoidů a predátorů v biologické ochraně rostlin

3.2.1 Charakteristika parazitoidů

Parazitoidi jsou druhově velmi bohatou skupinou přirozených nepřátel hmyzu, kteří se velmi těžce identifikují. Jejich larvální stádia žijí často skrytým způsobem života uvnitř těla hostitele. Přítomnost parazitoidů v hostiteli je tak lehce zjištělná jen u těch druhů, kteří mění vzhled hostitele (Petrželová & Doležalová 2014).

Parazitoidi jsou sekundární konzumenti na stejné trofické úrovni jako predátoři, kteří svého hostitele využívají jako zásobárnu potravy, částečně jako ochranu a jsou na svého hostitele alespoň částečně závislí (Landa © 2021b).

Jde o druhy žijící v dospělosti neparaziticky, avšak samice kladou vajíčka do živých jedinců jiných druhů (především hmyzu), v jejichž tělech (či vzácně napovrchu) parazitují jejich larvy během larválního vývoje (Godfray 1994). Ačkoli zástupce parazitoidů najdeme v sedmi řádech hmyzu blanokřídlí (Hymenoptera), brouci (Coleoptera), dvoukřídlí (Diptera), chrostíci (Trichoptera), motýli (Lepidoptera), síťokřídlí (Neuroptera) a řasníci (Strepsiptera) (Wells 1992, Peters et al. 2017), nejvíce druhů spadá mezi blanokřídlí a dvoukřídlí hmyz, jedná se o

lumkovití (Ichneumonidae), lumčíkovití (Braconidae), chalcidky (Chalcidoidea), vejřitky (Proctotrupoidea) a kuklice (Tachinidae). Larvy parazitoidů se systematicky živí tělním obsahem hostitele, před zakuklením musí vyprázdnit obsah svého střeva, což působí na hostitele toxicky (Godfray 1994). Smrt hostitele je v těchto případech nevyhnutelná, čímž se podobají pravým predátorům. Přes jistou kurióznost způsobu života je odhadováno, že tyto druhy představují celých 25 % z celosvětové biodiverzity (Němeček 2016).

Hostiteli parazitoidů se stávají zástupci kmene členovců (Arthropoda) a v některých případech také hlísti (Nematoda) (Gauld & Bolton 1996).

3.2.2 Rozdíl mezi parazitoidem a parazitem

Hlavními rozdíly jsou:

- parazitoid obvykle svého hostitele usmrtí v průběhu svého vývoje, parazit nikoliv;
- parazitoidi jsou relativně velcí v porovnání se svým hostitelem;
- dospělí parazitoidi jsou většinou volně žijící jedinci, nemusejí se zdržovat v blízkosti hostitele, zatímco vývojová stádia jsou parazitická – závislá na svém hostiteli, paraziti potřebují svého hostitele ke svému vývoji i jako dospělci;
- vývoj parazitoida je závislý pouze na jednom individuálním jedinci, paraziti většinou své hostitele střídají;
- s ohledem na populační dynamiku, parazitoidi, podobně jako predátoři, snižují populační hustotu hostitele (Mendelova univerzita 2015).

3.2.3 Životní strategie parazitoidů

Životní strategie „parazitoid“ je v rámci hmyzu nejčastějším způsobem života (Godfray 1994), neboť se předpokládá, že každý druh hmyzu má svého parazitoida (Singh & Singh 2016). Parazitoid je živočich, který se vyvíjí vně (ektoparazitoid) nebo uvnitř (endoparazitoid) hostitele a přijímá z něho potravu. Volně žijící dospělé samičky kladou svá vajíčka na/do mnoha hostitelů, tedy mohou být odpovědné za smrt více jedinců (Mendelova univerzita 2015). Samičky parazitoidů kladou svá vajíčka do různých vývojových stádií členovců – vajíček, larev, kukel i dospělců (Godfray 1994) a mají schopnost rozlišovat mezi zdravými a již parazitovanými hostiteli (Singh & Singh 2016).

Parazitoidy můžeme dělit do několika skupin. Podle strategie rozmnožování rozlišujeme parazitoidy podle počtu vyvíjejících se jedinců v hostiteli. Soliterní parazitoidi kladou do každého hostitele jedno nebo více vajíček, jejich larvy jsou dravé a do dospělosti se vyvine pouze jeden jedinec. Oproti tomu gregariózní druhy kladou do hostitele několik vajíček, mají tolerantní larvy a vývoj dokončí více jedinců najednou (Boivin & van Baaren 2000). U některých druhů parazitoidů naklade samice pouze jedno vajíčko, které zahájí proces polyembryonie. Z tohoto vajíčka se vylíhnou desítky jedinců, kteří jsou geneticky stejní (kloni) a tím se zvyšuje parazitická kapacita parazitoida (Žikić et al. 2016).

Podle využití hostitele se parazitoidi dělí na koinobionty a idiobionty. Koinobiontní parazitoid se vyvíjí v hostiteli bez omezení jeho pohybu a vývoje. Tito hostitelé stále přijímají potravu a v případě škůdců tak způsobují poškození rostlin i po parazitace (Askew a Shaw 1986). Larvy koinobiontů musí odolávat imunitnímu systému hostitele a jsou často

specializované na jeden či několik málo druhů hostitelů (Rott & Godfray 2000). Koinobionti jsou obecně endoparazitoidi a nevyvolávají žádné známky parazitismu, dokud hostitel nedosáhne vhodné velikosti a larva parazitoida nezačne hostitele konzumovat (Helyer et al. 2014). Oproti tomu idiobiontní parazitoidi se vyvíjí na hostitelích, kteří již nepřijímají potravu. Tito parazitoidi potlačují schopnost pohybu a růstu hostitele, který by ho mohl například svlékáním kutikuly nebo pohybem poškodit. Mnoho idiobiontů napadá hmyz, který žije skrytě, např. minující či hálkotvorný hmyz. Často jsou napadána stádia hostitelů, která nejsou schopná pohybu, jako jsou vajíčka nebo kukly (Askew & Shaw 1986). Idiobionti jsou většinou ektoparazitoidi, kteří kladou vajíčko (nebo více) na hostitele, larva se vyvine mimo tělo kořisti a vysává živiny z živého, ale ochrnutého těla hostitele (Helyer et al. 2014).

Další dělení parazitoidů je podle celkového počtu vajíček samičky po vykuklení. Samičky proovigenních druhů se líhnou s konečným počtem vajíček. Oproti tomu samičky synovigenních druhů parazitoidů produkují nová vajíčka i v průběhu svého života a počet vajíček se zvyšuje např. s příjmem vhodné potravy v dospělosti (Jervis et al. 2002).

Vyhledávání hostitele mohou ovlivnit podmínky prostředí, zejména teplo a světlo (Osborne et al. 2004). Nalezení hostitele začíná výběrem vhodného stanoviště, přičemž důležitou roli hrají živné rostliny hostitelů, protože se zdá, že jsou k nim parazitoidi přitahováni. Např. atraktivita hostitelských mšic pro parazitoidy je zřejmě způsobena vnímáním jejich kairomonů, které jsou přítomny v medovici. U většiny druhů samičky hledají hostitele v okruhu několika metrů. Dochází však k šíření na velké vzdálenosti, zejména pokud jsou hostitelé vzácní, a některé druhy se mohou za rok rozptýlit i do vzdálenosti přes sto kilometrů (Singh & Singh 2016).

3.2.4 Využití parazitoidů v biologické ochraně rostlin

Parazitoidi mohou způsobit významnou mortalitu kolonií škůdců, díky čemuž jsou úspěšně využíváni v programech biologické ochrany (Boivin et al. 2012). Při přímém vypouštění parazitoidů závisí jejich úspěšnost do značné míry na kvalitě jejich hromadného chovu (Kalyanasundaram & Kamala 2016). Založení a udržení populace importovaného parazitoida je ovlivněna především kvalitou a vlastnostmi dospělých samic. Jejich pátrací chování, ať už individuální nebo skupinové, určuje skutečný potenciál druhu při regulaci hustoty hostitelů – škůdců na nízkou nebo alespoň tolerovatelnou úroveň (Doutt et al. 1976).

Jak již bylo výše zmíněno, v programech biologické ochrany lze parazitoidy využívat různými způsoby. Patří mezi ně: klasická biologická ochrana, inokulační nebo inundativní vypouštění a klasická biologická ochrana (Wajnberg et al. 2015).

Pro efektivní využití parazitoidů v biologické ochraně rostlin musí být známe vlastnosti obou druhů, jak parazitoida, tak škůdce. Je potřeba znát behaviorální interakce a chemickou komunikaci mezi těmito druhy. Efektivitu parazitoidů mohou ovlivnit další faktory jako např. správná aplikace, délka života a jiné biotické a abiotické podmínky ekosystému (Ozturk 2020). Waage & Hassell (2009) uvádějí další důležité faktory pro úspěšné použití parazitoidů v biologické ochraně, kterými jsou především potravní chování, plodnost, přežívání larev a poměr pohlaví. Mají-li být parazitoidi v biologické ochraně účinní, musí být časově, prostorově a ekologicky shodní se svými hostiteli. Parazitoidi a jejich hostitelé musí být v harmonii nejen v prostoru a čase, ale také v mikrobiotopu. Zpočátku samice vyhledává určité prostředí bez

ohledu na přítomnosti nebo nepřítomnosti hostitelů, ve kterém se podle mikroklimatu a pachů s největší pravděpodobností vyskytují vhodné hostitelé (Doutt et al. 1976).

Parazitoidi vykazují různé úrovně specializace na hostitele. Někteří se specializují na jeden nebo několik málo druhů hostitelů, zatímco jiní jsou generalisté s širším hostitelským spektrem (Godfray 1994). Výběr nejvhodnějšího parazitoida pro použití v programu biologické ochrany rostlin proti škůdcům by se měl proto opírat o informace o šíři hostitelského spektra parazitoida. Parazitoidi vykazují také preference i v rámci jednoho druhu, kdy dávají přednost některým larválním instarům před jinými (Boivin et al. 2012).

S úrovní úspěšnosti parazitoidů používaných při biologické ochraně rostlin souvisí několik ekologických faktorů, včetně šíření přirozených nepřátel, úkrytů hostitelů před vypuštěnými přirozenými nepřáteli, vzájemné konkurence a kvality přirozených nepřátel. Obecně se tvrdí, že lepší znalost chování parazitoidů v souvislosti s hledáním hostitele by mohla pomoci při výběru nejlepšího přirozeného nepřítele k vypuštění (Wajnberg et al. 2015).

Dospělci parazitoidů jsou volně žijící, oproti tomu larvální stadia se vyvíjí v hostiteli. Usmrcení hostitele na konci larválního stádia parazitoida je velký přínos z hlediska biologické ochrany (Helyer et al. 2014). Nicméně ani parazitoidi nejsou uvnitř hostitelů v bezpečí, může na ně útočit široká škála taxonomicky a ekologicky rozmanitých přirozených nepřátel: mohou být požíráni predátory, parazitováni hyperparazitoidy nebo infikováni patogeny (Boivin et al. 2012).

3.3 Charakteristika predátorů

Predátor je druh, který je na svou kořist vázán pouze potravně a jehož vývoj na ní není vázán, nicméně osidluje s obětí shodný biotop a v průběhu vývoje zpravidla usmrtí více jedinců oběti (Landa © 2021b). Predaci můžeme označit lovením a zabíjením jednoho organismu druhým. Tento vztah lze nalézt napříč všemi skupinami od obratlovců přes hmyz až k mikroorganismům. Pro účely biologické ochrany rostlin se využívají především bezobratlí predátoři, jako dravá háďátka, draví roztoči a hmyz (Bleša 2019). Predátoři napadají a živý se výhradně zvenčí. U mnoha dravých hmyzů se kořistí živý pouze larvální stádium, dospělci přežívají z hmyzí medovice, rostlinného nektaru a pylu. U predátorů z čeledi slunéčkovití (Coccinellidae) se však larvální stadia i dospělci aktivně živí kořistí (Helyer et al. 2014).

Predace je jednosměrná interakce prospěšná pro jeden druh s negativním výsledkem pro druhý, přičemž predátor svou kořist zabije. Pojem predátor zahrnuje dravé živočichy, kteří usmrcují jiné živočichy jako svoji kořist a požírají je. Predátoři jsou z pravidla polyfágní, i když často potravně preferují jeden druh (Mendelova univerzita 2015). Predace je široce rošířený mezidruhový vztah, v němž predátor napadá svou kořist za účelem obživy. Kořist je buď přímo zabíjena anebo přežívá a je odnímána pouze její část (Němeček 2016). V případě vnitrodruhové predace se jedná o kanibalismus a v rámci biologické ochrany se s tímto druhem interakce můžeme setkat především u dravých slunéček. V případě nouze o potravu může slunéčko východní (*Harmonia axyridis* (Pallas, 1773)) požírat i nedospělá stadia, vajíčka, larvy a kukly ostatních druhů slunéček, živících se stejnou kořistí. Tím se liší od jiných druhů čeledi, které sice občas požírají jedince vlastního druhu, ale spokojí se s tímto kanibalismem a jiným druhům neškodí (Skuhrovec et al. 2018). Ve většině případů nepředstavuje predace těsnou vazbu dvou druhů. Každá kořist bývá lovena více predátory a stejně tak každý predátor vybírá více druhů

kořisti, i když jedna může převládat. Někteří predátoři mohou fatálně ovlivnit početní dynamiku kořisti, většinou se tak však neděje (Němeček 2016).

3.3.1 Životní strategie predátorů

Na rozdíl od strategie parazitoidů mají predátoři širší výběr druhů, kterými se živí. Polyfágní predátoři napadají větší počet druhů kořisti z různých řádů hmyzu. Během svého vývoje jsou schopni konzumovat většinou všechna vývojová stádia a zároveň jsou schopni se bez přítomnosti kořisti živit pylem, nektarem nebo medovicí produkovanou škůdci rostlin. (Osborne et al. 2004).

3.3.2 Využití predátorů v biologické ochraně

Kvůli dobře pozorované interakci mezi predátorem a kořistí byli predátoři již dávno zmiňováni pro biologickou ochranu rostlin (Omkar a Kumar 2016). Entomofágní členovce, kteří napadají hmyzí býložravce, lze obecně rozdělit na specialisty a generalisty. Specialisté se živí jedním nebo několika málo druhy kořisti a jejich dynamika je tak úzce spjata s dynamikou jejich kořisti (Snyder & Ives 2001). Oproti tomu generalisté mají široký potravní výběr. Úloha generalistických predátorů v biologické ochraně zůstává kontroverzní, protože mohou nejen snižovat populace škůdců, ale také narušovat redukci škůdců prováděnou jinými přirozenými nepřáteli (Michalko et al. 2019). I přesto jsou predátoři uznáváni jako účinná regulace škůdců na plodinách po celém světě (Chailleux et al. 2013). Ukazuje se, že role generalistických predátorů je důležitá zejména v porostech monokultur (Hagen et al. 1976).

Několik studií potvrzuje účinnost generalistických predátorů v biologické ochraně rostlin. Předpokládaný význam společenstev predátorů je zvláště významný tam, kde je hlavním cílem zvýšit úmrtnost škůdců zachováním přirozených nepřátelských společenstev přítomných v obhospodařovaných stanovištích především prostřednictvím kulturních, agronomických a ekologických postupů a manipulací (Moreno et al. 2010). Účinnost predátora je ovlivněna vnějšími faktory jako jsou světlo, teplota, hustota kořisti, stav hostitelské rostliny, ale i gravitace nebo chemické látky vylučované kořistí a rostlinami (Hagen et al. 1976).

3.4 Interakce parazitoid x predátor

Strategie parazitoidů byly pochopeny mnohem později než strategie predátorů kvůli složitým vztahům mezi parazitoidy a jejich hostiteli (Omkar a Kumar 2016). V žádném společenstvu organismů nejsou populace různých druhů vzájemně izolovány, nýbrž vždy vstupují do mnoha vzájemných interakcí, a to buď přímým kontaktem anebo zprostředkovaně například skrze místa společného pobytu nebo potravu. Tato vzájemná působení mohou nabývat nesčetných podob, které však lze třídit do několika definovaných kategorií podle toho, jak se tato působení projevují na jedincích zúčastněných druhů. Interakce mezi parazitoidy a predátory se řadí mezi amensalismus, kdy jde o antagonistický vztah, v němž je jeden slabší druh, amenzál (parazitoid), negativně ovlivněn silnějším druhem, inhibítozem (predátor), jenž sám však není tímto vztahem dotčen. Amenzál může být inhibítozem bržděn v růstu, rozmnožování, nebo je z prostředí zcela konkurenčně vytěsněn (Němeček 2016).

Ústředním, ale relativně nevyzkoušeným předpokladem biologické ochrany rostlin je, že společenstvo přirozeně se vyskytujících přirozených nepřátel je při potlačení škůdců účinnější než jakýkoli jednotlivý druh. V současné době roste zájem o identifikaci „správného“ druhu přirozené nepřátelské rozmanitosti potřebné k podpoře pozitivních interakcí potlačujících škůdce (Moreno et al. 2010).

Parazitoidi a predátoři využívají podobné potravní zdroje (Amiri-Jami 2022). Potenciálně si konkurující druhy jsou často zapojeny do interakcí mezi predátory a kořistí. Tato kombinace konkurence a predace se nazývá „intraguild predation“ (IGP) (Polis & Holt 1992). „Intraguild predation“, která může ohrozit efekt biologické ochrany, je v agroekosystémech běžným jevem (Chailleux et al. 2013). Vajíčka, larvy a kukly parazitoidů jsou často predovány, když se vyvíjejí uvnitř hostitele (Memmott et al. 1993), zatímco dospělci mohou být usmrceni generalistickými predátory nebo entomopatogeny (Boivin et al. 2012). Rozsah „intraguild predation“ ovlivňuje několik parametrů: potravní specifická, velikost, mobilita a agresivita protagonistů a také hustota mimodruhové kořisti (Memmott et al. 1993).

„Intraguild predation“ se stala významným tématem výzkumu v oblasti biologické ochrany rostlin (Kindlmann & Houdková 2006) a dochází k ní při společné kořisti konkurenčních přirozených nepřátel. Může být důležitým faktorem ovlivňujícím účinnost přirozených nepřátel škůdců v biologické ochraně (Almohamad & Hance 2014). Pokud k ní dochází mezi parazitoidy a predátory, je parazitoid vždy podřízeným druhem (tj. „intraguild“ kořistí), protože jeho larvy mohou být sežrány „intraguild“ predátorem (Frago 2016). Generalističtí predátoři tak mohou výrazně oslabit účinnost biologické ochrany (Snyder et al. 2022).

Parazitoidi detekují chemické signály predátorů a vyhýbají se jim. Tyto reakce mohou mít důsledky pro dynamiku vztahu mezi hostitelem a parazitoidy. Jako „intraguild“ kořist využívají parazitoidi chemické informace k tomu, aby rozpoznali místa s vysokým rizikem predace. Několik studií odhalilo, že se parazitoidi predátorským chemickým signálům vyhýbají. Tyto signály mohou snižovat účinnost parazitoidů tím, že prodlužují dobu, kterou dospělé vosičky potřebují k manipulaci s hostiteli, nebo počet vajíček, která kladou na jednoho hostitele (Frago 2016). Hodkem a Michaudem (2008) bylo rovněž prokázáno, že parazitoidi mšic se vyhýbají listům, které předtím navštívila dospělá slunéčka. Tato reakce může zachovat potravní zdroje pro dospělé slunéček sedmiletých i jejich potomstvo a rozptýlit parazitismus mšic ve větším rozsahu mezi mšicemi.

Hodek a Michaud (2008) dále uvádějí, že se „intraguild predation“ v poslední době stává populárním tématem v biologické ochraně rostlin a byly publikovány rozporuplné názory. Někteří autoři naznačují, že účinek „intraguild predation“ je často rušivý pro mšičožravé organismy, např. slunéčka mohou narušit rozmnožování parazitoidů tím, že se živí parazitovanými mšicemi. Další publikace dokazují všudypřítomnost a důležitost této interakce. Je prokázáno, že skupiny přirozených nepřátel mšic představují pro „intraguild predation“ obzvláště příznivý systém. Časové a prostorové rozložení mšic podporuje interakce, jako je „intraguild predation“, mezi přirozenými nepřáteli (Lucas 2005).

3.5 Modelové organismy

3.5.1 Mšicomar



Obrázek č. 1 a); b) – Mšicomar

Autor: Tereza Hojerová

3.5.1.1 Původ a rozšíření

Mšicomar (*Aphidius colemani* Viereck 1912 (Hymenoptera: Braconidae)) je považován za druh indického původu (Kourti 2009) a jako bioagens se využívá od roku 1992 (Psota & Kopta 2010). V současné době je znám ve středomořské Evropě, Malé Asii, Střední Asii, Indii, Pákistánu, většině Afriky, jižní Austrálii a Jižní Americe. Pro účely biologické ochrany rostlin byl zavlečen do Spojených států (Kalifornie), Velké Británie a Československa (Kourti 2009).

Tato parazitická vosička, o níž se předpokládá, že pochází z Indie nebo Pákistánu, byla poprvé použita v programech biologické ochrany na počátku 70. let 20. století a od roku 1991 je masově chována a komerčně prodávána. *A. colemani* se v současné době používá po celém světě a je k dispozici od mnoha komerčních dodavatelů (Prado et al. 2015).

3.5.1.2 Popis

Mšicomar je zástupce rodu blanokřídlých parazitoidů (Hymenoptera – parasitica), čeledi lumčíkovitých (Braconidae) (Psota & Kopta 2010). Jeho hostitelé jsou různé druhy mšic z čeledi mšicovitých (Hemiptera: Aphididae). Jedná se o polyfágní parazitoidy, kteří jsou hojně využíváni při biologické ochraně rostlin (Kourti 2009), především k ochraně zelenin a okrasných rostlin ve sklenících zejména proti mšici broskvoňové (*Myzus persicae*) a mšici bavlníkové (*Aphis gossypii*) (Landa © 2021a), ale je zjištěna parazitace až na 40 druzích mšic (Psota & Kopta 2010).

Petrželová a Doležalová (2014) uvádějí, že *A. colemani* je 2 mm malá vosička černého zbarvení s hnědými končetinami, vyznačují se dlouhými tykadly a nápadným žilkováním křídel.

Rozdíly ve tvaru předního křídla zkoumané v rámci biotypů skupiny *A. colemani* odpovídají jejich genetické diverzifikaci. Výsledky studie Tomanović et al. (2014) naznačují, že "genetický screening" je spolehlivým přístupem k identifikaci v rámci skupiny *A. colemani*.

Vysoká variabilita tvaru křídel mezi jednotlivými druhy, včetně výrazné divergence tvaru křídel mezi jedinci, kteří se vylíhli z různých hostitelů, činí tvar předních křídel a žilnatinu křídel méně spolehlivými pro určení druhu.

3.5.1.3 Hospodářský význam

Parazitické vosičky mšicomarů se používají k regulaci populací mšic ve sklenících na plodové zelenině (zejména rajčata, okurky, papriky), drobném ovoci (maliny, jahody) a okrasných květinách (zejména chryzantémy, gerbery). Druh *A. colemani* je teplomilný a parazituje na menších druzích mšic (Psota & Kopta 2010).

Samička parazitoida klade vajíčka do mšic, kde se mšicomar vyvíjí až do své dospělosti; mšice se přetvoří v tzv. mumii (Landa © 2021a). Přítomnost mšicomara v porostu indikuje výskyt zlatavě hnědých parazitovaných, tzv. mumifikovaných mšic (Petrželová & Doležalová 2014).

Parazitická vosička je díky letové aktivitě schopna aktivně vyhledávat hostitele i na větší vzdálenost. V procesu vyhledávání mohou napomáhat různé chemické podněty, ať už se jedná o látky vylučované poškozenou rostlinou, přítomností medovice i poplašné feromony produkované mšicemi, což může hrát roli v jejich parazitaci. Při nalezení vhodného hostitele naklade samička vajíčko do těla mšice, kdy se v důsledku parazitace ze mšice stane mumie. Díky morfologické změně parazitovaných mšic, lze snadno odhadnout účinnost vypuštěného parazitoida (Bohatá © 2014-2023). Dle výzkumu Goha et al. (2001) byl počet mumií nejvyšší u jednodenních nymf a nejnižší u sedmidenních mšic.

Za ideálních podmínek dokáže *A. colemani* udržet populace mšic na podobné úrovni jako v případě aplikace pesticidů, ale jeho aplikace je bezpečnější a časově méně náročná (Prado et al. 2015).

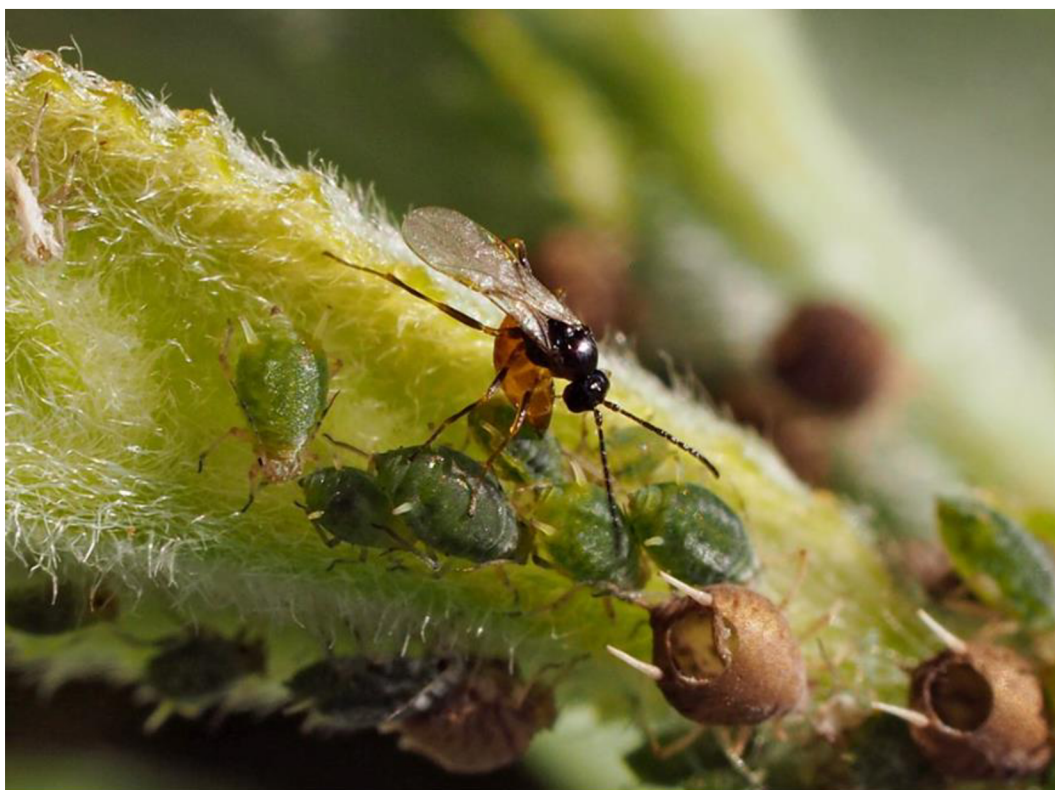
Výsledky experimentů Storecka et al. (2003) naznačují, že signály odvozené od rostlin, včetně rostlinných synomonů vyvolaných herbivory, mohou hrát důležitou roli při určování hostitelských preferencí, které parazitoidi mšic vykazují během procesu výběru hostitele. Vystavení chemickým signálům na mumiích v době výskytu dospělců je jedním z hlavních mechanismů, které se podílejí na určování počátečních preferencí, ale následné zkušenosti s hledáním potravy mohou tyto počáteční preference rychle změnit, což zajišťuje behaviorální plasticitu prostřednictvím procesu učení. V případě *A. colemani* se zdá, že zkušenosti s hledáním potravy dospělců převáží nad jakýmkoli "podmiňováním výskytu", ale tato plasticita může být pro tento generalistický druh důležitá.

3.5.1.4 Životní cyklus

Vývojový cyklus začíná u mšicomarů *A. colemani* naklazením vždy jen jednoho vajíčka do hostitelské mšice a další vývojová stadia probíhají uvnitř parazitované mšice. Délka životního cyklu závisí na teplotě a trvá 14 dní při teplotě 21 °C pro dosažení dospělosti (vylíhnutí dospělce), zhruba 20 dní při teplotě 15 °C nebo okolo 10 dní při teplotě 25°C. Zvýšením teploty nad 30 °C může dojít k redukci účinnosti parazitace, což může nastat zejména v krytých pěstebních prostorech v období teplého počasí (Petrželová & Doležalová 2014). Samičky se páří jednou, zatímco samečci se páří vícekrát. Samičky mohou klást oplodněná i neoploštěná vajíčka, kdy z neoploštěných vajíček se vyvíjejí samečci a z oplodněných

vajíček samičky. Samička může naklást za svůj život až 300 vajíček. Nejvíce vajíček naklade samička první tři dny po páření. Samička klade vajíčka tak, že ohne tělo pod nohama a vajíčko pomocí kladélka vstříkne do těla dospělce nebo nymfy mšice. Naklazení vajíčka trvá velmi krátkou dobu, zlomek vteřiny. Po vylíhnutí z vajíčka začíná larva přijímat potravu. Zpočátku se živí částmi, které nejsou pro mšici smrtelné. Postupem vývoje se larva živí tkáněmi a orgány mšice a ta v důsledku parazitace umírá. Celý vývoj probíhá uvnitř těla hostitele, nelze tedy pozorovat pouhým okem. Larva postupně prochází třemi nebo čtyřmi larválními instary. Na konci larválního vývoje se začne larva připravovat ke kuklení. Vykousne otvor v parazitované mšici a spřádá kokon, pomocí kterého je mšice připevněna k listu. Larva se v kokonu zakuklí. Přítomnost kokonu způsobí to, že se mšice nafoukne. Tělo mšice začne mumifikovat. Barva mumie je zlatohnědá a tělo je kožovité. Čtyři dny po začátku mumifikace se z mumie uvolní dospělec *A. colemani*. Dospělec vykousne kulovitý otvor pomocí kusadel. Poměr samiček a samečků v populaci je 2:1. Dospělec *A. colemani* žije po dobu 2 až 3 týdnů (Bohatá © 2014-2023). Po vylíhnutí se samička parazitoida spáří, často na místě výskytu, a začne hledat hostitelské mšice. Pokud je kolonie mšic stále přítomna, může samička začít napadat mšice na stejném políčku nebo na stejné rostlině, nebo se může rozptýlit a hledat novou kolonii mšic. U většiny druhů vyhledávají samičky hostitele v okruhu několika metrů (Boivin et al. 2012).

Použití syntetických pyrethroidů, které se vyznačují dlouhou reziduální aktivitou, může mít za následek usmrcení čerstvě vylíhnutých dospělců mšicomara (Psota & Kopta 2010).



Obrázek č. 2 – Mšicomar parazitující na mšicích a mumifikované mšice s otvory po vylíhnutí mšicomara.

Zdroj: www.blanokridlivpraze.cz

3.5.2 Slunéčko sedmítečné



Obrázek č. 3 – Slunéčko sedmítečné

Autor: Tereza Hojerová

3.5.2.1 Původ a rozšíření

Slunéčko sedmítečné (*Coccinella septempunctata* Linnaeus, 1758; Coleoptera: Coccinellidae) je druh původem z Evropy. Dnes se jedná o hojně rozšířený druh, vyskytuje se skoro po celé palearktické oblasti v různých biotopech od nížin po horské oblasti (Pokorný 2014). Je typickým obyvatelem luk a polí (Hodek & Michaud 2008). Podle Srivastava a Srivastava (2003) je slunéčko sedmítečné všudypřítomný mšicožravý druh, který převládá v Euroasii.

3.5.2.2 Popis

Slunéčko sedmítečné řadíme mezi entomofágní sluněčka a pravé predátory, kteří bývají obvykle větší než jejich kořist a během svého života napadají více individuí oběti, kterou zabíjejí ihned nebo krátce po ulovení. Jedná se o predátory, kteří se živí hlavně mšicemi, a to jak larva, tak i dospělý brouk (Petrželová & Doležalová 2014). Výběr potravy pravděpodobně ovlivňuje vlhkost prostředí. Sluněčka mohou ztrátu vody vypařováním kompenzovat konzumací většího množství kořisti s vysokým obsahem tekutin (Hodek & Evans 2012).

Brouci jsou oválného polokulovitého tvaru těla, velikosti 1-9 mm s typickým pestře skvrnitým zbarvením. Tykadla mají krátká, nitkovitá, na konci s paličkou. Larvy jsou protáhlé, většinou šedomodře až černě zbarvené s barevnými světlými skvrnami. Na povrchu těla mají četné, pravidelně uspořádané hrbolky nesoucí krátké svazečky štětin (Obrtel 2015). Larvy i dospělci mají kusadla s jedním nebo dvěma apikálními zuby a bazálním zubem. Nepohyblivé pestře zbarvené kukly najdeme zachycené na rostlinách (Hagen et al. 1876).

Pokud se slunéčko cítí být v ohrožení, znehybní, přitáhne nohy k tělu a spadne z rostliny na zem, kde se staví mrtvým. Současně z kloubů noh vylučuje kapičky žlutavé olejovité tekutiny, která obsahuje jedovaté alkaloidy, a proto je většina nepřátel nechává být (Obrtel 2015). V hemolymfě sluněček byly nalezeny četné dusíkaté látky, které bývají označovány jako

živočišné alkaloidy. U slunéčka sedmitečného byly nalezeny látky se strukturou perhydropyridochinolizinu (Patočka 2004).

Slunéčka přezimují jako dospělci v různých skalních štěrbinách, v lesní hrabance, v okenních skulinách i pod kameny, často pospolitě (Obrtel 2015).

3.5.2.3 Hospodářský význam

Slunéčko sedmitečné je považováno za užitečného predátora s velkým hospodářským významem, vykazují dravost vůči mnoha škůdcům především slabě sklerotizovaného hmyzu, jako jsou např. mšice (Aphididae) (Kundoo & Khan 2017).

Duškova a Kopriva (2009) uvádí, že dospělá slunéčka i larvy jsou významní predátoři, kteří významně přispívají k brzdění přemnožení mšic a dalších druhů škůdců. Odhaduje se, že v průběhu svého vývoje zahubí každá larva a později i dospělé slunéčko sedmitečné přes 600 mšic. Tím se řadí k nejužitečnějším pomocníkům zahradníků a ostatních pěstitelů bylin i dřevin při jejich ochraně proti poškozování koloniemi mšic (Obrtel 2015).

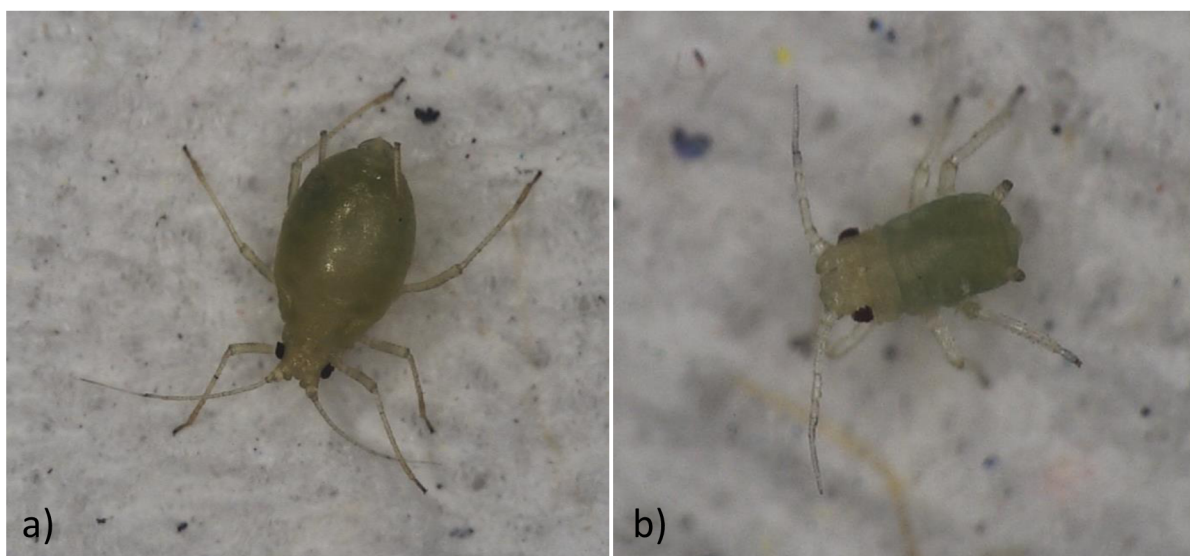
3.5.2.4 Životní cyklus

Časové změny v množství mšic představují pro mšicožravá slunéčka sedmitečná značnou výzvu, protože aby maximalizovaly svou zdatnost, musí synchronizovat svou reprodukci s raným vývojem populací mšic, protože přežití nově narozených larev slunéček je velmi závislé na množství mladých mšic (Hemphill et al. 1992).

Samičky slunéček nakladou na jaře drobná žlutooranžová vajíčka, která bývají ve skupinkách uchycena na spodní straně listů (Nováková 2022). Jedna samička snese přibližně 50 až 150 vajíček. Už po pěti až deseti dnech se z nich líhnou pestře skvrnitě larvy, které jsou velmi pohyblivé a aktivní při požívání mšic. Po čtyřech larválních stádiích se zakuklí na tři až šest týdnů. Kukly jsou červenooranžové s černými skvrnami a najdeme je zavěšené hlavou dolů na spodních listech (Pokorný 2014). Larvy se vyvíjí asi 20 dní a během vývoje sežerou na 400 mšic. Dospělí brouci denně sežerou 40–60 mšic (Petřelová & Doležalová 2014).

V době nedostatku vhodné potravy se slunéčka živí rostlinami nebo pylem, což jim umožní nahromadit potřebné energetické zásoby, díky kterým dospělá slunéčka mohou přežít delší dobu bez kořisti. Samičky slunéček sedmitečných také mohou dočasně přerušit dozrávání oocytů a ukončit ovipozici, pokud není v blízkosti vhodná kořist a následně obnovit rozmnožování, když dojde ke zlepšení podmínek (Hodek & Michaud 2008).

3.5.3 Mšice



Obrázek č. 4 a); b) – Vývojová stádia mšice broskvoňové.

Autor: Tereza Hojerová

3.5.3.1 Popis čeledi mšicovití (Aphidiae)

Odhaduje se, že ve světové fauně je více než 4700 druhů mšic, přičemž asi 780 druhů patřících do 211 rodů pochází z Indie (Singh & Singh 2021).

Mšice jsou drobný (<7 mm) polokřídlý hmyz s měkkým tělem vejčitého tvaru. v České republice se druhová početnost uvádí na cca 780 druhů a nadále roste díky novým invazním druhům. Na rostlinách se většinou vyskytují v početných koloniích (Biocont © 2023). Jsou kosmopolitní, ale nejhojněji se vyskytují v mírném podnebí (Singh & Singh 2016). Mšice řadíme mezi savý hmyz, žíví se floémovou šťávou z rostlin. Dlouhý sosák (většinou delší než tělo) je stočen v torbě v přední části hrudi. Sosák je na konci opatřen smyslovými orgány dovolujícími zhodnotit kvalitu hostitelské rostliny. Sosák je zaváděn do hostitelské rostliny skrze její pokožku (kutikulu), pak je postupně veden mezibuněčnými prostorami parenchymatických pletiv a konečně zaveden do cévního svazku. Po jeho nabodnutí proudí floémová šťáva vlastním tlakem z rostliny do trávicího ústrojí mšice (Honěk et al. 2021).

Sání je přizpůsobena rovněž trávicí soustava. Umožňuje filtraci přijímané rostlinné šťávy, ze které jsou odebírány především volné aminokyseliny, zatímco cukerné složky, které jsou v potravě v nadbytku, jsou vylučovány jako nažloutlá lepkavá tekutina, zvaná medovice, která může sloužit také jako potrava pro mravence, včely nebo parazitické vosičky (Honěk et al. 2021). Obvykle žijí v koloniích na spodní straně listů nebo na jemných koncových výhonech (Singh & Singh 2021).

Většina druhů mšic je specializována na několik hostitelských rostlin patřících do jedné čeledi nebo blízké příbuzných taxonomických čeledí a pouze méně než 1 % druhů se může živit rostlinami patřícími do několika taxonomických čeledí (Shih et al. 2022).

3.5.3.2 Hospodářský význam čeledi mšicovití (Aphidiae)

Vzhledem k tomu, že se u mšic vyvinula rezistence vůči některým insekticidům, a protože předpisy týkající se pesticidů jsou nyní přísnější, stále více se zkoumají alternativy

biologické ochrany. Kolonie mšic využívá řada predátorů, parazitoidů a entomopatogenů, např. z predátorů se mšicemi živí dospělci a larvy sluněčka sedmítečného (Boivin et al. 2012), proto jsou parazitoidi a predátoři nejběžnější bioagens mšic používaných v biologické ochraně rostlin (Singh & Singh 2016).

Škodlivost mšice je buď přímá – spočívající v sání rostlinných šťáv, které může být spojeno se svinováním a kroucením listů, anebo nepřímá – zahrnující schopnost přenosu rostlinných virů. Ta je potvrzená u 180 neperzistentních i perzistentních virů ((Biocont © 2023). Mšice můžeme zařadit do skupiny přenašečů, kteří jsou fytofágní a přenášejí viry, které způsobují různá onemocnění rostlin. Viry jsou přimány spolu s floémem a přenášeny na zdravé rostliny (Rajendran & Singh 2016).

Důležitým faktorem určujícím škodlivost mšic je jejich migrace do porostu a další pohyb. Migrace mšic ze zimních hostitelských rostlin do porostů a jejich šíření uvnitř těchto porostů ovlivňuje míru jejich škodlivosti. Mšice se pohybují a rozmisťují v porostech jak letem pomocí křídel, tak lezením po hostitelských rostlinách a po zemi (Honěk et al. 2021).

3.5.3.3 Životní cyklus čeledi mšicovití (Aphidiae)

Mšice jsou jedinečné svým zvláštním způsobem rozmnožování, vývojem a polymorfismem. Mohou se rozmnožovat buď partenogenezí, zygotogenezí nebo pedogenezí. Mohou být buď vejcorodé, nebo živorodé, přičemž samci často chybějí a v některých generacích jsou často vzácní. Partenogenetické rozmnožování umožňuje rychlý nárůst početnosti a vede ke vzniku populací složených z klonů (Singh & Singh 2021). Vývoj larev po vykladení probíhá ve čtyřech vývojových stupních, instarech, oddělených od sebe svlékáním “pokožky” (kutikuly). Po posledním, čtvrtém svlékání je z larvy dospělec, imago. Charakteristickým znakem dospělosti je přítomnost kaudy – nečláňkovaného, „ocáskovitého“ útvaru přivěšeného na konci těla. Podle ní rozeznáme dospělce od larev posledního čtvrtého instaru (Honěk et al. 2021). S jedinečností životního cyklu mšic souhlasí i Moran (1992), který říká, že životní cyklus mšic patří k nejporozuhodnějším ze všech živočišných skupin. Zahrnuje partenogenetické a pohlavní generace, propracované polyfenismy a obligátní přesun mezi nepřibuznými taxony hostitelských rostlin.

Cyklus střídání hostitelských rostlin zahrnuje období přezimování, ke kterému dochází většinou na dřevině, jejíž nadzemní části zůstávají během zimního období zachovány. Tato rostlina se nazývá primární hostitel. Na jaře se na primárním hostiteli vyvíjí několik generací mšic, zpravidla dvě až tři. Pak dochází k tvorbě okřídlených jedinců, kteří přelétají na takzvané sekundární hostitelské rostliny, na nichž mšice žijí v jarním a letním období. Jsou to často byliny s bujným a krátkodobým růstem, které poskytují dostatek příležitosti k sání mšic. I během období pobytu na těchto dočasných hostitelských rostlinách dochází vlivem vysoké populační hustoty mšic a zhoršené kvality rostliny k tvorbě okřídlených jedinců, kteří přeletují na jiné lépe zachovalé porosty hostitelských rostlin. Téměř po celý rok se tak vedle sebe vyskytují neokřídlení a okřídlení jedinci. Na podzim dochází k přeletu okřídlených jedinců zpět na primární hostitelské rostliny, kde se celý cyklus uzavírá (Honěk et al. 2021).

3.5.3.4 Mšice broskvoňová

Bezkrídla živorodá samička má štíhlé vejčité, 1,8-2,5 mm dlouhé tělo. Barva těla je různá, nejčastěji zelená, olivově zelená, zelenožlutá až světle hnědočervená. Tykadla jsou tmavá, dlouhá jako tělo. Čelní hrbolky dobře vyvinuté, zřetelně vyniklé dovnitř. U mšice broskvoňové přezimují černá vajíčka, vykladená do trhlín kůry broskvoní, kde mšice na jaře sají na spodní straně listů. V květnu až počátkem června se okřídlené mšice rozletávají na letní hostitele, kterými jsou převážně řepa a brambory, kde se rozmnožují. Na podzim se vracejí na broskvoně a kladou vajíčka. Mšice broskvoňové se vyskytují každoročně a v některých letech může docházet k jejich přemnožení, obvykle po časném náletu mšic, za suchého a teplého počasí. Škodí především jako přenašeč viróz, přímé škody sáním nejsou velké. Přírozenými nepřáteli mšic jsou slunéčka, larvy pestřenek a zlatooček, parazitoidi řádu blanokřídlých, entomopatogenní houby aj. (Agromanual 2020).

3.5.4 **Řepa cukrová**

První řepa byla domestikována zhruba před 2500 lety. Pravděpodobně byla pěstována jako zahradní zelenina (Lange et al. 1999). Na poli byla řepa poprvé pěstována v sedmáctém století, ale pouze jako krmivo pro dobytek. Nyní se cukrová řepa (*Beta vulgaris*; Caryophyllales: Amaranthaceae) pěstuje přibližně v 50 zemích (Draycott 2006) a je jednou z důležitých komerčních plodin, která zajišťuje přibližně 35 % celosvětové produkce cukru (Pančíková 2019).

Cukrová řepa je plodinou mírného klimatického pásma, s ročními srážkami 400–800 mm (optimum 600–700 mm), s průměrnou roční teplotou 8–11 °C. Délka vegetace je v rozpětí 180–220 dnů. Setí probíhá v březnu a dubnu, sklizeň začíná v září a končí začátkem prosince. Na jaře jsou pro ni letální teploty pod – 5 °C, konec vegetace je určován spíše technickými faktory (zpracovatelská kampaň cukrovarů, vlhkost půdy pro bezeztrátovou sklizeň), jen výjimečně ukončují vegetaci trvalé mrazy. Vzhledem k hlubokému prokořenění půdy překonává cukrová řepa i delší období letního sucha (Pulkrábek et al. 2007).

3.5.4.1 Virové choroby řepy

Virové choroby řepy jsou již od 30. let 20. století známé jako komplex velmi vážných chorob cukrové řepy, které se nejvíce vyskytují v oblastech mírného klimatu a mohou drasticky snížit výnos cukru. Snížení výnosu je tím vyšší, čím časněji dojde k napadení řepy viry. Rostliny napadené virovými žloutenkami mají omezenou a sníženou fotosyntézu, růst i akumulaci cukru v bulvách. Choroba také zvyšuje obsah melasotvorných látek a negativně tak ovlivňuje výtěžnost cukru. V Evropě tuto chorobu způsobují hlavně tři viry, a to virus žloutenky řepy (BYV; beet yellows virus), virus mírného žloutnutí mezi listovou žilnatinou (BChV; beet chlorosis virus) a virus mírného žloutnutí řepy (BMYV; beet mild yellowing virus). Z hlediska přenosu těchto virů se jako vektorů uplatňuje řada druhů mšic, ale tím nejvýznamnějším vektorem je mšice broskvoňová (*Myzus persicae* Sulzer). Častá je směsná infekce dvěma i třemi viry a je tak velmi obtížné odlišit podle příznaků napadení, o jaké viry se jedná. Přesná diagnostika je možná pomocí metod PCR a sekvenčními metodami (Lennefors 2021).

3.5.4.1.1 Virová žloutenka řepy

Žloutenku řepy způsobuje virus Beet yellows virus (BYV). Virus je řazen do rodu *Closterovirus*, čeledi Closteroviridae. BYV způsobuje onemocnění řepy obecné (*Beta vulgaris*) (řepy cukrovky, krmné řepy a červené řepy) a špenátu (*Spinacia oleracea*), vyskytuje se také v plevelných rostlinách čeledi laskavcovité (syn. merlíkovité) a rdesnovité. Virus v rostlině brání pronikání asimilátů z listů do bulev, a tím dochází ke značným ztrátám na výnosu a snížení obsahu cukru. Tři až čtyři týdny po infekci můžeme pozorovat příznaky onemocnění (Víchová 2021b).

Výskyt příznaků v porostu je v ohniscích podle letové aktivity mšic, a to v době od června až července. Listy infikovaných rostlin mají obvykle citrónově žluté zbarvení, později se mohou vyskytovat hnědé až červené nekrotické skvrny dle patogenity kmenu viru. Na mladších listech se může vyskytovat příznak žlutého lemování listů. U slabě patogenních kmenů se žloutnutí žilek a nekrózy nevyskytují. Listy žloutnou obvykle od okraje a část listů kolem žilnatiny může zůstat zelená. Textura je tuhá a křehká. BYV se přenáší semiperzistentně mšicí makovou a mšicí broskvoňovou. V laboratorních podmínkách byl přenos viru prokázán i mechanicky. Minimální doba pro nabývací sání viru je patnáct minut a účinnost přenosu se s délkou nabývacího sání zvyšuje. V těle mšice virus necirkuluje a mšice svoji infekčnost ztrácí při svlékání. Období latence u viru neexistuje a mšice je schopna virus přenést okamžitě po nabývacím sání. K přenosu viru na neinfikovanou rostlinu stačí sání délky sedm až patnáct minut a je v mšicích infekční po dobu dvou až tří dnů. Hospodářský význam virové žloutenky spočívá ve snížení výnosu cukru až o 50 %. Škodlivost závisí na včasnosti zásahu proti přenašečům co nejdříve na počátku napadení porostu. Nejvyšší ztráty způsobují časně infekce (Bittner 2012).

3.5.4.1.2 Virus mírného žloutnutí mezi listovou žilnatinou

Mírné žloutnutí mezi listovou žilnatinou způsobuje virus Beet chlorosis virus (BChV) náležejí k čeledi Luteoviridae, rod Polerovirus. Viry jsou přenášeny perzistentně především mšicí broskvoňovou. Virus po sání cirkuluje v těle vektora a zůstává v něm po dobu jeho života, není přenosný na potomstvo. Má latentní periodu asi 24 hodin a po nabývacím sání (optimum 48–72 hodin) následuje cirkulace viru v trávicím traktu. Možnost infekce existuje po opětném přechodu do slinných žláz. Virus se v těle mšice nemnoží. Možnost přenosu viru může nastat již po 30 minutách sání, ale optimum je při sání trvajícím 24–48 hodin. Symptodem napadení virem BChV je žloutnutí mezi listovou žilnatinou, obecně je žloutnutí mírnější, než u virů BYV a BMYV. Virus BChV snižuje výnos cukru asi o 25 %, avšak problematika výskytu a rozšíření BChV není v Česku zatím dokonale prozkoumána (Lennefors 2021).

3.5.4.1.3 Virové mírné žloutnutí řepy

Virové mírné žloutnutí řepy způsobuje virus Beet mild yellowing virus (BMYV). Virus je řazen do rodu *Luteovirus*, čeledi Luteoviridae. BMYV má podobný okruh hostitelů jako BYV, kromě řepy mohou být zdrojem infekce i plevelné rostliny z čeledi laskavcovité, rdesnovité a hvězdicovité (Víchová 2021b). Při napadení virem BMYV dochází ke snížení výnosu cukru přibližně o 30 % (Lennefors 2021).

3.5.4.1.4 Virová rizomanie řepy

Virovou rizomanií řepy způsobuje virus nekrotického žloutnutí žilek řepy – Beet necrotic yellow vein virus (BNYVV). Virus je řazen do rodu *Benyvirus*, čeledě Benyviridae a způsobuje onemocnění všech kulturních rostlin druhu *Beta vulgaris* (řepu cukrovku, krmnou řepu a červenou řepu) a špenátu (*Spinacia oleracea*).

3.5.4.1.5 Virus nekrotického žloutnutí žilek řepy

K šíření viru nekrotického žloutnutí žilek řepy (BNYVV) dochází půdou kontaminovanou vektorem *Polymyxa betae*. Trvalé spory se mohou šířit kultivací, závlahovou vodou, větrem, navrácením zeminy z cukrovarů na pozemky a využitím odpadů při zpracování cukrové řepy.

3.5.4.1.6 Kadeřavost řepy

Původcem kadeřavosti řepy je virus Beet leaf curl virus (BLCV). Virus je zařazen do rodu *Nucleorhabdovirus* a způsobuje onemocnění řepy a špenátu (Víchová 2021a).

3.5.4.1.7 Virová mozaika řepy

Virovou mozaiku řepy způsobuje virus Beet mosaic virus (BtMV). Virus je zařazený do rodu *Potyvirus*, čeledi Potyviridae. BtMV má širší okruh hostitelů, kromě řepy cukrovky, krmné a červené řepy, mangoldu a špenátu se může vyskytovat i na plevelných rostlinách z čeledi laskavcovité, brukvovité, bobovité a hvězdnicovité (Víchová 2021b).



Obrázek č. 5 – Rostlina cukrové řepy napadená virem BYV a BChV.

Autor: Tereza Hojerová

4 Metodika

4.1 Modelové druhy:

- 1) Parazitoid: Mšicomar (*Aphidius colemani* Viereck, 1912 (Hymenoptera: Braconidae))
- 2) Predátor: Slunéčko sedmítečné (*Coccinella septempunctata* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Coccinellidae))
- 3) Škůdce: Mšice broskvoňová (*Myzus persicae* Sulzer, 1776 (Hemiptera: Aphididae))
- 4) Plodina: Řepa cukrová (*Beta vulgaris* (Caryophyllales: Amaranthaceae))

Sběr slunéček sedmítečných probíhal v termínu 5.8.2022 v ranních hodinách na porostu vojtěšky seté (*Medicago sativa* L.) v oblasti Praha-východ u obce Sibřina (GPS: 50.06430N, 14.66698E). Slunéčka byla následně rozdělena po pěti jedincích do Petriho misek a denně krmena padesáti mšicemi, tedy deset mšic na každé slunéčko. Takto byla chována od sběru po zahájení experimentu, tedy po dobu dvanácti dnů. Před pokusem byla slunéčka přesunuta do klimaboxu typu Calex s řízenou fotoperiodou (8:16) a teplotou 22 °C, kdy byla chována po celou dobu experimentu, tedy sedm dní.

Na pokus byli použiti mšicomaři z permanentních chovů hmyzu v prostorách skleníku ČZU. Tato populace byla založena z jedinců zakoupených od německé firmy Koppert Biological Systems, dodaní distributorem BIOCONT LABORATORY, spol. s r.o. Ze skleníkových chovů byly 24 hodin před pokusem odebrány mumifikované mšice, uvnitř kterých byli zakuklení mšicomaři. Mumifikované mšice, uloženy na Petriho miskách, byly uloženy do klimaboxu se stejnými podmínkami chovu jako predátoři.

Mšice použité ke krmení slunéček a pro vlastní pokus byly chovány stejně jako parazitoidi v experimentálním skleníku ČZU na rostlinách řepy cukrové. Populace mšic na založení chovů byla získána z Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Ruzyni.

Listy cukrové řepy bez viróz a s virovou žloutenkou byly z rostlin pěstovaných ve sklenících ČZU katedry ochrany rostlin. Zdravé rostliny řepy i rostliny s virovou žloutenkou byly pěstovány pod ochranou folií, aby byl zabráněn přístup mšic, které přenáší virové choroby. U nakažených rostlin byla detekována směsná virová infekce, virus žloutenky řepy (BYV; beet yellows virus) a virus mírného žloutnutí mezi listovou žilnatinou (BChV; beet chlorosis virus) pomocí molekulárních metod (PCR).

Vlastní experiment zjišťující chování parazitoidů a predátorů probíhal v termínu od 17.8. do 23.8.2022 v entomologické laboratoři na České zemědělské univerzitě v Praze.



Obrázek č. 6 – Lokalita sběru slunéček sedmitečných

Autor: Tereza Hojerová



Obrázek č. 7 – Chov mšicomarů (skleník ČZU)

Autor: Tereza Hojerová



Obrázek č. 8 – Chov mšic broskvoňových (skleník ČZU)

Autor: Tereza Hojerová

4.2 Příprava experimentu

Na Petriho misky s navlhčeným filtračním papírem byly rozmístěny dva kusy zdravých listů cukrové řepy nebo listů cukrové řepy s virovou žloutenkou o velikosti stran přibližně dva centimetry. Umístění listů bylo vždy náhodné. Na každý list bylo pomocí štětečku umístěno pět mšic, tedy vždy deset mšic na jednu Petriho misku. S pokusným hmyzem bylo po celou dobu experimentů manipulováno pomocí štětečku a byly kontrolovány jejich přirozené behaviorální projevy.

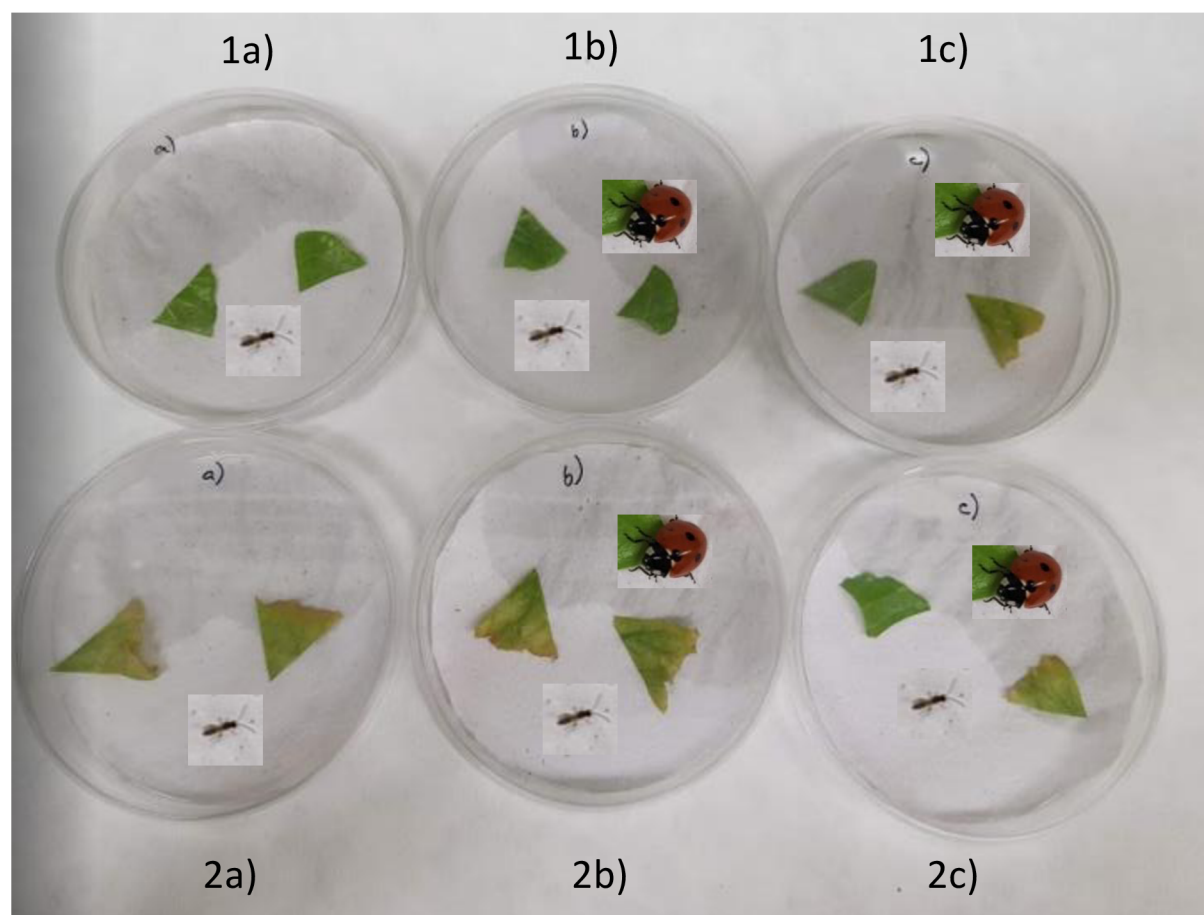
4.3 Experiment

Samotný experiment se skládal ze dvou typů pozorování. První, tzv. *non-preferenční* test, kdy mšice nabízené mšicomarovi nebo sluněčku byly pouze na jednom typu listů, a to buď ze zdravých rostlin cukrové řepy (bez viróz) nebo z rostlin cukrové řepy obsahující virovou žloutenku. A druhý, tzv. *preferenční* test, kde mšice nabízené mšicomarovi nebo sluněčku byly umístěny na obou typech listů z rostlin zdravých i nakažených virovou žloutenkou. Celkem bylo pro pokus designováno 6 rozdílných typů Petriho misek v 15 opakováních ($n=90$). Pro snazší pochopení experimentu je designe znázorněn v obrázku č. 9.

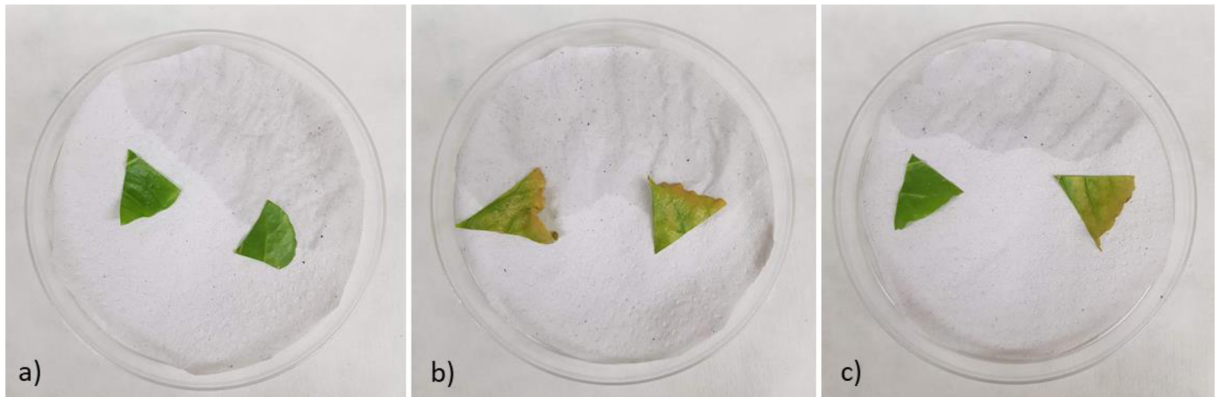
Při každém pozorování, které trvalo vždy třicet minut, byly sledovány dvě skupiny najednou. První Petriho miska, označená jako 1a), s listy ze zdravé rostliny (bez viróz) a mšicomarem, druhá Petriho miska, označená jako 2a), s listy z rostlin nakažených virovou žloutenkou a mšicomarem. Po uplynutí třiceti minut byli mšicomaři přesunuti na misky 1b) s listy ze zdravé rostliny (bez viróz) a sluněčkem a 2b) s listy z rostlin nakažených virovou žloutenkou a sluněčkem. Sluněčka byla dána na misky 1b) a 2b) před přidáním mšicomara na misky 1a) a 2a), aby stihla zanechat pachovou stopu. Obě skupiny byly opět pozorovány třicet minut. Po uplynutí této doby byli mšicomaři i sluněčka přesunuti na misky 1c) a 2c), kde byla

možnost výběru mezi listem cukrové řepy ze zdravé rostliny (bez viróz) a listem z rostliny cukrové řepy nakažené virovou žloutenkou a opět pozorována třicet minut. Po ukončení pozorování byla sluněčka vypuštěna a mšicomaři uloženi samostatně do 1,5 ml mikrozkrumavek typu Ependorf a usmrceni zmrazením. Takto bylo provedeno celkem patnáct opakování pozorování. Získaná data byla zpracována ve statistickém programu R 3. 6. 3. (R Core Team 2020). Pro statistické vyhodnocení byly použity analýzy pro normální rozdělení (LM), binomické rozdělení (GLM-b), Fisherův exaktní binomický test (binomický test), Poissonovo rozdělení (GLM-p) a negativně binomické rozdělení (GLM-nb), které bylo vypočítáno v balíčku MASS (Venables & Ripley 2002).

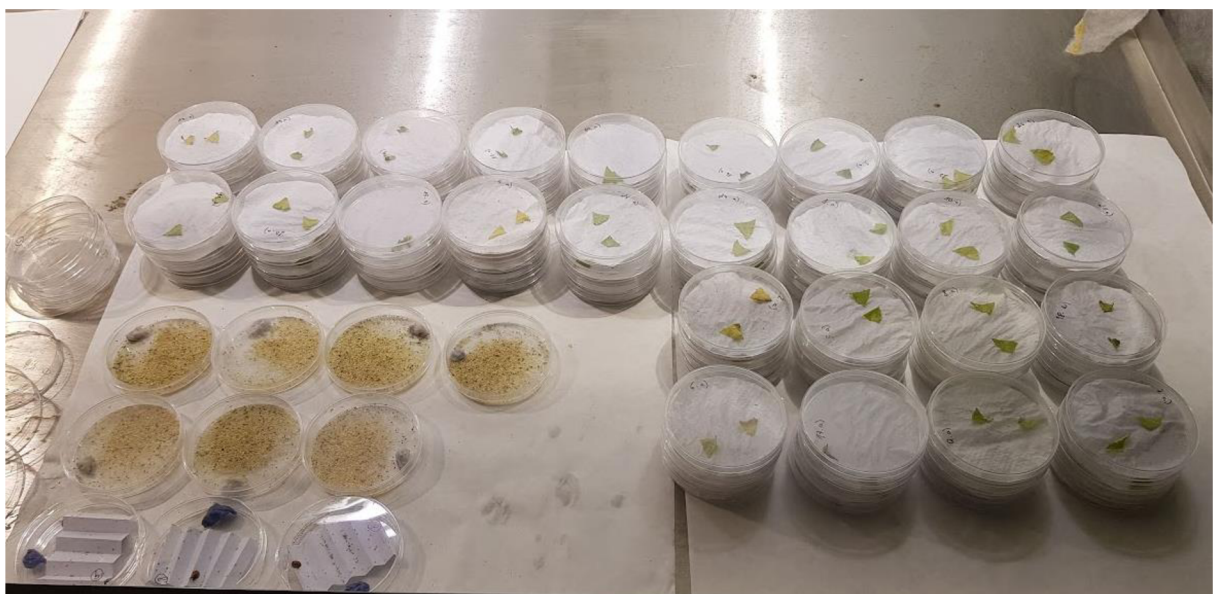
Všem usmrceným mšicomařům bylo pod stereomikroskopem Nikon SMZ745T odpreparováno přední křídlo. Z těchto křídel byly udělány dočasné mikroskopické preparáty pomocí hřebíčkového oleje (podle metodiky Huber 1992) a pomocí digitálního mikroskopu (Hirox typ RH – 2000) byla měřena délka křídel. Dále bylo u kontrolní skupiny dvacetipětí samic mšicomařů změřeno 6 morfologických struktur, a to délka a šířka předního křídla, šířka hlavy, délka tykadla, délka zadní holeně a délka kladélka. Velikosti těchto struktur byly porovnány pomocí statistické analýzy PCA v programu R v balíčku vegan (Oksanen et al. 2020).



Obrázek č. 9 – Designe experimentu (detailně rozepsáno v kap. 4.3) Autor: Tereza Hojzerová



Obrázek č. 10 – Petriho misky a) vzorek zdravého listu; b) nakaženého listu; c) vzorek zdravého a nakaženého listu. Autor: Tereza Hojerová



Obrázek č. 11 – Petriho misky uložené v klimaboxu. Autor: Tereza Hojerová

5 Výsledky

5.1 Reprodukční úspěch parazitoida ve vztahu ke kvalitě rostlin (misky 1a) a 2a))

5.1.1 Rozdíl v počtu parazitovaných mšic na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou

Rozdílem počtu parazitovaných mšic je myšlen rozdíl mezi počtem parazitovaných mšic samičkou mšicomara (*Aphidius colemani*) na Petriho misce 1a) s listem ze zdravé rostliny (bez viróz) a samičkou na Petriho misce 2a) s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou. Každá samička měla k dispozici deset mšic. Statistické vyhodnocení prokázalo, že rozdíl mezi počtem parazitovaných mšic na zdravém a nakaženém listu není statisticky významný (GLM-nb; $p = 1$; $n = 30$). Průměrný počet parazitovaných mšic na listu ze zdravé rostliny byl 2,4, nejvyšší počet byl 5 a nejnižší 0. U samiček na listu z nakažené rostliny byl průměrný počet parazitovaných mšic 2,4, nejvyšší počet 6 a nejnižší 0.

Tabulka č. 1 - Rozdíl v počtu parazitovaných mšic na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) a listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou.

| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 2,4 | 5 | 0 |
| Nakažený list | 2,4 | 6 | 0 |

5.1.2 Rozdíl v počtu návštěv listů a interakcí s hostiteli na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou

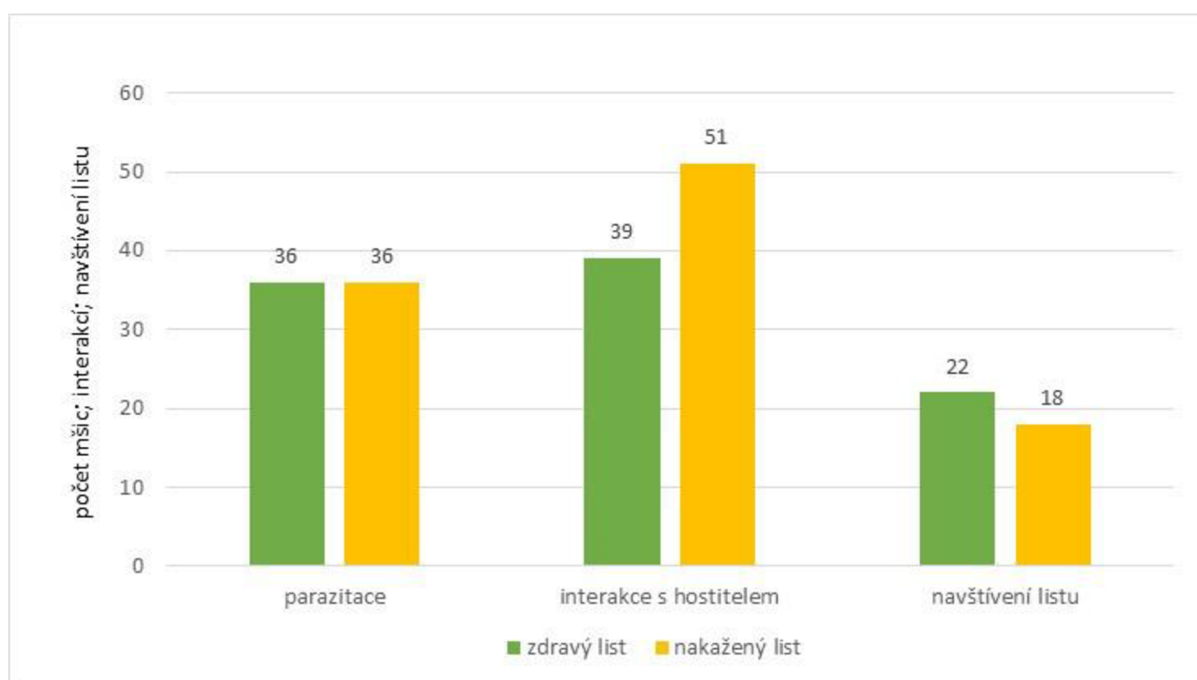
Na jedné Petriho misce byly dva vzorky listu, každý s pěti mšicemi a jedna samička mšicomara, v případě misky 1a) s listem ze zdravé rostliny (bez viróz), v případě misky 2a) s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou. Rozdíl mezi počtem návštěv listů nebyl statisticky průkazný (LM; $p = 0,372$; $n = 30$). Průměrný počet návštěv na listu ze zdravé rostliny byl 1,5, nejvyšší 3 a nejnižší 0. Ve skupině s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou byl průměrný počet návštěv 1,2, nejvyšší 3 a nejnižší 0. Celkový počet interakcí mezi parazitoidem a hostitelem rovněž nebyl statisticky významný (GLM-nb; $p = 0,367$; $n = 30$). K interakci mezi vosičkou a mšicí na listu ze zdravé rostliny došlo v průměru 2,6, nejvyšší počet byl 5, nejnižší 0. Na listu z nakažené rostliny byl průměrný počet interakcí 3,4, nejvíce došlo k 9 interakcím a nejméně k 0.

Tabulka č. 2 - Rozdíl v počtu návštěv listů mezi listy ze zdravé rostliny (bez viróz) a listy z rostlin nakažených virovou žloutenkou.

| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 1,5 | 3 | 0 |
| Nakažený list | 1,2 | 3 | 0 |

Tabulka č. 3 - Rozdíl v počtu interakcí s hostiteli mezi listy ze zdravé rostliny (bez viróz) a listy z rostlin nakažených virovou žloutenkou.

| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 2,6 | 5 | 0 |
| Nakažený list | 3,4 | 9 | 0 |



Graf č. 1 - Rozdíl mezi listy ze zdravých rostlin (bez viróz) a listy z rostlin nakažených virovou žloutenkou.

5.2 Interakce mezi mšicomarem a sluněčkem sedmitečným (misky 1b) a 2b))

Interakce mezi parazitoidem a predátorem byla sledována po přesunutí samiček mšicomara z misek 1a) a 2a) na misky 1b) a 2b). Na jedné Petriho misce tak byly vždy dva vzorky listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou, deset mšic, jedno sluněčko sedmitečné (*Coccinella septempunctata*) a jedna mateřská samička mšicomara. Z celkového počtu pozorování (n=30) proběhlo celkem 31 interakcí mezi parazitoidem a predátorem. Při porovnání výsledků pozorování na listu ze zdravé rostliny a listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou nebyly tyto interakce statisticky významné (GLM-p; p = 0,59).

Sledováno bylo:

- setkání mšicomara se sluněčkem, ke kterému došlo v 17 případech na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) a ve 14 případech na listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou;
- útěk mšicomara před sluněčkem, které bylo pozorováno v 7 případech na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) a v 6 případech na listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou;
- vyhýbání mšicomara sluněčku, které se vyskytlo v 7 případech na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) a ve 14 případech na listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou;
- kousnutí mšicomara sluněčkem, ke kterému došlo v 6 případech na listu ze zdravé rostliny (bez viróz), kde docházelo k opakovanému kousnutí jednoho mšicomara, a jednou na listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou;
- zpredování mšicomara sluněčkem, ke kterému došlo ve 2 případech na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) a v 7 případech na listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou.

Tabulka č. 4 – Počet interakcí mezi mšicomarem a sluněčkem.

| | Setkání | Útěk mšicomara | Vyhýbání mšicomara | Kousnutí sluněčkem | Zpredování sluněčkem |
|---------------|---------|----------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Zdravý list | 17 | 7 | 7 | 6 | 2 |
| Nakažený list | 14 | 6 | 14 | 1 | 7 |

5.3 Preferenční listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou (misky 1c) a 2c))

Na Petriho misky 1c) a 2c) byla samička mšicomara přesunuta společně se sluněčkem z misek 1b) a 2b). Na každé misce byl jeden vzorek listu ze zdravé rostliny (bez viróz), jeden vzorek listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou a deset mšic. Zjišťován byl první výběr zdravého nebo nakaženého listu a počet parazitovaných a zpredovaných mšic s tím, že skupina 1 neměla s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou předchozí zkušenost a skupina 2 zkušenost měla.

5.3.1 Mšicomar

Z výsledků experimentu bylo zjištěno, že na výběr mezi listem ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou neměla u mšicomara vliv předchozí zkušenost (binomický test; $p = 1$; $n = 24$).

V počtu parazitovaných mšic na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou nebyl rovněž statisticky prokazatelný rozdíl mezi skupinou mšicomaru bez zkušenosti a se zkušeností s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou (GLM-nb; $p = 0,631$; $n = 24$). Nebyl prokázán ani rozdíl v počtu parazitovaných mšic bez ohledu na předchozí zkušenost při možnosti výběru (GLM-nb; $p = 0,984$; $n = 24$). Na listu ze zdravé rostliny byl celkový průměrný počet parazitovaných mšic 0,7, nejvyšší 4, nejnižší 0. Celkový průměrný počet na listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou byl 0,7, nejvyšší 5, nejnižší 0. U skupiny 1c) bez zkušenosti s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou byl průměrný počet parazitovaných mšic na zdravém listu 0,62, nejvyšší 3 a nejnižší 0. Na nakaženém listu byl průměrný počet 0,54, nejvyšší 5 a nejnižší 0. U skupiny 2c) se zkušeností s listy z rostliny nakažené virovou žloutenkou byl průměrný počet parazitovaných mšic na zdravém listu 0,73, nejvyšší 4 a nejnižší 0. Na nakaženém listu byl průměrný počet parazitovaných mšic 0,82, nejvyšší 2 a nejnižší 0.

Tabulka č. 5 - Rozdíl v celkovém počtu parazitovaných mšic při možnosti výběru mezi listem ze zdravé rostliny (bez viróz) a listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou.

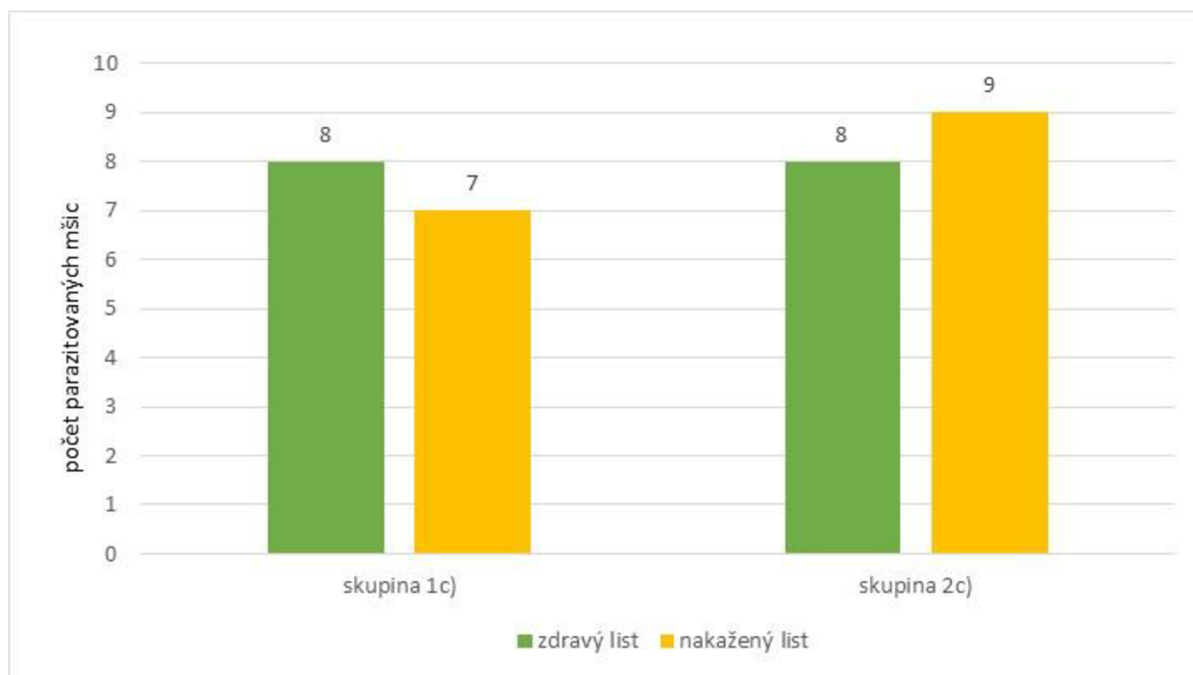
| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 0,7 | 4 | 0 |
| Nakažený list | 0,7 | 5 | 0 |

Tabulka č. 6 - Rozdíl v počtu parazitovaných mšic u skupiny 1c) bez zkušenosti s listem z rostlin nakažených virovou žloutenkou.

| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 0,62 | 3 | 0 |
| Nakažený list | 0,54 | 5 | 0 |

Tabulka č. 7 - Rozdíl v počtu parazitovaných mšic u skupiny 2c) se zkušeností s listem z rostlin nakažených virovou žloutenkou.

| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 0,73 | 4 | 0 |
| Nakažený list | 0,82 | 2 | 0 |



Graf. č. 2 – Rozdíl v počtu parazitovaných mšic mezi skupinou 1c) (mšicomaři bez předchozí zkušenosti s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou a skupinou 2c) (mšicomaři se zkušeností s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou).

5.3.2 Slunéčko sedmítečné

Z výsledků experimentu bylo zjištěno, že na výběr mezi listem ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou neměla u slunéčka sedmítečného vliv předchozí zkušenost (binomický test; $p = 0,855$; $n = 30$).

V počtu zpredovaných mšic na listu ze zdravé rostliny (bez viróz) nebo listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou nebyl zjištěn statisticky prokazatelný rozdíl mezi skupinou slunéček bez zkušenosti a se zkušeností s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou (GLM-nb; $p = 0,125$; $n = 30$) a nebyl zjištěn ani rozdíl v počtu zpredovaných mšic bez ohledu na předchozí zkušenost při možnosti výběru (GLM-nb; $p = 0,097$; $n = 30$). Celkový průměrný počet zpredovaných mšic na listu ze zdravé rostliny byl 3,7, nejvyšší počet 5, nejnižší 0. Na listu z rostliny nakažené virovou žloutenkou byl průměrný počet zpredovaných mšic 2,9, nejvyšší 5 a nejnižší 0. U skupiny 1c) bez zkušenosti s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou byl průměrný počet zpredovaných mšic na zdravém listu 1,6, nejvyšší 5 a nejnižší 0. Na nakaženém listu byl průměrný počet 2,6, nejvyšší 5 a nejnižší 0. U skupiny 2c) se zkušeností byl průměrný počet zpredovaných mšic na zdravém listu 1,07, nejvyšší 5 a nejnižší 1. Na nakaženém listu byl průměrný počet zpredovaných mšic 1,7, nejvyšší 5 a nejnižší 1.

Tabulka č. 8 – Rozdíl v celkovém počtu zpredovaných mšic při možnosti výběru mezi listem ze zdravé rostliny (bez viróz) a listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou.

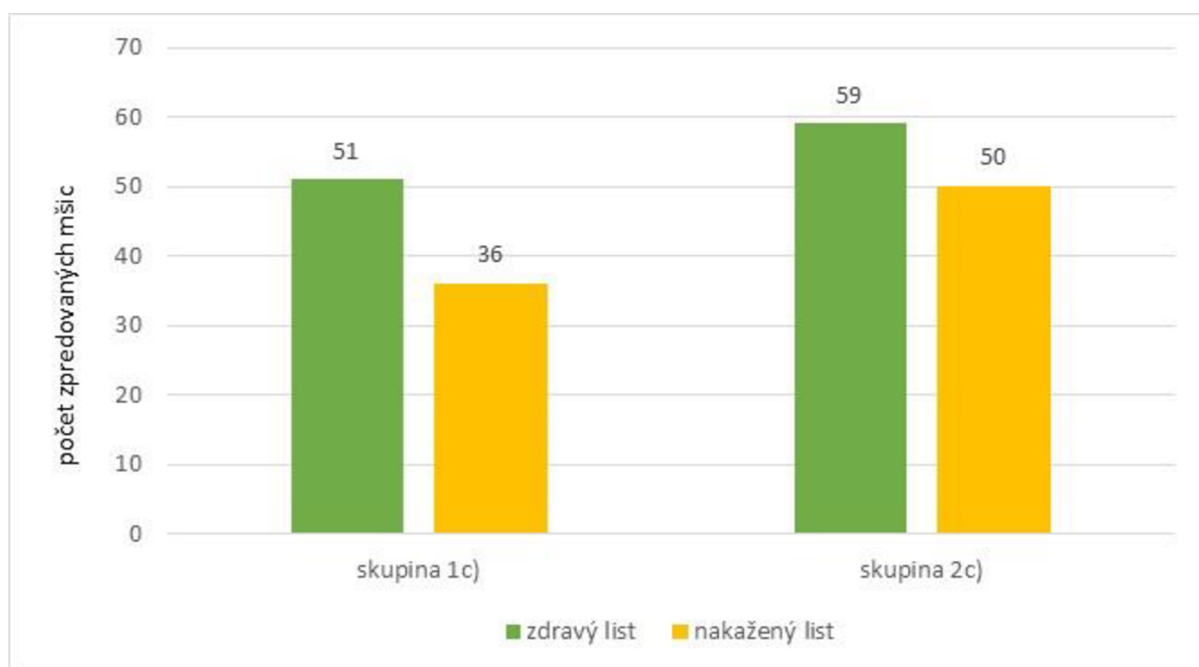
| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 3,7 | 5 | 0 |
| Nakažený list | 2,9 | 5 | 0 |

Tabulka č. 9 – Rozdíl v počtu zpredovaných mšic u skupiny 1c) bez zkušenosti s listem z rostlin nakažených virovou žloutenkou.

| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 1,6 | 5 | 0 |
| Nakažený list | 2,6 | 5 | 0 |

Tabulka č. 10 – Rozdíl v počtu zpredovaných mšic u skupiny 2c) se zkušeností s listem z rostlin nakažených virovou žloutenkou.

| | Průměr | Max. | Min. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|
| Zdravý list | 1,07 | 5 | 1 |
| Nakažený list | 1,7 | 5 | 1 |



Graf č. 3 - Rozdíl v počtu zpredovaných mšic mezi skupinou 1c) (slunéčka bez předchozí zkušenosti s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou) a skupinou 2c) (slunéčka se zkušeností s listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou).

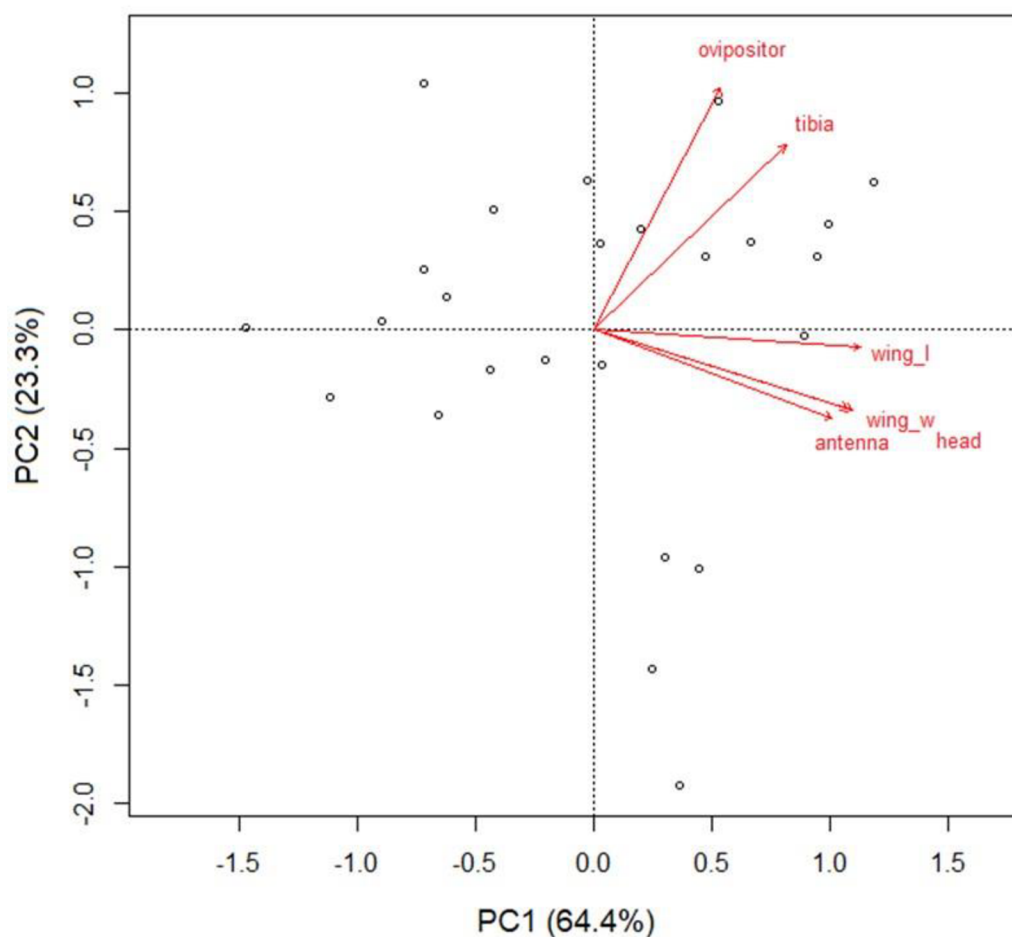
5.4 Velikost parazitoida ve vztahu k jeho reprodukční úspěšnosti

5.4.1 Variabilita ve velikosti těla mateřských samiček

Pro zjištění variability velikosti těla mateřských samiček bylo dalším 25 mšicomarům změřena délka křídla, šířka křídla, šířka hlavy, délka tykadla, délka zadní holeně a délka kladélka ($n = 25 \times 6$). Pro vyhodnocení těchto dat byla použita metoda PCA, která prokázala, že nejvyšší korelaci mezi hodnotami má délka křídla, proto byl tento údaj zvolen pro zjištění variability velikosti mateřských samiček.

Experimentem bylo prokázáno, že:

- Velikost těla parazitoida neovlivnila počet parazitovaných hostitelů (GLM-nb; $p = 0,607$; $n = 30$).
- Velikost těla parazitoida neovlivnila úspěšnost ulovení predátorem (LM; $p = 0,742$; $n = 30$).



Graf č. 4 – Závislost velikosti jednotlivých tělních struktur mšicomara.

Tabulka č. 7 - Velikost parazitoida („X“ - parazitoid byl zpredován predátorem a nemohl být změřen).

| ID parazitoida | Délka křídla (μm) | ID parazitoida | Délka křídla (μm) |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 1580,49 | 2 | 1729,45 |
| 3 | X | 4 | 1367,32 |
| 5 | 1324,51 | 6 | 1665,71 |
| 7 | 1184,54 | 8 | 1845,57 |
| 9 | 1511,33 | 10 | X |
| 11 | 1888,75 | 12 | 1943,37 |
| 13 | 1694,85 | 14 | X |
| 15 | 1842,33 | 16 | X |
| 17 | 1788,15 | 18 | X |
| 19 | 1716,99 | 20 | 1684,01 |
| 21 | X | 22 | 1610,52 |
| 23 | 1587,14 | 24 | X |
| 25 | 1942,33 | 26 | X |
| 27 | 1664,35 | 28 | 1576,36 |
| 29 | 1412,96 | 30 | X |

6 Diskuze

6.1 Interakce mezi mšicomarem a sluněčkem sedmitečným

Predátoři představují všudypřítomný zdroj mortality parazitoidů mšic. Průzkumy a manipulativní experimenty prováděné v polních podmínkách poskytují určité důkazy o negativním vlivu sluněček na populace mšicomaru (*Aphidius colemani*) (Boivin et al. 2012). Toto tvrzení bylo potvrzeno v rámci experimentu, kdy docházelo k útokům sluněček sedmitečných (*Coccinella septempunctata*) na mšicomary. Mšicomaři byli sluněčky usmrčeni a ve většině případů také pozřeni. To mělo negativní vliv také na sluněčka, jelikož po pozření mšicomara trvalo delší dobu, než opět hledala další kořist oproti pozření mšice.

Sluněčka také predovala parazitované mšice, po jejich pozření nebyla pozorována žádná změna v chování sluněčka. Larvální stádia mšicomaru se často stávají „intraguild“ kořistí v interakcích mezi predátory a parazitoidy, kteří mají společného hostitele, a tak by dospělí mšicomaři mohli mít prospěch z toho, že si vyvinou vyhýbavé reakce na signály od sluněček sedmitečných žijících ve stejných biotopech, aby snížili riziko predace pro své potomstvo. V chemických stopách, které sluněčko sedmitečné zanechává na listech, byly zaznamenány alifatické uhlovodíky, které dle studie Nakashima et al. (2006) vyvolávají u mšicomara vyhýbavé reakce. Frago (2016) ve své studii uvádí, že chemické signály od sluněčka sedmitečného snížily dobu, kterou mšicomar strávil hledáním potravy na rostlině a Hodkem a Michauldem (2008) bylo rovněž prokázáno, že mšicomaři se vyhýbají listům, které předtím navštívila dospělá sluněčka.

Přestože nebyly interakce mezi mšicomary a sluněčky statisticky průkazné, což mohlo být způsobeno zanecháním nedostatečné chemické stopy sluněčkem, byly v rámci experimentu pozorovány určité typy chování, které mšicomaři vůči sluněčkům vykazovali. Jednalo se o útěk mšicomara po setkání se sluněčkem nebo vyhýbání. V deseti případech byl mšicomar v přítomnosti sluněčka zcela neaktivní a o mšice nejevilo žádný zájem.

6.2 Vliv kvality rostlin na chování mšicomara a sluněčka sedmitečného

Výskyt virové žloutenky v porostu má závažný vliv na fyziologii napadených rostlin. Vyskytuje se zakrnutí rostlin, svinování, žloutnutí, hnědnutí nebo vysoká lámavost postižených listů (Duffus 1973). Napadené rostliny také vykazují změnu chemického složení (Řimsa & Ryšánek 1992). V rámci experimentu se předpokládalo, že mšicomaři a sluněčka budou na tyto fyziologické a chemické změny reagovat. Očekávalo se, že kvalita a zdraví rostliny ovlivní výběr hostitele a kořisti a mšicomar nebo sluněčko si nebudou pro parazitaci či predaci vybírat mšice umístěné na listech z nakažených rostlin, to se ovšem nepodařilo potvrdit.

V procesu vyhledávání hostitelů mohou mšicomaru napomáhat různé chemické podněty, ať už se jedná o látky vylučované rostlinou, přítomností medovice i poplašné feromony produkované mšicemi (Bohatá © 2014-2023). Signály odvozené od rostlin, včetně rostlinných synomonů vyvolaných mšicemi, mohou hrát důležitou roli při určování hostitelských preferencí (Storeck et al. 2003). Získaná data mohla být ovlivněna nepřírodným prostředím, které Petriho miska představuje (Chang 1996) nebo nízkou atraktivitou mšic, které měli mšicomaři a sluněčka k dispozici. Proto by bylo vhodné výsledky získané laboratorním experimentem

následně ověřit navazujícími experimenty v přirozeném prostředí, které co nejlépe napodobuje komplexní vícerozměrné prostředí zemědělského pole. Přesto lze z výsledků usoudit, že zdraví a kvalita rostlin neměla vliv na výběr hostitelů či kořisti a neovlivnila preferenci rostlin.

6.3 Velikost parazitoida

Nejpřesnějšími ukazateli fitness parazitoidů jsou plodnost u samic a schopnost páření u samců, tyto ukazatele je však obtížné měřit. Zároveň plodnost samic i páření samců úzce souvisí s velikostí jejich těla (Kazmer & Luck 1995; Segoli & Roseinheim 2015; Gao et al. 2016). Proto je pro laboratorní účely snadněji použitelnou metodou měření velikosti pomocí zástupné veličiny, kterou mohou být různé části těla. U parazitoidů se nejčastěji jedná o délku křídla (Cloutier et al. 2000; Jervis et al. 2003) nebo délku zadní holeně (Ellers et al. 1998; West et al. 1996). Při použití jediné zástupné veličiny je třeba brát v úvahu, že mohou být různě ovlivněny podmínkami chovu mšicomara (Roitberg et al. 2012). V experimentu se předpokládalo, že velikost těla mateřské samičky mšicomara ovlivní její rozmnožovací schopnost tak, že větší samičky budou parazitovat větší počet mšic v porovnání s menšími samičkami, ovšem toto očekávání se nepodařilo potvrdit. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v počtu parazitovaných mšic v souvislosti s velikostí těla samiček mšicomarů. Výsledek experimentu mohl být ovlivněn prostředím Petriho misky, krátkým časem pozorování jednotlivých skupin nebo množstvím nabízených hostitelů. Zejména malé množství nabízených hostitelů nemusí zobrazit rozdíly v plodnosti samiček parazitoidů (Godfray 1994).

Dalším předpokladem bylo, že velikost mšicomara ovlivní možnost jeho zpredování sluněčkem. Ani toto se potvrdit nepodařilo, z tohoto výsledku lze tedy usuzovat, že sluněčka sedmitečná mohou zaútočit na mšicomary bez ohledu na velikost jejich těla, což může mít negativní dopad na biologickou ochranu pomocí mšicomarů v kombinaci výskytu sluněček.

7 Závěr

V diplomové práci byl v rámci laboratorních pokusů zkoumán vliv interakcí mezi parazitoidy mšicomary (*Aphidius colemani*) s predátory jejich hostitelů, a to konkrétně slunéčky sedmitečnými (*Coccinella septempunctata*), a jaký mají tyto interakce vliv na reprodukční strategii mšicomara a potravní preferenci slunéčka. Dále bylo zjišťováno, zda má na tyto interakce vliv velikost těla mateřské samičky mšicomara. Posledním zkoumaným jevem bylo, zda má na reprodukční strategii parazitoidea a potravní preferenci predátora vliv kvalita rostlin, na kterých se nachází jejich hostitel či kořist.

Z výsledků je patrné že:

- kvalita rostlin neměla statisticky významný vliv na množství parazitovaých mšic mšicomarem;
- kvalita rostlin neměla vliv ani na množství návštěv mšicomara na listu ze zdravé rostliny nebo rostliny nakažené virovou žloutenkou;
- k interakcím mezi mšicomary a slunéčky docházelo také bez ohledu na kvalitu a zdraví rostlin;
- slunéčka sedmitečná vykazovala predaci nejen parazitovaných mšic, ale i dospělých mšicomarů, přesto nebyly výsledky statisticky průkazné;
- mšicomaři vykazovali vůči slunéčkům vyhýbavé chování a v některých případech byli v jeho přítomnosti zcela neaktivní, tyto výsledky byly ovšem opět statisticky neprůkazné;
- při preferenčním testu nebyly výsledky výběru mezi listem ze zdravé rostliny a listem z rostliny nakažené virovou žloutenkou u mšicomara ani slunéčka statisticky významné;
- bylo zjištěno, že velikost těla mateřské samičky mšicomara neměla vliv jak na reprodukční úspěšnost parazitoidea, tak ani na možnost ulovení predátorem.

Ze závěru vyplývá, že všechny nulové hypotézy byly zamítnuty a byly přijaty hypotézy alternativní:

- reprodukční strategie parazitoidea mšicomara není ovlivněna přítomností predátora;
- reprodukční strategie parazitoidea mšicomara není ovlivněna kvalitou rostlin;
- reprodukční úspěšnost parazitoidea mšicomara není ovlivněna velikostí těla mateřských samiček;
- potravní preference predátora slunéčka sedmitečného není ovlivněna přítomností parazitoidea a odlišnou kvalitou rostlin.

Tato práce je jednou z mála, která se zabývá mezidruhovou interakcí mšicomara *A. colemani* a slunéčka sedmitečného *C. septapuntata* a jednou z prvních, která bere v úvahu i vliv kvality a zdraví rostlin jako možný negativní prvek s vlivem na účinnost biologické ochrany rostlin. Právě vliv kvality rostlin na úspěšnost biologické ochrany by bylo vhodné téma pro další výzkum.

8 Literatura

- Agromanual. 2020. Mšice boskvoňová. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/atlas/skudci/skudce/msice-broskvonova> (accessed March 2023).
- Almohamad, R., Hance, T. 2014. Encounters with aphid predators or their residues impede searching and oviposition by the aphid parasitoid *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Aphidiinae). *Insect Science* **21**(2):181–8.
- Amiri-Jami, A. R. 2022. Effect of ant-attendance on the occurrence of intraguild predation. Elsevier – Food Webs Journal 32 (e00240) DOI: 10.1016/j.fooweb.2022.
- Askew, R. R., Shaw, M. R. 1986. Parasitoid communities: their size, structure and development. *Insect Parasitoids*. Academic Press, London.
- Biocont. © 2023. Mšice. Biocont. Available from <https://www.biocont.cz/msice/> (accessed January 2023).
- Bittner, V. 2012. Škodliví činitelé cukrové řepy – choroby cukrovky. *Listy cukrovarnické a řepářské* **128**(4):136–138.
- Bleša, D. 2019. Úvod do problematiky biologické ochrany rostlin. *Obilnářské listy*. **27**:10–13
- Bohatá, A. © 2014–2023. Mšicomaři. ÚKZUZ. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%227ce88979b78062af8041508c0b6d2de7%22#r|p|uzitorg|detail:7ce88979b78062af8041508c0b6d2de7|popis (accessed December 2022).
- Boivin, G., Hance, T. and Brodeur, J. 2012. Aphid parasitoids in biological control. *Canadian Journal of Plant Science*. **92**(1):1–12.
- Boivin, G., van Baaren, J. 2000. The role of larval aggression and mobility in the transition between solitary and gregarious development in parasitoid wasps. *Ecology Letters* **3**:469–474.
- Canna research. 2021. Boj proti škůdcům a chorobám rostlin – biologická ochrana. Canna-cz.com. Available from <https://www.canna-cz.com/articles/boj-proti-skudcum-chorobam-rostlin-biologicka-ochrana> (accessed March 2023).
- Cloutier, C., Duperron, J., Tertuliano, M., McNeil, J. N. 2000. Host instar, body size and fitness in the koinobiotic parasitoid *Aphidius nigripes*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **97**:29–40.
- Cock, M. J. W., van Lenteren J. C., Brodeur J., Barratt B. I. P., Bigler F., Bolckmans K., Consoli F. L., Haas F., Mason P. G., Parra J. R. P. 2010. Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? *BioControl*, **55**:199–218.
- De Clercq, P., Mason, P. G., Babendreier, D. 2011. Benefits and risks of exotic biological control agents. *BioControl* **56**:681–698.
- Delucchi, V., Rosen, D., Schlinger, E. I. 1976. Relationship of systematic to biological control. Pages 81-92 in Huffaker, C. B., Messenger, P. S., editors. *Theory and practice of biological control*. Academic press, Inc., London.
- Doutt, R. L., Annecke, D. P., Tremblay, E. 1976. Biology and host relationships of parasitoids. Pages 143-168 in Huffaker, C. B., Messenger, P. S., editors. *Theory and practice of biological control*. Academic press, Inc., London.
- Duffus, J. E. 1973. The Yellowing Virus Diseases of Beet. *Advances in virus research* **18**:347–386.
- Dužková, L., Kopřiva J. 2009. *Ochrana rostlin proti chorobám a škůdcům*. Grada, Praha.
- Draycott, A. P. 2006. *Sugar beet*. Blackwell publishing ltd., UK.
- Eilenberg, J., Hajek, A., Lomer, C. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, **46**:387–400.

- Ellers, J., Van Alphen, J. J., Sevenster, J. G. 1998. A field study of size–fitness relationships in the parasitoid *Asobara tabida*. *Journal of Animal Ecology* **67**:318–324.
- Evropská unie. 2020. Udržitelné využívání přípravků na ochranu rostlin: pokrok v měření a snižování rizik je omezený. Evropský účetní dvůr, Lucembursko.
- Frago, E. 2016. Interactions between parasitoids and higher order natural enemies: intraguild predation and hyperparasitoids. *Current Opinion in Insect Science* **14**:81–86.
- Gao, S. K., Wei, K., Tang, Z. L., Wang, X. Y., Yang, Z. Q. 2016. Effect of parasitoid density on the timing of parasitism and development duration of progeny in *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethyridae). *Biological Control* **97**:57–62.
- Gauld, I., Bolton, B. 1996. *The Hymenoptera*. Oxford University Press, UK.
- Godfray, H. C. J. 1994. *Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology*. Princeton university press, Princeton.
- Goh, H. G., Kim, J. H., Han, M. W. 2001. Application of *Aphidius colemani* Viereck for Control of the Aphid in Greenhouse. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **4**:171–174.
- Hagen, K. S., Bombosch, S., McMurtry, J. A. 1976. The biology and impact of predators. Pages 93-142 in Huffaker, C. B., Messenger, P. S., editors. *Theory and practice of biological control*. Academic press, Inc., London.
- Hajek, A. E., Eilenberg, J. 2018. *Natural enemies an introduction to biological control*. Cambridge university press, UK.
- Helyer, N., Cattlin, N. G., Brown, K. C. 2014. *Biological control in plant protection*. CRC Press, Londýn.
- Hemptinne, J. L., Dixon, A. F. G., Coffin, J. L. 1992. Attack strategy of ladybird beetles (Coccinellidae): factors shaping their numerical response. *Oecologia* **90**(2):238–245.
- Hodek, I., Evans, E. W. 2012. Food relationship. Pages 141-274 in Hodek, I., van Emden, H. F., Honěk, A. editors. 2012. *Ecology and Behavior of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)*. Blackwell Publishing Ltd, UK.
- Hodek, I., Michaud, J. P. 2008. Why is *Coccinella septempunctata* so successful? *European Journal of Entomology* **(1)**:1–12.
- Honěk, A., Mrtinková, Z., Plátková, H., Saska, P., Skuhrovec, J. 2021. *Škůdci na obilninách a jejich přirození nepřátelé. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha.*
- Hrabánek, M. 2018. *Ochrana rostlin – úvod do rostlinolékařství, způsoby ochrany rostlin, abiotikózy. Inovace VOV. Available from <https://www.vovcr.cz/odz/tech/329/page00.html> (accessed March 2023).*
- Huber, J. T. 1992. The subgenera, species groups, and synonyms of *Anaphes* (Hymenoptera: Mymaridae) with a review of the described Nearctic species of the fuscipennis group of *Anaphes* ss and the described species of *Anaphes* (Yungaburra). *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* **123**:23–110.
- Chailleux, A., Bearez, P., Pizzol, J., Amiens-Desneux, E., Ramirez-Romero R., Desneux, N. 2013. Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta*. *Journal of Pest Science* **86**:533–541.
- Chang, G. C. 1996. Comparison of Single Versus Multiple Species of Generalist Predators for Biological Control. *Environmental Entomology* **25**(1):207–212.
- Jervis, M. A., Ferns, P. N., Heimpel, G. E. 2003. Body size and the timing of egg production in parasitoid wasps: A comparative analysis. *Functional Ecology* **17**:375–383.
- Jervis, M. A., Heimpel, G. E., Ferns P. N., Harvey, J. A., Kidd N. A. C. 2002. Life-history strategies in parasitoid wasps: A comparative analysis of 'ovigeny'. *Journal of Animal Ecology* **70**(3):442–458
- Kalyanasundaram, M., Kamala, I. M. 2016. Parasitoids. Pages 109-138 in Omkar, O. editor. *Ecofriendly pest management for food security*. Elsevier Inc., USA.

- Kazmer, D. J., Luck, R. F. 1995. Field Tests of the Size-Fitness Hypothesis in the Egg Parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ecology* **76**:412–425.
- Kindlmann, P., Houdková, K. 2006. Intraguild predation: fiction or reality? *Population Ecology* **48**:317–322.
- Kourti, A. 2009. Studies on the identity of the parasitoids *Aphidius colemani* and *Aphidius transcaspicus* (Hymenoptera: Braconidae). *European Journal of Entomology* **106(4)**:491–498.
- Kundoo, A. A., Khan A. A. 2017. Coccinellids as biological control agents of soft bodied insects: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* **5(5)**:1362–1373.
- Landa, Z. © 2021a. Biologická ochrana rostlin: Praktická biologická ochrana proti živočišným škůdcům. Jihočeská univerzita, České Budějovice. Available from <http://rl.zf.jcu.cz/docs/ruzne/ruz-biolobicka-ochra-ea0fd2f6c1.pdf> (accessed January 2023).
- Landa, Z. © 2021b. Biologická ochrana rostlin: Úvod – strategie. Jihočeská univerzita, České Budějovice. Available from <http://rl.zf.jcu.cz/docs/ruzne/ruz-biologicka-ochra-20ef1e9eba.pdf> (accessed January 2023).
- Landa, Z. 2002c. Biologická ochrana zahradních rostlin proti chorobám a škůdcům v polních podmínkách, ve sklenicích a fóliovnících. Pages 225–280 in Demo, M., Hričovský, I., editors. Trvalo udržatelné technologie v záhradnictve. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra.
- Lange, W., Brandenburg, W. A., Bock, T. S. M. 1999. Taxonomy and culonomy of beet (*Beta vulgaris* L.). *Botanical Journal of the Linnean Society* **130(1)**:81–96.
- Lenefors, B. L. 2021. Virové žloutenky cukrové řepy – co je nového? *Listy cukrovarnické a řepařské* **137(7–8)**:240–244.
- Lucas, É. 2005. Intraguild predation among aphidophagous predators. *European Journal of Entomology* **102(3)**:351–364.
- Memmott, J., Godfray, H. C. J., Bolton, B. 1993. Predation and parasitism in a tropical herbivore community. *Ecological Entomology* **18**:348–352.
- Mendelova univerzita. 2015. Biologická ochrana rostlin. Mendelova univerzita, Brno. Available from https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1459&typ=html (accessed December 2022).
- Michalko, R., Pekár, S., Entling, M. H. 2019. An updated perspective on spiders as generalist predators in biological control. *Oecologia* **189**:21–36.
- Moran, A. N. 1992. The evolution of aphid life cycles. *Annual Review of Entomology* **37**:321–348.
- Moreno, C. R., Lewins, S. A., Barbosa, P. 2010. Influence of relative abundance and taxonomic identity on the effectiveness of generalist predators as biological control agents. *Biological Control* **52(2)**:96–103.
- Nakashima, Y., Birkett, M. A., Pye, B. J., Powel, W. 2006. Chemically Mediated Intraguild Predator Avoidance by Aphid Parasitoids: Interspecific Variability in Sensitivity to Semiochemical Trails of Ladybird Predators. *Journal of Chemical Ecology* **32(9)**:1989–1998.
- Nováková, M. 2022. Slunéčka jako ochrana rostlin před mšicemi. *Zelená domácnost*. Available from <https://www.zelenadomacnost.com/blog/index.php/2021/06/18/slunecka-jako-ochrana-rostlin-pred-msicemi/> (accessed January 2023).
- Němeček, J. 2016. Mezidruhové vztahy. Available from <https://adoc.pub/6-mezidruhove-vztahy.html> (accessed January 2023).
- Obrtel, R. 2015. Podzim a zima. *Co oči nevidí* **4**:83–84.

- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H. 2020. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-7.
- Omkar, O., Kumar, B. 2016. *Biocontrol of Insect Pests*. Pages: 25-61 in Omkar, O., editor. *Ecofriendly pest management for food security*. Elsevier Inc, USA.
- Osborne L., Bolckmans K., Landa Z., Peña J. E. 2004. *Kinds of natural enemies*. Pages 95-128 in Heinz, K. M., van Driesche, R. G., Parrella, P., editors. *Biocontrol in protected culture*. Ball Publishing, Batavia.
- Ozturk, R. 2020. *Effect of Insects on Biological Control*. Pages 201-216 in Dalkilic, M., editor. *Recent Advances in Science and Technology*. Gece Kitaplığı, Turecko.
- Pančíková, J. 2019. *Vývoj a současný stav pěstování cukrové řepy v České republice*. *Úroda* **3**:79.
- Patočka, J. 2004. *Slunéčko sedmitečné – Proč ho lidé milují a ptáci se mu vyhýbají?* *Vesmír* **83**:632.
- Peters, R. S., Krogmann, L., Mayer, Ch., Donath, A., Gunkel, S., Meusemann, K., Kozlov, A., Podsiadlowski, L., Petersen, M., Lanfear, R., Diez, P. A., Heraty, J., Kjer, K. M., Klopstein, S., Meier, R., Polidori, C., Schmitt, T., Liu, S., Zhou, X., Wappler, T., Rust, J., Misof, B., Niehuis, O. 2017. "Evolutionary history of the Hymenoptera." *Current Biology* **27**: 1013–1018.
- Petrželová, I., Doležalová, I. 2014. *Problematika zdravotního stavu genetických zdrojů vybraných druhů zelenin při jejich regeneraci v podmínkách technické izolace*. *Úroda* **12/2004**:49–56.
- Pokorný, Z. 2014. *Slunéčko sedmitečné. Chov zvířat*. Available from <http://www.chovzvirat.cz/zvire/1191-sluneco-sedmitecne/> (accessed January 2023).
- Polis, G. A., Holt, R. D. 1992. *Intraguild predation: The dynamics of complex trophic interactions*. *Trends in Ecology & Evolution* **7(5)**:151–154.
- Psota, V., Kopta T. 2010. *Bioagens: současné prostředky biologické ochrany*. Mendelova univerzita, Brno.
- Prado, S. G., Jandricic, S. E., Frank, S. D. 2015. *Ecological Interactions Affecting the Efficacy of *Aphidius colemani* in Greenhouse Crops*. *Insects* **6(2)**:538–575.
- Prokinová, E. 2017. *Využití biologické ochrany rostlin v systému ekologického pěstování plodin*. Agromanual.cz, Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/vyuziti-biologicke-ochrany-rostlin-v-systemu-ekologickeho-pestovani-plodin> (accessed March 2023).
- Pulkrábek, J., Urban, J., Bečková, L., Valenta, J. 2007. *Cukrová řepa pěstitelký rádce*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- R. Core Team, 2020, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vídeň.
- Rajendran, T. P., Singh, D. 2016. *Insects and pests*. Pages 1-24 in Omkar, O. editor. *Ecofriendly pest management for food security*. Elsevier Inc., USA.
- Roitberg. B. D., Boivin, G., Vet. L. E. M. 2012. *Fitness, parasitoids, and biological control: an opinion*. *The Canadian Entomologist* **133(3)**:429–438.
- Rott, A. S. & Godfray, H. C. J. 2000. *The structure of a leafminer-parasitoid community*. *Journal of Animal Ecology* **69**:274–289.
- Řimsa, V., Ryšánek, P. 1992. *Changes in chemical composition of sugarbeet leaves under the conditions of infection by beet virus yellows (BMV, BYV)*. *Listy cukrovarské a řepářské* **106(6)**:128–134.
- Segoli, M., Rosenheim, J. A. 2015. *The effect of body size on oviposition success of a minute parasitoid in nature*. *Ecological Entomology* **40**:483–485.

- Settele, J., Settle, W. H. 2018. Conservation biological control: Improving the Science Base. *PNAS* **115(33)**:8241-8243.
- Shih, P. Y., Sugio, A., Simon, J. Ch. 2022. Molecular Mechanisms Underlying Host Plant Specificity in Aphids. *Annual Review of Entomology* **68**:431–450.
- Singh, R., Singh, G. 2016. Aphids and their biocontrol. Pages 63-108 in Omkar, O. editor. *Ecofriendly pest management for food security*. Elsevier Inc., USA.
- Singh, R., Singh, G. 2021. *Polyphagous Pests of Crops*. Springer, Singapore.
- Skuhrovec, J., Martinková, Z., Honěk, A. 2018. Slunéčko východní – „užitečná“ invaze? *Academia SSČ AV ČR* **5**:261-263.
- Snyder, G. B., Smith, O., Chapman, E.G., Crossley, M. S., Crowder, D. W., Fu, Z., Harwood, J., Jensen, A. S., Krey, K., Lynch Ch. A., Snyder, W. E. 2022. Alternative prey mediate intraguild predation in the open field. *Pest Management Science* **78(9)** DOI: 10.1002/ps.6825
- Snyder, W. E., Ives, A. R. 2001. Generalist predators disrupt biological control by a specialist parasitoid. *Ecological Society of America* **82(3)**:705–716.
- Storeck, A., Poppy, G. M., Emden, H. F. 2003. The role of plant chemical cues in determining host preference in the generalist aphid parasitoid *Aphidius colemani*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **97(1)**:41–46.
- Srivastava, O., Srivastava, S. 2003. Influence of six aphid prey species on development and reproduction of a ladybird beetle, *Coccinella septempunctata*. *BioControl* **48**:379–393.
- Tomanović, Ž., Petrović, A., Mitrović, M., Kavallieratos, N. G., Starý, P., Rakhshani, E., Rakhshanipour, M., Popović, A., Shukshuk, A. H., Ivanović, A. 2014. Molecular and morphological variability within the *Aphidius colemani* group with redescription of *Aphidius platensis* Brethes (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). Cambridge University Press, Cambridge.
- Van Driesche, R. G., Bellows, Jr., T. S. 1996. *Biological control*. Kluwe ademic publishers, Boston.
- Venables, W. N., Ripley, B. D. 2002. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York.
- Víchová, J. 2021a. Choroby řepy (1): Virové choroby řepy (I.). Mendelova univerzita, Brno. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/choroby-repy-1-virove-choroby-repy-i> (accessed March 2023).
- Víchová, J. 2021b. Choroby řepy (2): Virové choroby řepy (II.) Mendelova univerzita, Brno. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/choroby-repy-2-virove-choroby-repy-ii> (accessed March 2023).
- Waage, J. K., Hassell, M. P. 2009. Parasitoids as biological control agents – a fundamental approach. *Parasitology* **84(4)**:241–268.
- Waage, J. K., Mills, N. J. 1992. Biological control. Pages 412-430 in Crawley, M. J., editor. *Natural enemies: the population biology of predators, parasites and diseases*. Blackwell Scientific, Oxford.
- Wajnberg, E., Roitberg, B. D., Boivin, G. 2015. Using optimality models to improve the efficacy of parasitoids in biological control programmes. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **158(1)**:2–16.
- Wells, A. 1992. The first parasitic Trichoptera. *Ecological Entomology* **17**:299–302
- West, S. A., Flanagan, K. E., Godfray, H. C. J. 1996. The relationship between parasitoid size and fitness in the field, a study of *Achrysocharoides zwoelferi* (Hymenoptera: Eulophidae). *Journal of Animal Ecology* **65(5)**:631–639.
- Wilson, F., Huffaker, C. B. 1976. The Philosophy, scope, and importance of biological control. Pages 3-15 in Huffaker, C. B., Messenger, P. S., editors. *Theory and practice of biological control*. Academic press, Inc., London.

Žikić, V., Milošević, M. I., Lazarević, M., Stanković S. S. 2026. Plants and insects in interactions: multitrophic associations. *Biologica Nyssana* **7(2)**:75–82.

Obrázek č. 2:

<https://www.blanokridlivpraze.cz/atlas/detail/?razeni=lat&atlId=140>

9 Seznam použitých zkratek

- BChV – virus mírného žloutnutí mezi listovou žilnatinou (beet chlorosis virus)
BLCV – kadeřavost řepy (beet leaf curl virus)
BMYV – virus mírného žloutnutí řepy (beet mild yellowing virus)
BNYVV – virová rizomanie řepy (beet necrotic yellow vein virus)
BO – biologická ochrana
BtMV – virová mozaika řepy (beet mosaic virus)
BYV – virus žloutenky řepy (beet yellows virus)
ČZU – Česká zemědělská univerzita
GLM-b – binomické rozdělení
GLM-nb – negativně binomické rozdělení
GLM-p – Poissonovo rozdělení
IGP – intraguild predation
IPM – integrovaná ochrana rostlin
LM – normální rozdělení
PCR – polymerázové řetězové reakce (polymerase chain reaction)