

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra ekologie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Míra parazitace obilních mšic v porostech obilnin
Diplomová práce**

Autor práce: Bc. Anna Šedivá

Obor studia: Ekologické zemědělství

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

Konzultant: RNDr. Jiří Skuhrovec, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Míra parazitace obilních mšic v porostech obilnin" 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. dubna 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. RNDr. Pavlu Saskovi, PhD. za odborné vedení, trpělivost a čas, který mi věnoval při vypracování mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Jiřímu Skuhrovcovi, PhD. za pomoc při sběru dat, identifikaci a za veškeré rady a připomínky k mé práci. Moje velké poděkování směřuje do Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Praze-Ruzyni v.v.i za poskytnutí zázemí při zpracování diplomové práce. Děkuji také Léně Jego (Université de Rennes 1, Rennes, Francie) za vytvoření metodiky a pomoc při sběru a zpracování dat. V neposlední řadě chci poděkovat mé rodině za psychickou podporu v průběhu celého studia.

Míra parazitace obilních mšic v porostech obilnin

Souhrn

Parazitoidi jsou důležitou součástí ekosystémů, protože dokáží regulovat negativní aktivitu škůdců. Tato diplomová práce se zabývá mírou parazitace obilních mšic a rozdílem v míře parazitace mezi ekologickým a konvenčním režimem pěstování.

Teoretická část je rozdělena na tři oblasti. První část seznamuje s charakteristikou, druhy a škodlivostí obilních mšic. V druhé části jsou popsáni parazitoidi z hlediska životní strategie a jejich biologického zařazení. Faktory ovlivňující samotnou míru parazitace obilních mšic se nachází v poslední části. Mezi faktory patří: biodiverzita, agrotechnika, stavba rostlin, pesticidy, hyperparazitace a obranné mechanismy mšic.

Praktická část práce vychází z reálných dat, jejichž sběr probíhal na jaře a na podzim roku 2022. Jarní sběry se konaly přibližně každých 10 dnů od května do července na 9 polích. Podzimní sběry se konaly od 25. do 27. října. Ze získaných informací pak byla stanovena potravní asociace mšic a parazitoidů s následnou mírou parazitace.

Ze získaných jarních dat jsme zjistili, že na polích s obilninami se nalézaly 3 hlavní mšice: kyjatka travní (*Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849)), kyjatka osenní (*Sitobion avenae* (Fabricius, 1775)) a mšice střemchová (*Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758)), které byly parazitovány převážně parazitoidy *Aphidius rhopalosiphi* (DeStefani, 1902), rodem *Ephedrus* a *Praon*. Kvůli pozdější aktivitě parazitoidů a vysoké abundanci mšic, byla míra parazitace v průběhu sezóny z hlediska účinnosti nedostatečná. Ekologická pole neposkytovala vyšší parazitaci než pole konvenční, pravděpodobně kvůli insekticidnímu ošetření konvenčních polí. Vysoký výskyt hyperparazitace mohl být dalším důvodem, který parazitaci snížil.

Klíčová slova: obilní mšice, parazitoidismus, míra parazitace, monitoring

Parasitism rate of cereal aphids in cereals

Summary

Parasitoids are an important component of ecosystems as they can regulate the negative impacts of pests. This thesis deals with the rates of cereal aphids parasitism and the difference between organic and conventional farming systems parasitism rates.

The theoretical part of thesis is divided into three partition. The first partition introduces the characteristics, types, and harmfulness of cereal aphids. In the second partition are described parasitoids in terms of their life strategy and biological classification. The factors affecting the parasitism rate of cereal aphids fill the last partition of the theoretical part. These factors include biodiversity, agronomy, plant structure, pesticides, hyperparasitism, and aphid defense mechanisms.

The practical part of the thesis is based on real data collected during the spring and autumn of 2022. The spring collections were conducted approximately every 10 days from May to July on 9 fields. The autumn collections took place from October 25th to 27th. Based on the acquired information, the food association of aphids and parasitoids was determined, followed by the parasitism rate.

Based on spring data, we found that there were three main aphid species on the cereal fields: the rose-grain aphid (*Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849)), the English grain aphid (*Sitobion avenae* (Fabricius, 1775)) and the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758)), which were mainly parasitized by parasitoids *Aphidius rhopalosiphi* (DeStefani, 1902), genus *Ephedrus* and *Praon*. Due to the later activity of parasitoids and the high abundance of aphids, the parasitism rate during the season was insufficient in the terms of effectiveness. The organic fields did not provide higher parasitism rate than conventional fields, likely because of the insecticidal treatment of conventional fields. The high occurrence of hyperparasitism could have been another reason that reduced parasitism rate.

Keywords: cereal aphids, parasitoidism, parasitism rate, monitoring

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Mšice.....	10
3.1.1 Charakteristika.....	10
3.1.2 Životní cyklus	11
3.1.3 Výživa.....	12
3.1.4 Významné druhy obilních mšic	12
3.1.4.1 Kyjatka travní (<i>Metopolophium dirhodum</i> (Walker, 1849)).....	13
3.1.4.2 Mšice střemchová (<i>Rhopalosiphum padi</i> (Linnaeus, 1758)).....	13
3.1.4.3 Mšice kukuřičná (<i>Rhopalosiphum maidis</i> (Fitch, 1856)).....	13
3.1.4.4 Kyjatka osenní (<i>Sitobion avenae</i> (Fabricius, 1775))	14
3.1.4.5 Mšice zhoubná (<i>Diuraphis noxia</i> (Kurdjumov, 1913)).....	14
3.1.4.6 Mšice pšeničná (<i>Schizaphis graminum</i> (Rondani, 1852)).....	14
3.1.4.7 Brvnatka pestrá (<i>Sipha elegans</i> (Del Guercio, 1905))	14
3.1.5 Poškození na obilninách	14
3.1.6 Přirození nepřátelé mšic	15
3.2 Parazitoidi mšic	16
3.2.1 Charakteristika.....	16
3.2.2 Životní strategie	17
3.2.3 Potrava v dospělosti.....	18
3.2.4 Druhy parazitoidů obilních mšic	18
3.2.4.1 Podčeleď Aphidiinae	19
3.2.4.2 Podčeleď Aphelininae	20
3.2.5 Umělé zavádění parazitoidů	20
3.3 Faktory ovlivňující míru parazitace obilních mšic	22
3.3.1 Biodiverzita.....	22
3.3.2 Agrotechnika.....	23
3.3.3 Stavba rostliny	23
3.3.4 Pesticidy.....	24
3.3.5 Hyperparazitace	24
3.3.6 Obranné mechanismy mšic.....	25
4 Metodika	26
4.1 Charakteristika pozemků	26
4.2 Sběr dat	30

4.2.1	Třídění v laboratoři, uchování vzorků a identifikace.....	31
4.2.1.1	Uchování mšic	31
4.2.1.2	Uchování mumíí	31
4.2.1.3	Identifikace	32
4.3	Analýza dat	32
4.3.1	Celková abundance mšic	32
4.3.2	Celková míra parazitace.....	33
4.3.3	Vytvoření potravních sítí	33
5	Výsledky	34
5.1	Abundance mšic jarních sběrů	34
5.2	Abundance mšic podzimního sběru.....	41
5.3	Míra parazitace	45
5.3.1	Vliv režimu pěstování na míru parazitace	47
5.3.2	Vliv plodiny na míru parazitace.....	49
5.4	Potravní sítě primárních parazitoidů	50
5.4.1	Potravní sítě pro jednotlivá pole	50
5.4.2	Potravní sítě pro režim pěstování.....	53
5.4.3	Potravní sítě pro pěstované plodiny	55
5.4.4	Potravní sítě pro období sběru	57
5.5	Výskyt hyperparazitoidů a pitvané vzorky	59
6	Diskuze	62
6.1	Abundance mšic	62
6.2	Míra parazitace	63
6.3	Druhy z pohledu potravních sítí.....	64
6.4	Hyperparazitace a pitvané vzorky.....	65
7	Závěr.....	66
8	Literatura.....	67
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	76
10	Samostatné přílohy	I
10.1	Seznam samostatných příloh.....	I

1 Úvod

Mšice patří mezi nejlépe studované škůdce v zemědělství po celém světě. Na snížení dopadů jejich negativního působení bývá vynakládáno velké úsilí (Landis et al. 2000). Hlavním negativním účinkem je poškozování plodin odstraňováním rostlinných šťáv a přenášením mnoha ničivých rostlinných virů (Smith & Boyko 2007). Přirození nepřátelé (predátoři, parazitoidi a patogeny) pomáhají při regulaci škůdců, potažmo mšic. Umožňují tím snížit nebo zcela omezit použití pesticidů, a proto hrají důležitou roli v zemědělských ekosystémech (Crowder et al. 2010; Cardinale et al. 2012). Jednou z nejrozmanitějších skupin přirozených nepřátel mšic jsou parazitoidi, kteří mají vysoký potenciál regulovat počet mšic, zejména v kontrolovaných podmínkách, např. ve sklenících (Yang et al. 2014).

Přestože existuje řada možností, jak podporovat přirozené nepřátele, používání insekticidů zůstává v konvenčním zemědělství nezbytným způsobem ochrany proti škůdcům (Bass et al. 2015). Vzhledem k nízkým nákladům na aplikaci insekticidů a vysokému riziku napadení plodin škůdci dochází pravidelně k preventivní aplikaci postřiků. Nepřesné předpovídání populací hmyzu na velkých plochách podpořilo bezdůvodné používání pesticidů (insekticidů) (Bailey et al. 2009). Používání insekticidů bohužel přispělo i k eliminaci přirozených nepřátel škůdců. U mnoha druhů hmyzu se vyvinula odolnost vůči různým typům insekticidů, čímž se zvýšilo riziko dlouhodobých ztrát plodin (Bass et al. 2015). V konvenčním zemědělství je tak narušena rovnováha mezi přirozenými nepřáteli a škůdci, což způsobuje nestabilitu a převahu škůdců (Crowder et al. 2010). Intenzivní hospodaření způsobuje snižování biodiverzity, která je významná pro půdní úrodnost a regulaci chorob a škůdců v agroekosystémech (Urban & Šarapatka 2003). Naproti tomu ekologické zemědělství (EZ) a integrovaná ochrana rostlin (IOR) podporuje rovnováhu mezi přirozenými nepřáteli a škůdci (Crowder et al. 2010). V rámci IOR je pochopení ekologie škůdců klíčem k identifikaci nejvhodnějších metod ochrany proti škůdcům (Thomas 1999). V EZ nedochází k vyhubení patogenů, ale jen k regulaci. Ochrana rostlin v EZ se zaměřuje na příčiny výskytu škodlivých organismů. Pěstování rostlin zahrnuje nepřímé metody ochrany rostlin a preventivní opatření (péče o půdní úrodnost, výživa rostlin, střídání plodin aj.). Udržuje se rovnováha mezi škodlivými organismy a jejich antagonisty (Urban & Šarapatka 2003).

Insekticidy nejsou jediným nástrojem pro ochranu proti bezobratlým škůdcům a evropská legislativa vyžaduje, aby farmy byly řízeny v souladu se zásadami integrované ochrany proti škůdcům a chemickou ochranu používaly pouze jako poslední možnost (Bruce 2010). Většina zemědělců praktikuje střídání plodin a kultivaci půdy, které pomáhají snižovat výskyt škůdců. Samotné posilování výskytu přirozených nepřátel se využívá jen zřídka (Bommarco et al. 2013). Zemědělci mají nedostatečné povědomí o přínosu přirozených nepřátel na orné půdě a zároveň nedostatek znalostí, jak podporovat přirozené nepřátele v zemědělské krajině (Griffiths et al. 2008).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Blanokřídlí parazitoidi představují společně s predátory nejvýznamnější přirozené nepřátele mšic a podílejí se tak na jejich regulaci. Míra parazitace mšic v obilninách však není pro prostředí České republiky dobře prozkoumaná. Cílem práce bylo stanovit míru parazitace obilních mšic blanokřídlymi parazitoidy v porostech obilnin pěstovaných v režimu ekologického i konvenčního způsobu pěstování.

Hypotézy k testování:

- 1) ekologicky obhospodařované porosty budou vykazovat větší míru parazitace než porosty konvenční
- 2) parazitace poroste spolu s nárůstem populace mšic.

3 Literární rešerše

3.1 Mšice

3.1.1 Charakteristika

Systematické zařazení (Blackman & Eastop 2007):

Kmen: Arthropoda (členovci)

Třída: Insecta (hmyz)

Řád: Hemiptera (polokřídlí)

Podřád: Sternorrhyncha (mšicosaví)

Čeleď: Aphididae (mšicovití)

Mšice jsou drobný bodavě savý hmyz o velikosti od 0,5–6,5 mm vyskytující se po celém světě (Helyer et al. 2014). Mají měkké tělo zpravidla s dlouhými štíhlými nohami (Piper 2007). Křídlaté formy jsou sklerotizovanější než bezkřídle (Vostřel et al. 2008). Mšice mají střechovitě skládaná blanitá křídla (Šefrová 2006) s redukovanou žilnatinou. Křídla jsou typická hlavně pro migrující jedince (*migrantes alatae*) (Vostřel et al. 2008). Tykadla se skládají ze 3–6 článků, na kterých jsou destičkovitá nahá nebo obrvená čichová sensoria. Chodidla mají dvoučlenná s párem drápků. Na 5. nebo 6. článku zadečku jsou trubičkovité sifunkuly (sekreční orgány) (Šefrová 2006), které mšice používají pro vylučování kapének krevní tekutiny na odpuzování přirozených nepřátel (Vostřel et al. 2008). Poslední zadečkový článek je prodloužen ve chvostek (*kaudu*) (Šefrová 2006). Barva mšic je velmi variabilní. Liší se mezi různými druhy, a dokonce i mezi jedinci stejného druhu. Mšice mohou být zelené, černé, žluté, kaštanově hnědé, růžové, šedé a voskově bílé. Některé mají tmavé znaky na světlém těle nebo naopak, čímž se maskují před nepřáteli (Helyer et al. 2014).

Pro obilní mšice je charakteristický polymorfismus. U mnoha druhů existuje několik strukturně odlišných morf, včetně pohlavních a nepohlavních jedinců. Jedinci s křídly se nazývají alátní a bez křídel apterní (Dixon 1977). Okřídlené mšice vznikají často reakcí na nepříznivé podmínky, špatným stavem rostliny, nástupem zimního období, který je spojený s migrací na jiné hostitelské rostliny (Helyer et al. 2014). Dalším důvodem vzniku alátních mšic může být riziko predace přirozenými nepřáteli (Le Ralec et al. 2010). Mšice nepatří mezi dobré letce. Pro let využívají vzdušné proudy, kterými překonají desítky kilometrů (Piper 2007). Okřídlené morfy jsou méně plodné, ale dokážou se rozptýlit na velké vzdálenosti a nejsou tak omezovány konkurencí o zdroje potravy. Bez křídle samice dávají nejvíc energie do reprodukce (Gilabert et al. 2009).

Mšice žijí v koloniích, které dokážou rozšířit tak, že hostitelskou rostlinu mohou zcela zahubit. Po vyčerpání zásob se rodí okřídlení jedinci, kteří opouští kolonii, aby hledali nové zdravé rostliny (Piper 2007).

Rostliny se proti mšicím brání různými obrannými mechanismy, jako jsou např. ostny, trichomy, šupiny a rostlinné sekrety (Piper 2007). Rostliny po útoku mšic zvyšují uvolňování těkavých organických látek a mnoho těchto látek působí na změnu chování parazitoidů a predátorů. Biologický význam spočívá v přitahování přirozených nepřátel škůdců (Ali et al. 2022). Rozvinul se proto zájem o používání látek podobným feromonům, které mohou pomoci

zvýšit účinky parazitoidů např. v integrované ochraně rostlin (Powell & Pickett 2003). Tyto účinky syntetických rostlinných těkavých látek jsou nadále zkoumány (James a Grasswitz 2005).

3.1.2 Životní cyklus

Životní cyklus obilních mšic je složitý. Je spojen s partenogenezí, migrací a střídáním hostitelů. Obilní mšice, podobně jako jiné druhy, za rok vystřídají mnoho generací, které jsou od sebe vzhledově odlišné. V ČR jsou mšice tzv. holocyklické, kdy střídají pohlavní a nepohlavní generace (Honěk et al. 2021). Změnu z nepohlavní na pohlavní rozmnožování způsobuje u většiny druhů mšic krátká délka dne. U některých druhů změnu vyvolává nízká teplota nebo pokles kvality výživy (Sethi & Swenson 1967). Na podzim dochází k pohlavnímu rozmnožování, kdy mšice naklade přezimující vajíčka. Během roku probíhá nepohlavní rozmnožování (Honěk et al. 2021). Produkce nymf bez oplodnění se nazývá partenogeneze (Helyer et al. 2014). Celé rozmnožování je tak urychleno, protože v těle matky se vyvíjí přímo nymfa (Honěk et al. 2021). Partenogenetické samičky vyprodukují 50-100 larev a žijí asi měsíc (Šefrová 2006). Po vykladení larviček je pro růst a vývoj významným faktorem teplota. Právě kvůli citlivosti malých larev na nízkou teplotu se v našich podmínkách na ozimech nevyskytují nepohlavně se rozmnožující mšice. Počátkem zimy tato generace vymrzá (Honěk et al. 2021). Helyer et al. (2014) rozděluje holocyklický cyklus na monoekní a diekní. Monoekní je takový, kde všechny generace mšic se vyvíjejí na stejném hostitelském rostlinném druhu. Diekní naopak střídá dvě hostitelské rostliny.

V přímořském klimatu západní Evropy (Honěk et al. 2021), ve Středomoří, subtropických a tropických oblastech, kde jsou zimy mírné nebo žádné (Helyer et al. 2014), se na ozimech nepohlavně se rozmnožující mšice běžně vyskytují (Honěk et al. 2021). Mšice se v těchto oblastech množí pouze partenogenezí (Helyer et al. 2014). Mšice přežívají zimu jako pohyblivé partenogenetické samice (Williams & Dixon 2007). Právě proto tam na jaře v těchto oblastech dochází k velkému přemnožení mšic. Rozmnožování, kde je vynechána pohlavní generace se nazývá anholocyklické (Honěk et al. 2021).

Jedinci jednotlivých generací mohou být tvarově odlišní a mohou vyhledávat jiné hostitelské rostliny (Honěk et al. 2021). Střídání hostitelských rostlin probíhá mezi primárními a sekundárními hostitelskými rostlinami (Honěk et al. 2017). Na podzim klesá obsah výživných látek v rostlinách, zkracuje se den, snižuje se teplota a líhnou se samičky (sexuparae), které rodí jedince obou pohlaví. Tato generace přelétává na primární hostitele (Šefrová 2006) a její funkcí je produkce vajíček, které dají vzniku zakládajícím samicím v následujícím roce (Piper 2007). Vajíčka jsou na rostlině ve stavu dormance (zimního klidu) (Honěk et al. 2017). V mírném podnebném pásu vajíčka mšic snesou teplotu až -20 °C (Powell 1974). Dokončení vývoje nastává až po diapauze, tedy poté, co přežijí chladné zimní podmínky. Diapauza zabraňuje předčasnému líhnutí na podzim (Dixon 1977). Na jaře se líhnou samobřezí samičky, tzv. zakladatelky (fundatrices). Z nich se na primární hostitelské rostlině vyvíjí 1–3 generace samobřezích samiček (Honěk et al. 2017). Na konci jara se objevují migranti (migrantes), kteří přelétají na sekundární hostitele. V létě se na nich vyvíjí velký počet generací bezkřídlých samiček (Šefrová 2006). Při tomto rozmnožování se rodí „kopie“ matek (Piper 2007). Rodí se

i okřídlené samičky, které přelétají mezi porosty obilnin a popřípadě jiných sekundárních rostlin (trav). Na podzim vzniká generace okřídlených migrantů, kteří přelétají zpět na primární hostitelské rostliny. V následujícím roce se cyklus opakuje (Honěk et al. 2017).

Po vykladení larev mšice prochází čtyřmi instary (Šefrová 2006). Každý instar je od sebe oddělen svlékáním kutikuly. Z nymfy se stává dospělec (imago) po čtvrtém svlékání. Imago se od larev odlišuje přítomností kaudy (Honěk et al. 2021).

3.1.3 Výživa

Mšice je bodavě savý hmyz. Její dlouhý sosák má stočený v torbě v přední části hrudi (Honěk et al. 2017). Většina druhů mšic se živí floémem rostlin, který získávají pomocí styletů. Mšice mají na tykadlech senzory, kterými vyhledávají zdroje potravy. Mšice reagují na pachy rostlin při chůzi i letu. Mšice prohledávají povrch rostliny pomocí hmatových receptorů na špičce sosáku. Receptory jim umožňují najít cévní svazky, kterými se dostanou ke zdroji potravy. Do rostliny se dostanou pomocí mandibulárních a maxillárních styletů, které dohromady tvoří dutou jehlicovitou strukturu (Dixon 1998). Dlouhý sosák zavádějí do pokožky přes mezibuněčné prostory až do cévních svazků (Honěk et al. 2017). Floém obsahuje cukry a je chudý na aminokyseliny, zejména ty, které jsou nezbytné pro růst (Dixon 1998). Trávicí ústrojí filtruje rostlinné šťávy z floémové části rostlin. Mšice využívají pouze volné aminokyseliny a cukernou složku vylučují jako medovici (žlutá lepkavá tekutina) (Honěk et al. 2017). Velký počet mšic vede k hojnému výskytu lepkavé medovice, která podporuje růst černí. Medovici se živí mravenci, kteří mšice brání před napadením parazity a predátory. Během sání může mšice na rostlinu přenášet rostlinné viry. Mšice mohou způsobovat tvorbu hálek, puchýřků nebo kadeření listů (Helyer et al. 2014).

3.1.4 Významné druhy obilních mšic

Mšice jsou heterogenní skupina. Druhy mšic se rozlišují podle tykadlových článků, tvaru, délky a barvy sifunkul a kaudy (Šefrová 2006). Mšice lze rozeznávat podle mnoha morfologických charakteristik. Mezi ně patří sifunkuly, článkovaná tykadla, končetiny a kauda. Každý druh má tyto znaky jinak vyvinuté nebo je má druhotně zkrácené (Blackman & Eastop 2007).

Na světě je dosud popsáno 5 000 druhů mšic, ale pouze několik málo z nich jsou mšice napadající obilniny. Celosvětově nejběžnějšími druhy obilních mšic jsou *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849), *Metopolophium festucae* (Theobald, 1971), *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758), *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856), *Rhopalosiphum rufiabfominale* (Sasaki, 1899), *Rhopalosiphum insertum* (Walker, 1849), *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775), *Sitobion fragariae* (Walker, 1848), *Sitobion miscanthi* (Takahashi, 1921), *Diuraphis noxia* (Kurdjumov, 1913) a *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Parry 2013). Nejvýznamnější druhy obilních mšic se vyskytují na pšenici. Na pšenici se celosvětově nachází 33 druhů mšic, ale jen pro některé druhy je pšenice cílovým hostitelem. Pouze 14 druhů se dočasně nebo dlouhodobě nachází na pšenici a rozmnožuje se na ní (Honěk et al. 2017).

Významné druhy obilních mšic lze najít na různých částech rostliny. Kyjatka travní (*M. dirhodum*) napadá nejvíce listy a kyjatka osenní (*S. avenae*) klasy. Mšice střemchová (*R. padi*)

se vyskytuje v dobře hnojených porostech a naopak brvnatka pestrá (*Sipha elegans*) v suchých a špatně hnojených (Honěk et al. 2017).

3.1.4.1 Kyjatka travní (*Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849))

Kyjatka travní (*M. dirhodum*) má celé tělo zeleně až žlutozeleně zbarvené, protáhlé větvenovité. Převážná část jedinců má na hřbetní straně těla světle zelený pásek. Bezkrídle samičky jsou velké 1,6–2,9 mm. Křídlaté samičky jsou podobně velké (1,6–3,3 mm). Kyjatky travní (*M. dirhodum*) se objevují na listech obilnin ve velkých koloniích, které se skládají z několika samic a jejich potomstva. Osidlují spodní strany listů. Ve střední Evropě imaga přes zimu vymrzají. Přezimují pouze vajíčka pohlavní generace na růžích, vzácněji na řepíku a jahodníku, a i jiných travách (Honěk et al. 2017). V západní Evropě mohou populace kyjatek travních (*M. dirhodum*) přežívat v porostech obilnin do jara (Honěk et al. 2018). Fundatrices (zakladatelky) se líhnou od března do dubna a vytvářejí několik generací na primárních hostitelích. V květnu alátní jedinci napadají porosty obilnin a kukuřice, kde produkují několik generací a zvyšují početnost. Na konci června abundance kyjatek klesá. Migrantes se stěhují na alternativní hostitelské rostliny, potažmo trávy, kde přežívají až do podzimu, odkud v září a říjnu přelétají na primární hostitelské rostliny (Blackman a Eastop 1984).

3.1.4.2 Mšice střemchová (*Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758))

Mšice střemchová (*R. padi*) má velmi variabilní zbarvení. Jedinci jsou olivově zelené, tmavě olivové až černé nebo hnědozelené. Mají hruškovité tělo. V zadní části hrudi u základů sifunkulů mají rezavě hnědou skvrnu (Blackman & Eastop 2007). Mšice střemchová (*R. padi*) je velká 1,2–2,4 mm. Okřídlené samičky jsou černé. V Evropě přezimují vajíčka *R. padi* na střemše (*Prunus padus*) (Honěk et al. 2017) a v Severní Americe na arónii obecné (*Prunus virginiana*) (Blackman & Eastop 2007). Fundatrices se líhnou z vajíček v dubnu a živí se rašícími pupeny (Dixon 1971). Sekundárním hostitelem jsou nejen obilniny, ale i trávy, kosatce, sítiny a orobince. Na jaře se na střemše vyvíjejí 2–3 generace. Okřídlení jedinci migrují na obilniny, kde jsou mezi prvními druhy mšic. Mšice střemchová (*R. padi*) se vyskytuje na listech (hlavně listových pochvách) a v klasech (Honěk et al. 2017). Pro mšici střemchovou je typické opuštění svého hostitele, jakmile přestane rostlina růst. Na podzim se na něj vrací (Dixon 1977) a přelézá do spodních částí rostliny a na kořeny (Jarošová et al. 2009). Migrace z rostliny na rostlinu jim umožňuje vyhnout se přirozeným nepřítelům (Dixon 1977).

3.1.4.3 Mšice kukuřičná (*Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856))

Mšice kukuřičná (*R. maidis*) je malá, oválná mšice s olivovou až modrozelenou barvou. Má krátká tykadla a tmavé nohy, sifunkuly a kaudu. Napadá zvláště kukuřici setou, širok dvoubarevný a ječmen setý. Vyskytuje se ale i na ovsu, prosu, pšenici a rýži. Patří mezi nejdůležitější přenašeče virů žluté zakrslosti ječmene (BYDV) (Blackman & Eastop 2007).

3.1.4.4 Kyjatka osenní (*Sitobion avenae* (Fabricius, 1775))

Kyjatka osenní (*S. avenae*) má široké vřetenovité tělo. Je žlutozelená až červenohnědá s tmavými tykadly a sifunkuly (Blackman & Eastop 2007). Okřídlené samičky mají stejnou barvu. Bezkrídle samičky jsou velké 1,3–3,3 mm a okřídlené 1,6–2,9 mm. Přezimují na travách. Migrace na obilniny probíhá v průběhu května. Nejprve obsazují listy. Po vymetání se přesouvají do klasů (Honěk et al. 2017). Při přemnožení způsobují největší škody v době kvetení a mléčné zralosti obilí (Šefrová 2006). Jsou evropského původu. Obývají celou Evropu, Asii, severní a jižní Afriku a Severní a Jižní Ameriku (Blackman & Eastop 2007).

3.1.4.5 Mšice zhoubná (*Diuraphis noxia* (Kurdjumov, 1913))

Mšice zhoubná (*D. noxia*) je malá, úzká žlutozelená mšice původem z Ruska (Blackman & Eastop 2007). V dospělosti je velká 1,4–2,6 mm. Okřídlení jedinci jsou tmaví, bezkrídlí jedinci jsou světlí. Mají protáhlou kaudu. Výběžek nad kaudou vytváří dojem, že mají kaudy dvě, a to je odlišuje od ostatních druhů obilních mšic (Nematollahi 2015). Vyskytuje se ve východní Asii, jižní Africe, Severní a Jižní Americe a severní Evropě. Napadá především pozdě vysetou pšenici a ječmen (Blackman & Eastop 2007).

3.1.4.6 Mšice pšeničná (*Schizaphis graminum* (Rondani, 1852))

Mšice pšeničná (*S. graminum*) je mšice s nažloutlými až modrozelenými světlými sifunkuly, které jsou zakončeny tmavou špičkou. Vyskytuje se výhradně na ozimé pšenici. Pochází z Asie a jsou široce rozšířené přes jižní Evropu, Afriku a Severní a Jižní Ameriku (Blackman & Eastop 2007).

3.1.4.7 Brvnatka pestrá (*Sipha elegans* (Del Guercio, 1905))

Brvnatka pestrá (*S. elegans*) se vyznačuje oválným, svrchu zploštělým tělem s řadou chlupů na hřbetě. Sifunkuly má krátké. Je tmavě žlutá až žlutohnědá. Prostředkem těla se táhne světlý pásek. Brvnatka je 1,4–2,1 mm velká. Okřídlené samičky mají na zádech dvě podélné řady tmavých teček. Tečky se v zadní části mění na příčné proužky. Nacházejí se kromě obilnin na travách (pýru plazivém, ovsíku vyvýšeném a kostřavě luční). Primárním hostitelem jsou trávy, odkud migruje na obilniny v průběhu června. Brvnatky (*S. elegans*) tvoří husté a velmi početné kolonie na listech a pod klasem. Jsou to mšice suchých a teplých let a najdeme je na rostlinách stresovaných suchem a špatně vyživených (Honěk et al. 2017).

3.1.5 Poškození na obilninách

Obilní mšice jsou neškodlivější v době metání (Šefrová 2006). Škody na hostitelských rostlinách můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé škody způsobují mšice sáním velkého množství asimilátů jak z vegetativních, tak i generativních orgánů rostlin (Honěk et al. 2017). Napadení rostlin mšicemi se projevuje žloutnutím, nekrotizací a deformacemi (Šefrová 2006). Nepřímé škody způsobují černě, které vznikají na místech ztráty asimilačních ploch (Honěk et al. 2017) a vylučovanou medovicí mšic. Černě tvoří sazovité útvary, které snižují asimilační

schopnost listů. Nejběžnějšími druhy černí jsou rody *Alternaria* a *Cladosporium* (Vostřel et al. 2008). Růst černě podporuje vysoká vzdušná vlhkost. Největší škody způsobují černě v oblastech vlhkého oceánského klimatu a v porostech s velkou listovou plochou. Při vysokém výskytu mšice jsou ztráty 10–12 % z celkového výnosu (Honěk et al. 2017).

Nejvýznamnějším problémem, které mšice způsobují, je přenos viróz. V České republice se vyskytují čtyři druhy obilních virů přenášené mšicemi. Nejproblematictějším virem je luteovirus žluté zakrslosti ječmene (barley yellow dwarf virus – BYDV), který zpříčiňuje poškození výhradně ozimých obilnin. Stejně jako vir zakrslosti pšenice (wheat dwarf virus – WDV). Mezi nejvýznamnější přenašeče viru BYDV patří *R. padi*, *S. avenae*, *M. dirhodum* a *R. maidis* (Kundu et al. 2009). Tento vir napadá všechny druhy obilnin. Hlavním příznakem je různě silná zakrslost, poruchy v metání a předčasné odumírání rostliny. Klasy nebo laty jsou redukovány a kvítky mohou být sterilní. Napadený ječmen a některé odrůdy pšenice od vrcholů listů žloutnou. Oves a některé odrůdy pšenice mají vrcholy listů a čepele oranžové nebo červenohnědé. Ovsu se svinují listy. Kořeny napadených rostlin jsou kratší a méně rozvětvené. Rostliny jsou virem infikovány na podzim (ozimy) a na jaře (ozimy a jařiny). V případě napadení virem ve fázi 1. listu až odnožování se snižuje výnos u méně odolných odrůd pšenice o 50–60 %. Infikování rostlin v době sloupkování je pro ozimé formy již méně závažné (ztráty 5–10 % u ozimé pšenice). Naopak u jarního ovsa jsou ztráty 40 % a víc. Rostliny napadené virem jsou náchylné především vůči fytopatogenním houbám (*Alternaria* spp., *Fusarium* spp. atd.) (Honěk et al. 2017). BYDV byl dlouho považován za nejvýznamnější původce virového onemocnění malozrnných obilovin po celém světě. BYDV zůstává často nezjištěn, popřípadě špatně diagnostikován (Plumb & Johnstone 1995).

Druhým významným virem je polerovirus žluté zakrslosti obilnin (cereal yellow dwarf virus – CYDV). CYDV má podobné příznaky jako BYDV, zakrslost a zabarvení listů. Oproti BYDV má nižší škodlivost (Honěk et al. 2017).

Dalšími viry vyskytující se v ČR jsou virus zakrslé mozaiky kukuřice (maize dwarf mosaic virus – MDMV), který způsobuje chlorotickou mozaiku na listech a listových pochvách a virus mozaiky cukrové třtiny (sugarcane mosaic virus – SCMV) s podobnými příznaky jako MDMV (Honěk et al. 2017).

3.1.6 Přirození nepřátelé mšic

Přirození nepřátelé mají důležitou roli při regulaci výskytu mšic. Přirození nepřátelé jsou organismy, které snižují životaschopnost škůdců. A to buď tím, že jim znemožňují schopnost rozmnožování, nebo je přímo usmrtí. Využíváním přirozených nepřátel škůdců, kteří napadají zemědělské plodiny, se zabývá biologická ochrana. Jejím cílem je snížit populaci škůdců dostat pod ekonomický práh škodlivosti, zpomalit vznik rezistence vůči pesticidům a snižovat znečištění životního prostředí rezidui pesticidů. Chemické přípravky mají nepříznivý vliv na necílové živočichy a člověka. Oproti tomu biologické prostředky např. použití přirozených nepřátel, takové účinky nemají. Tyto prostředky hubí škůdce v době škodlivého výskytu (Bagar et al. 2003). Přirození nepřátelé snižují rychlost nárůstu populací škůdců (Dixon 1998) a počet sezón s kalamitním výskytem. Na přirozené nepřátele mají vliv jak abiotické faktory (teplota,

vlhkost a délka světelného dne), tak i biotické, např. dostupnost potravy, konkurence jedinců stejného druhu nebo druhu se stejnými potravními nároky (Bagar et al. 2003).

Mšice mají mnoho přirozených nepřátel (antagonistů) (Honěk et al. 2017). Mšice napadá několik druhů blanokřídlých vosiček (parazitoidů), hmyzích a roztočových predátorů a několik houbových patogenů (Helyer et al. 2014). Hlavními houbovými parazity jsou druhy *Erynia neoaphidis* a *Entomophthora planchoniana*, které se přenášejí sporami na povrchu těla (Milner 1997; Honěk et al. 2017).

Mezi hmyzími antagonisty patří predátoři, kteří napadají a zabíjejí velké skupiny jedinců (Honěk et al. 2017). Predátor konzumuje celé tělo kořisti a bývá většinou větší než kořist. Ve většině případů není predátor na kořist potravně specializován. Predátor ke snadnějšímu ulovení kořisti používá různé adaptace (dobře vyvinuté smysly a rychlý pohyb) (Šefrová 2006). Naopak kořist se proti predátorům brání chemickou a mechanickou ochranou (kryptickým chováním, mimikry nebo kousáním) (Stevens 2010). Nejčastějšími hmyzími predátory jsou draví roztoči čeledi Phytoseiidae, několik rodů čeledi střevlíkovití (Carabidae) a brouci čeledi páteříčkovití (Cantharidae) (Šefrová 2006). Nejznámějšími predátory jsou hlavně brouci z čeledi slunéčkovití (Coccinellidae), kteří se živí mšicemi ve stádiu larvy i dospělce. Slunéčkovití dokáží zkonzumovat velké množství mšic (Piper 2007). Další významnou skupinou jsou dvoukřídlí (Diptera) z čeledi pestřenkovitých (Syrphidae). Mšicemi se živí výhradně larvy. Dále pak síťokřídlí (Neuroptera) z čeledi zlatoočkovitých (Chrysopidae). Mšicemi se živí i pavouci, např. plachetnatky (Linyphiidae) a slíďáci rodu *Pardosa* (Honěk et al. 2017). Venkovní pokusy s použitím predátorů k hubení škůdců mšic se ukázaly jako neúspěšné. Je to proto, že predátoři nejsou zaměřeni na konkrétní druh a jsou vysoce pohybliví (Dixon 1977).

Významnou skupinou antagonistů jsou také parazitoidi, kterým jsou věnovány následující kapitoly.

3.2 Parazitoidi mšic

3.2.1 Charakteristika

Parazitoidi jsou významnou složkou biologické ochrany proti škůdcům z kmene členovců (Bagar et al. 2003), kteří jsou buď stejně velcí, nebo menší než hostitelé. Podle umístění nakladených vajíček rozlišujeme ekto- a endoparazitoidy (Šefrová 2006). Endoparazitoidi kladou vajíčka dovnitř hostitele a vyvinuté larvy se poté živí jeho tkáněmi (např. *Aphidius ervi*). Naopak ektoparazitoidi se zachycují na povrchu hostitelova těla a larvy je požírají zvenčí (např. *Habrobracon hebetor*) (Bagar et al. 2003). Ektoparazitoidi kladou vajíčka na místa, kam hostitel nedosáhne (např. za hlavu), aby nedošlo k jejich zničení (Quicke 2015).

Parazitoidi napadají všechna vývojová stádia hostitele. Jednotlivé druhy se specializují na konkrétní stádia. Najdeme tak parazitoidy vajíček (např. *Trichogramma* spp.), larev (např. *Venturia canescens*), kukel anebo i dospělců hostitele (Bagar et al. 2003). Parazitoidi dokáží vývojové cykly sladit s cykly hostitele (Šefrová 2006).

Nejvýznamnější účinek mají parazitoidi mšic v období jejich vysoké populační hustoty (Honěk et al. 2017). Většina parazitoidů parazituje jeden nebo nízký počet druhů mšic v jednom nebo několika příbuzných rodech a konkrétních vývojových stádiích. Využívají tak jen malou část dostupných zdrojů hostitelů (Mackauer & Völkl 1993). Míra parazitace se obecně pohybuje

mezi 1 a 10 %. Parazitismus se značně liší během vegetačního období a velikostí kolonií mšic (Cohen & Mackauer 1986).

3.2.2 Životní strategie

Parazitoidy můžeme podle životní strategie rozdělit na koinobionty a idiobionty. Koinobionti umožňují hostiteli po naklazení vajíčka dále pokračovat v růstu, příjmu potravy a vývoji. Hostitel je usmrcen až při vzniku kokonu. Idiobionti hostitele paralyzují při kladení vajíček a jedinci je zabráněno v dalším vývoji. Idiobionti mají širší rozsah hostitelů (Quicke 2015), a častěji napadají vajíčka a kukly. Jelikož se hostitel již dále nevyvíjí, vývoj potomstva parazitoida je závislý na kvalitě a množství potravy dostupné v době kladení vajíček (Harvey 2005).

Parazitoidi mají dva různé stupně specializace na hostitele: generalisty a specialisty. Generalisté mají větší potravní spektrum než specialisté, a proto jsou oproti nim v převaze. Specialisté vyhledávají pouze jednoho cílového hostitele. Poměr specialistů a generalistů záleží na způsobu vyhledávání kořisti, konkurenceschopnosti (Hawro et al. 2017), struktuře krajiny a zemědělské intenzifikaci. V méně stabilním prostředí převažují generalisté, zatímco specialisté se nachází ve stálém prostředí (Richmond et al. 2005). V biologické ochraně je důležité vědět, který z těchto dvou typů parazitoidů způsobuje větší mortalitu škůdců. Generalisté se častěji vyskytují na méně intenzivně obhospodařovaných polích, protože taková krajina obsahuje širší spektrum hostitelů. Specialisté se nachází spíše v intenzivních systémech (Hawro et al. 2017).

Samice parazitoidů vyhledávají hostitele pomocí pachových signálů charakterizujících přítomnost hosta (např. medovice) nebo jeho činnost (požer, sání) na hostitelské rostlině (Bagar et al. 2003). Medovice mšic obsahuje kairomony (mezidruhové chemické komunikační prostředky, které prospívají příjemci a mohou škodit producentovi), které přilákávají parazitoidy anebo i hyperparazitoidy (Saha & Chandran 2017). Orientaci parazitoidů v porostu poskytují těkavé látky, které jsou po napadení mšic produkovány rostlinami. Zrak používají v omezené míře. Některé druhy parazitoidů pravděpodobně využívají přítomnosti mravenců, kteří medovici sbírají, za účelem nalezení hostitele (Völkl et al. 2007). Před naklazením vajíček samice tykadly vyhodnocuje kvalitu hostitele, hlavně velikost, stáří a přítomnost vajíček jiné samice. Parazitované mšice jsou označovány feromony, proto samice odmítají již dříve parazitované mšice. Mezi druhy se feromony liší, proto nebrání k napadání hyperparazitoidy. Vajíčka kladou jen do takových hostitelů, kteří umožní optimální podmínky. U většiny parazitoidů se vyskytují obě pohlaví, samci se ale líhnou zřídka. Samice mohou určit pohlaví potomstva řízeným uvolňováním spermií. Kladou tak buď oplozená nebo neoplozená vajíčka. Oplozená samičí vajíčka ukládají převážně do větších hostitelů, u kterých se předpokládá vyšší kvalita. Samčí neoplozená vajíčka umisťují proto do menších jedinců než samičí (Bagar et al. 2003; Völkl et al. 2007).

Samice parazitoida kladou do mšice obvykle jen jedno vajíčko (Mackauer & Völkl 1993), ze kterého se vylíhne larvička, která se živí orgány mšice. Ta se po 3–4 dnech přestává rozmnožovat (Bagar et al. 2003). Larva postupně vyžírá mšici přibližně 8 dní (Sullivan 1987). U blanokřídlých parazitoidů se rozlišují čtyři larvální instary. Larva čtvrtého instaru se přibližně

po 4 dnech kuklí a vytváří uvnitř mrtvé mšice kokon. Mšice změní barvu, přestane se pohybovat a vytvoří tzv. mumii, která zůstává přichycena na rostlině. Její zbarvení je druhově specifické. Mumie může být nažloutlá až hnědá s určitým ztmavnutím v závislosti na věku, tmavě hnědá nebo černá (Sullivan 1987; Bagar et al. 2003; Starý 2006). Larva spřádá kokon uvnitř (např. *Aphidius*, *Lysiphlebus*, *Trioxys*) nebo pod prázdnou ztvrdlou pokožkou mšice (např. *Praon*) (Mackauer & Völkl 1993). Kokon je křehký s tenkou kutikulou, který se snadno poškodí. Kokon pomáhá předcházet hyperparazitismu, vysychání a chrání před patogeny a predátory (Quicke 2015). Dospělý parazitoid přibližně po 5 dnech vykouše kruhový výletový otvor a vytlačí víčko, které se obvykle přichytí k otvoru nebo se zlomí. Vytváření kokonu, zbarvení mumie a poloha výletového otvoru závisí na příslušných parazitoidních skupinách a také na sezónních adaptacích (např. diapauza) (Starý 2006).

Dospělí parazitoidi se rozptýlí na delší vzdálenosti pasivním letem. Na kratší vzdálenosti využívají aktivní let nebo chůzi (Starý 2006). Ihned po vylíhnutí dokáže vosička zabít několik desítek mšic. Celý cyklus trvá 14–16 dní a je ovlivněn teplotou (Bagar et al. 2003). Dlouhověkost dospělců se značně liší v závislosti na přítomnosti vody a medovice mšic. Parazitoidi se dožívají dvou nebo třech týdnů, někdy i více. Dospělci jsou aktivní většinou v teplých slunečných dnech, zejména odpoledne. Rozmnožování je sexuální, u některých druhů i partenogenetické. Reprodukční schopnost je proměnlivá, může dosahovat i několika stovek vajíček na samici (Starý 2006). Většina druhů má několik generací ročně (Völkl et al. 2007).

3.2.3 Potrava v dospělosti

Dospělci parazitoidů se živí rostlinnou potravou (Bagar et al. 2003). Parazitoidi vyžadují pro přežití i pro produkci potomků zdroj sacharidů, který jim zajistí medovice mšic. Kromě toho medovici mohou parazitoidi používat k lokalizaci svého hostitele nebo jako podnět k zahájení kladení vajíček. Přestože parazitoidi využívají jako zdroj sacharidů medovici mšic, květinový nektar může mít pro dospělé jedince význam při nedostatku hostitelů (Wäckers 2000). Nektar je vhodnější zdroj potravy než medovice produkovaná mšicemi (Zhao et al. 2014). Obvykle obsahuje přibližně stejné množství fruktózy a glukózy, zatímco medovice obsahuje i jiné cukry rostlinného původu, které mohou mít nižší nutriční hodnotu (Quicke 2015). Nektar zvyšuje reprodukční schopnost, a tak i míru parazitace (Wäckers et al. 2008). Velmi důležitý je také zdroj vody, který získávají často z ranní rosy (Quicke 2015).

3.2.4 Druhy parazitoidů obilních mšic

Počet druhů parazitoidů obilních mšic se pohybuje mezi 130–140 (Starý 2006). Významné druhy jsou hlavně z řádu blanokřídlých (Hymenoptera) a dvoukřídlých (Diptera) (Bagar et al. 2003).

Mšice a jejich parazitoidi vykazují nejvyšší druhovou bohatost v mírných až subtropických pásmech severní polokoule, zatímco z tropů a subtropických a mírných pásem jižní polokoule je popsán menší počet endemických druhů. Parazitoidi v průběhu sezóny přecházejí z jednoho na druhého či několik hostitelských druhů (Starý 2006). Hlavní obilní mšice v Evropě, *S. avenae*, *M. dirhodum* a *R. padi*, jsou napadány hlavně blanokřídlými parazitoidy patřícími do čeledí Braconidae a Aphelinidae (Lohaus et al. 2013).

Systematické zařazení (Hullé et al. 2020):

Kmen: Arthropoda (členovci)

Třída: Insecta (hmyz)

Řád: Hymenoptera (blanokřídlí)

Čeleď: Braconidae (lumčíkovití)

Podčeleď: Aphidiinae

3.2.4.1 Podčeleď Aphidiinae

Všechny druhy z čeledi Aphidiinae jsou solitérní endoparazitoidi mšic (Mackauer & Völkl 1993). Samice běžně kladou do mšice jedno vajíčko. Může se však objevit i superparazitismus. Nadpočetné larvy jsou eliminovány v časném prvním instaru larvy, takže dokončí svůj vývoj pouze jedna larva (Völkl et al. 2007). Dospělci jsou velcí 2–3,5 mm. Zbarvení dospělých jedinců je převážně černé nebo tmavě hnědé, s více či méně žlutými, oranžovými nebo žlutohnědými vzory. Pro zástupce podčeledi Aphidiinae je typická výrazná žilnatina na křídlech. Kladélko je krátké a slabě viditelné. Na tykadlech je maximálně 20 článků (Hullé et al. 2020). Vajíčka Aphidiinae mají tvar citronu. Jejich embryonální vývoj je rychlý. Larvy prvního instaru ihned napadají okolní hostitelskou tkáň. Mezi prvním a druhým instarem larvy je rozdíl v přítomnosti slinné žlázy prvního instaru, pravděpodobně sloužící k inhibici imunitních obranných mechanismů mšic (Quicke 2015). Poslední larvální instar spřádá kokon uvnitř (např. druhy rodů *Ephedrus*, *Aphidius*, *Lysiphlebus* a *Trioxys*) mumifikovaného těla hostitele (Völkl et al. 2007). Larvy rodu *Praon* vykousávají otvor na spodní části mšice a vytváří kokon ve tvaru disku vně mumifikovaného těla (Quicke 2015). Mumie mšic po parazitaci jsou nafouklé a slámově žluté (Šefrová 2006). Dospělci opouští mšici vykousaným kulatým výletovým otvorem mezi sifunkuly mšic. Místo výletového otvoru je druhově specifické. Plodnost je vysoká, samice za život nakladou až 800 vajec, i když typičtější je 150 až 200. Délka života dospělého je poměrně krátká, přibližně jen pár týdnů (Quicke 2015). V polních podmínkách je ale plodnost snížena. Dospělci zde přežívají pouze 2–3 dny (Völkl et al. 2007).

Samice pro kladení vajíček preferují nymfy mšic v druhém a třetím instaru před pozdějšími instary a dospělci. Parazitované mšice dosáhnou před dokončením vývoje parazitoida asi dvou následujících instarů. Většina mšic je usmrcena před dosažením dospělosti (Starý 2006). Je to nejvíce studovaná skupina parazitoidů, která se využívá v biologické a integrované ochraně proti mšicím. Jejich úspěšnost je spojena s vysokou plodností. Několik druhů je chováno komerčně jako bioagens proti mšicím ve sklenicích (např. *A. ervi*) (Quicke 2015).

Mezi druhy napadající obilní mšice z podčeledi Aphidiinae patří: *Aphidius ervi* (Haliday, 1834), *A. rhopalosiphi* (DeStefani, 1902), *A. colemani* (Dalman, 1820), *A. matricariae* (Haliday, 1834), *A. smithi* (Sharma & Subba Rao, 1959), *A. uzbekistanicus* (Luzheztki, 1960) (Shirota et al. 1983), *Ephedrus* spp., *Lysiphlebus* spp., *Praon* spp. a *Trioxys* spp. (Quicke 2015).

Systematické zařazení (Hullé et al. 2020):

Kmen: Arthropoda (členovci)

Třída: Insecta (hmyz)

Řád: Hymenoptera (blanokřídlí)

Čeleď: Aphelinidae

Podčeleď: Aphelininae

3.2.4.2 Podčeleď Aphelininae

Aphelininae je velmi drobný hmyz o velikosti 0,5–1,5 mm. Vyznačují se tím, že mají lomená tykadla se 4 články (Kim & Heraty 2012). Mají kovové zbarvení a jednu podélnou žilku na předních křídlech. Křídla jsou obrvená (Šefrová 2006). Končetiny jsou žluté, hrudník tmavý (Hullé et al. 2020). Některé druhy jsou zvláštní tím, že samice a samci se odlišně vyvíjejí. Samice se vyvíjí jako primární endoparazitoidi, oproti tomu samci jako primární ektoparazitoidi nebo hyperparazitoidi (Kim & Heraty 2012). Na rozdíl od Aphidiinae jsou samice Aphelininae dravé. Pro tvorbu a dozrání vajíček potřebují hemolymfu hostitelů. Samice si vybírají pro potravu mšice živinově chudé a pro kladení vajíček mšice živinově bohaté. Během krmení dokáží jedinci mšici usmrtit (Völkl et al. 2007). Aphelininae na rozmnožování preferují nymfy mšic druhého a třetího instaru. Imaga jsou napadáni méně často. Jako potravu si vybírají nymfy prvního a druhého instaru (Helyer et al. 2014). Mumie mšic napadené Aphelininae jsou černé a podlouhlé (Hullé et al. 2020). Dospělé samice se dožívají 15 až 27 dnů. Samice dokáží parazitovat až 200 mšic. Během krmení zabijí asi 40 mšic (Helyer et al. 2014).

Mezi druhy napadající obilní mšice z podčeledi Aphelininae patří: *Aphelinus mali* (Šefrová 2006).

3.2.5 Umělé zavádění parazitoidů

Parazitoidi mšic jsou používáni v biologické a integrované ochraně proti škůdcům mnohem častěji než další přírodní nepřátelé mšic. Mají výhodu ve specializaci na mšice, i když mnozí napadají širší spektrum druhů. Vzhledem k tomu, že obilní mšice jsou v mnoha regionech zavlečenými škůdci, biologická ochrana se snaží do oblastí vypouštět exotické parazitoidy, obvykle sbírané z geografických oblastí, odkud mšice pocházejí (Powell & Pell 2007). Úspěšné zavedení živých organismů do nového prostředí je obtížné. Pravděpodobnost, že se nový druh usadí a bude úspěšně fungovat, snižují ekologické, biologické, logistické a technické faktory. V novém prostředí mohou chybět klíčové náležitosti (např. alternativní hostitelé, potrava, úkryt), které existují v původních biotopech. Kromě toho se nová stanoviště často vyznačují velmi nepříznivými fyzikálními vlastnostmi (např. nepříznivé teploty, nadměrné nebo nedostatečné srážky, nepříznivá vlhkost) (van den Bosch 1971). Právě proto se parazitoidi využívají zejména ve sklenicích (Hluchý & Zacharda 1994). Míra parazitismu v laboratoři a sklenicích dosahuje až 100 %, zatímco na poli může být pouze 13 % (Wei et al. 2016). Na poli kladou vosičky méně vajíček, je to dáno tím, že ve volném prostředí mají více dostupných vhodných hostitelů (Mackauer & Völkl 1993). Vysazování parazitoidů je často neúspěšné kvůli neschopnosti obnovení populace. Úspěšnost pokusů biologické ochrany pomocí zavedených, nepůvodních parazitoidů, bude vždy záviset na vhodné synchronizaci životních cyklů

parazitoida a hostitele a na dostupnosti alternativních hostitelů, kteří jsou hlavními příčinami selhání (Quicke 2015).

Parazitoidi v biologické ochraně rostlin se jako bioagens používají v ČR (tehdejším Československu) od 80. let minulého století. Bioagens začali poprvé aktivně aplikovat v JZD Mír Chelčice u Vodňan, kde se nacházely skleníkové komplexy o výměře 120 ha. V 90. letech s nárůstem dovozu zeleniny a okrasných rostlin ze zahraničí se místní produkce omezila. Do ČR se začali distribuovat bioagens z velkých firem jako je Koppert B.V a Biobest be (Bagar et al. 2003). V ČR se biologickou ochranou zabývá společnost Biocont Laboratory s.r.o. od roku 1991. Společnost se zabývá výrobou a distribucí přípravků na ochranu rostlin obsahující živé organismy. Hlavní specializací je produkce dravého roztoče *Typhlodromus pyri* (Hluchý & Zacharda 1994).

Jako bioagens proti mšicím jsou používány hlavně druhy z čeledi Braconidae (Quicke 2015). Nejběžnější komerčně prodávaní parazitoidi proti mšicím jsou zejména pro použití ve sklenících, kde jsou mšice rezistentní vůči chemickým insekticidům. Několik druhů se používá ve venkovních podmínkách v klasických introdukcích (Powell & Pell 2007). Aplikace ve sklenících je jednoduchá a zdravotně nezávadná. Vosičky se dokážou rozmnožovat celou vegetační sezónu, a tak stačí pouze jedna aplikace. Nejčastějšími druhy používanými jako bioagens je *A. ervi* a *A. colemani*. Při aplikaci do skleníku je potřeba zajistit vhodné podmínky pro rozmnožování parazitoidů. Parazitoidi se nedokáží bez hostitele rozmnožit. Proto je důležité je aplikovat v době výskytu několika mšic. Naopak přemnožené mšice nedokážou vypuštění parazitoidi efektivně potlačit z důvodu pomalého rozmnožovacího cyklu. Důležitá je přesná identifikace mšic. Některé druhy rodu *Aphidius* jsou kompatibilní pouze s některými druhy mšic. Špatná identifikace může způsobit selhání biologické ochrany. Parazitické vosičky jsou dodávány v mumiiích mšic. Vosičky jsou baleny v plastových krabičkách, ve kterých je pro líhnoucí vosičky nosič potravy a vody. Mumiiím a vylíhlým vosičkám při dlouhodobém skladování je nutné zajistit teplotu od 8 do 12 °C. Takto lze materiál skladovat až tři týdny. Krabička s parazitoidy nesmí být vystavována přímému slunci. Při aplikaci do skleníku se krabička otevře, aby mohly vosičky volně vylétnout. V jednom balení bývá nejméně 100 ks mumii (vosiček). Jedna dávka zajistí ochranu na 100 m² plochy. Během aplikace je nutné brát v úvahu 20–30% úhyn vosiček při manipulaci. Pouze 60 % vylíhlých vosiček je pak schopných reprodukce. Velkopěstitelé používají rostlinné banky. Jsou to pěstební misky s trsy mladého obilí, na kterém se nachází parazitoidem napadené mšice. Obilní mšice skleníkové rostliny nenapadají, slouží pouze jako vhodní hostitelé pro rozmnožování vosiček. Jako obilní mšice jsou používány *R. padi* a *S. avenae* napadené *A. colemani* a *A. ervi*. Ve velkých sklenících se na ploše 1 ha umísťuje 5 rostlinných bank. Rostlinné banky se mohou umísťovat preventivně jako zdroj parazitických vosiček (Bagar et al. 2003).

V polních podmínkách jsou pokusy s umělou aplikací *A. colemani* a *A. ervi* neúspěšné. *A. colemani* byl zkoušen proti mšici broskvoňové *Myzus persicae*. Vosičky napadali mravenci *Lasius niger*, kteří se hojně vyskytují na ovocných stromech a živí se medovicí mšic (Bagar et al. 2003). Nejvíce používanými parazitoidy v polních podmínkách jsou drobněnky rodu *Trichogramma*. Mají uplatnění v ochraně polní plodové zeleniny a kukuřice proti zavíječi kukuřičnému (*Ostrinia nubilalis*) a černopásce bavlníkové (*Heliothis armigera*). Komerčně dostupné přípravky jsou TrichoTop nebo Trichoplus (Biocont 2023). Přípravky jsou prodávány v kartonových nebo polystyrenových kapslích. Uvnitř jsou napadená vajíčka zavíječe

moučného (*Ephestia kuehniella*) drobněnkami. Kapsle se umísťují do porostu na začátku kladení vajíček škůdce (Psota & Kopta 2010). Velkopěstitelé mohou využít leteckou aplikaci TrichoLet (Biocont 2023).

3.3 Faktory ovlivňující míru parazitace obilních mšic

Parazitaci ovlivňuje mnoho ekologických faktorů: biodiverzita, hyperparazitismus, predace (Rossinelli & Bacher 2015), dostupnost konkrétních druhů a instarů mšic, obranné chování mšic (Mackauer & Völkl 1993) a nepříznivé povětrnostní podmínky. Vítr a déšť omezují shánění hostitelů, a to především tím, že brání rozptýlení na větší vzdálenosti. Klesá tak jejich reprodukční schopnost (Völkl et al. 2007). Při nízkých hustotách mšic mohou parazitoidi začít napadat jiné hostitele a výrazně tak snížit míru parazitismu. Populacím mšic to umožní rychlejší množení (Chow a Mackauer 1991). Účinnost parazitoidů se liší v závislosti na druhu mšice a parazitoida v sezóně a jednotlivých letech a prostředí (Starý 2006). Specifické složení hostitelů a jejich relativní početnost má vliv na relativní početnost parazitoidů (Andrade et al. 2015).

3.3.1 Biodiverzita

Vysoké napadení mšicemi je spojeno s nízkou rozmanitostí fauny (Sunderland 1975). Zvýšená rozmanitost krajiny vede k větší hojnosti přirozených nepřátel (Ramsden et al. 2017). V krajině s velkým množstvím přirozených a polopřirozených stanovišť jsou přirození nepřátelé, jako jsou parazitoidní vosičky, draví brouci a hmyzožraví ptáci, často hojnější a druhově bohatší než v monokulturních oblastech (Chaplin-Kramer et al. 2011). Polopřirozená stanoviště zlepšují biologickou ochranu proti hmyzím škůdcům (Veres et al. 2013). Je to dáno hlavně tím, že přirození nepřátelé využívají k hnízdění či přezimování nejbližší okolí polí (Martin et al. 2015).

Na podporu aktivity predátorů a parazitoidů je potřeba v agrosystému zvýšit biodiverzitu (např. ponechání některých polí ladem, nebo pěstování nektarodárných rostlin pro potravu) (Šefrová 2006). Neprodukční stanoviště zesilují populace parazitoidů, protože mohou poskytnout potravu, úkryt, příznivé mikroklima a alternativní hostitele. Tyto neprodukční stanoviště mohou zvýšit druhovou rozmanitost nebo početnost přirozených nepřátel na orné půdě, a tím účinně potlačit populace škůdců (Zhao et al. 2014). Pěstováním nektarodárných rostlin v blízkosti polí se zvyšuje populace predátorů a parazitoidů (Wang et al. 2019), protože řada parazitoidů potřebuje pro rozmnožování nektar kvetoucích rostlin. Na okrajích polí je vhodné udržovat pásy kvetoucích bylin a keřů (Bagar et al. 2003). Wäckers et al. (2008) udává, že kvetoucí pásy na okraji polí nelze považovat za důkaz, že se parazitoidům zvýší dlouhověkost a plodnost. Parazitoidi mohou naopak v kvetoucí vegetaci hledat hostitele (Andow & Prokrym 1990). V různorodých rostlinných společenstvech je vyšší hustota jiných přirozených nepřátel např. predátorů, kteří hostitele zahubí dřív než parazitoidi. Přesto jsou bohatá rostlinná společenstva parazitoidy preferovanější z důvodu lepších nutričních zdrojů (nektaru), které poskytují šanci na přežití (Bezemer et al. 2010). Na jednu stranu je ve smíšených kulturách vyšší míra hyperparazitismu. Hyperparazitoidi jsou zvýhodněni

alternativními zdroji potravy, což může způsobit sníženou parazitaci mšic primárními parazitoidy (Jeavons et al. 2022).

Úkryty na krajích polí jsou důležité z hlediska celkové druhové diverzity parazitoidů (Macfadyen et al. 2011). Zvýšením biodiverzity se změní podíl jednotlivých druhů. Díky přidání různých zdrojů se zvýšila hojnost generalistického parazitoidea *A. ervi* oproti specialistickému druhu *A. rhopalosiphi* (Jeavons et al. 2022).

3.3.2 Agrotechnika

Režim pěstování a s tím spojená agrotechnika je zásadní pro udržení diverzity parazitoidů. Lidská činnost může zhoršovat funkci ekosystému snížením počtu a rozmanitosti druhů. Kvůli narušené rovnováze v konvenčním zemědělství je hustota škůdců vysoká. Naproti tomu ekologické zemědělství zmírňuje ekologické škody tím, že podporuje vyrovnanost mezi přirozenými nepřáteli a škůdci. Vyrovnanost mezi škůdci a přirozenými nepřáteli je významně vyšší právě na ekologicky obhospodařovaných polích (Crowder et al. 2010). EZ může vést u některých taxonů ke zvýšení druhové diverzity až o 30 %. Zvyšuje přirozenou rovnoměrnost přirozených nepřátel, pravděpodobně kvůli větším plochám polopřirozených vegetací a redukovanému používání agrochemikálií (Hole et al. 2005). Pro EZ jsou typické systémy smíšených kultur, jako je např. společné pěstování obilnin a luskovin na jednom poli. V těchto systémech mohou parazitoidi využívat jiné druhy mšic jako alternativní hostitele v době, kdy není dostatek obilních mšic (Powell & Pell 2007). Parazitoidi jsou přednostně lákáni na kvetoucí rostliny, což může ve smíšených kulturách omezit parazitaci na cílových plodinách, protože parazitoidi přelétají na obilniny až později (Bukovinszky et al. 2007). Přesto přítomnost mšic na luskovinách v systémech smíšených kultur zvyšuje účinnost *A. ervi* v obilninách (Powell & Pell 2007).

Přirozeným nepřítelům by se měl přizpůsobit i způsob sklizně. Entomofágové jsou nejvíce ohroženi při sklizni na zeleno. Vhodné je proto nechat posekanou plodinu ležet, aby mohli přirození nepřátelé přelézt, popř. přelétnout. Sekání v pásech je doporučováno při sklizni píce. Ponechá se neposekaný pás, který je posekán až později. Zároveň částečné zaplevelení porostu zvyšuje účinek přirozených nepřátel (Bagar et al. 2003).

3.3.3 Stavba rostliny

Schopnost vyhledávat hostitele je ovlivněna stavbou rostlin, konkrétní částí a povrchem rostlin. Struktura porostu zpomaluje pohyb parazitoidů nebo způsobuje maskování mšic (Bezemer et al. 2010). Ve vyhledávání hostitelů brání parazitoidům trichomy (Andow & Prokrym 1990). Více času tráví parazitoidi na listech než v klasu. Přestože je úžlabí listů preferovaným místem výskytu mšic, parazitoidi se tomuto místu vyhýbají (Gardner & Dixon 1985). Parazitace více probíhá na listech. Na složitějších površích je parazitace 2x nižší. Hledání hostitele je intenzivnější na jednodušších površích. A právě proto mšice využívají složitější strukturu jako úkryt před parazitoidy (Andow & Prokrym 1990). Struktura rostlin má vliv i na kladení vajíček. Vosičky kladou více vajíček na rostliny s jednodušší strukturou (Mackauer & Völkl 1993).

3.3.4 Pesticidy

Chemická ochrana proti škůdcům vede ke změně struktury potravní sítě (Crowder et al. 2010). Nejvíce negativních účinků mají insekticidy (Pinheiro et al. 2020). Insekticidy neberou v úvahu přirozenou biologickou ochranu a ovlivňují tak i přirozené nepřátele mšic (van den Bosch 1971). Subletální dávka insekticidů nemusí přímo zabít přirozené nepřátele, ale může narušit jejich fyziologické a behaviorální chování, které významně ovlivňuje zdatnost a úspěšnost biologické ochrany (Pinheiro et al. 2020). Způsobují ztrátu reprodukčních schopností, dezorientaci a neobvyklé chování při hledání potravy u parazitoidů mšic (Alfaro-Tapia et al. 2021). Insekticidy by se měly aplikovat na základě krátkodobé prognózy maximální aktivity škůdce. Při nízké škodlivosti škůdce by se měla brát v úvahu aktivita přirozených nepřátel (Bagar et al. 2003). Nejtoxičtější insekticidy, zejména pro dospělé, jsou neurotoxické organofosfáty a pyretroidy. Ve fázi mumie jsou insekticidy obvykle pro parazitoidy neškodné. Kokon parazitoidy dostatečně chrání (Pinheiro et al. 2020).

Fungicidy pro parazitoidy nejsou přímo toxické (Bagar et al. 2003), ale negativně ovlivňují rozmanitost a bohatost mikroorganismů v květech (houby a bakterie), které snižují kvalitu nektaru, koncentraci cukru nebo pH, což má důsledky při krmení přirozených nepřátel (Pinheiro et al. 2020).

Herbicidy také nejsou přímo toxické, ale stejně jako fungicidy snižují produkci pylu a životaschopnost. Aplikace herbicidů může snížit diverzitu kvetoucích rostlin a odstranění úkrytů pro přirozené nepřátele (Pinheiro et al. 2020). Omezení aplikace herbicidů na souvracích může podpořit aktivitu přirozených nepřátel (Bagar et al. 2003).

3.3.5 Hyperparazitace

Hyperparazitoidi tvoří velkou a různorodou skupinu (Völkl 1992). Hyperparazitace zahrnuje vývoj sekundárního parazitoida na úkor primárního parazitoida. Hmyzí hyperparazitoid napadá jiný hmyz, který sám parazituje na hostitelském hmyzu (Sullivan 1987). Hyperparazitoidi snižují parazitaci primárních parazitoidů a jsou tak škodliví při biologické ochraně (Horn 1989). Velké množství hyperparazitoidů v jednom roce zamezuje aktivitě primárních parazitoidů a snižuje počet přezimujících jedinců. V následujícím roce snižuje míru napadení kolonií mšic a umožní tím mšicím rychlejší množení (Jones 1972).

Existují obligátní a fakultativní hyperparazitoidi. Obligátní hyperparazitoidi se vyvíjejí pouze v primárním parazitoidovi nebo na něm. Fakultativní hyperparazitoidi se vyvíjí buď jako primární nebo sekundární parazitoidi (Sullivan 1987). Hyperparazitoidi patří do nadčeledí Ichneumonoidea, Chalcidoidea, a čeledi Megaspilidae (zejména *Dendrocerus carpenteri*) a Cynipidae (*Alloxysta* spp.) (Quicke 2015). Hyperparazitoidi z čeledi Cynipidae jsou endoparazité, kteří kladou vajíčka buď přímo do vajíčka primárních parazitoidů anebo do larvy. Naopak *Dendrocerus* je ektoparazitoid. Samička vajíčko klade na kuklu primárních parazitoidů (Sullivan 1987). Hyperparazitoidi se zaměřují na konkrétní druhy mšic. *D. carpenteri* je spojován s druhem *S. avenae*, zatímco *Alloxysta vulgaris* a *A. suspensus* preferují druhy *M. dirhodum* a *R. padi* (Höller et al. 1993).

Hyperparazitoidi mají větší nároky na teplotu než primární parazitoidi, proto se objevují až v pozdní sezóně. Mají nízkou životaschopnost a dlouhou dobou vývoje. Oproti primárním parazitoidům kladou méně vajíček (maximálně 30 vajíček za den). Zároveň mají omezenou

kapacitu ovarií na maximálně 40 vajíček. Úroveň hyperparazitismu se může značně lišit mezi koloniemi mšic v různých prostředích (Mackauer & Völkl 1993). Hyperparazitace na poli často přesahuje až 80 %, zejména v pozdní sezóně (Horn 1989).

Hyperparazitoidi produkují specifické pachy, které způsobují odlákání primárních parazitoidů (Höller et al. 1993), kteří přestávají klást vajíčka v místech výskytu již parazitovaných mšic (Dixon 1998). Primární parazitoidní samice opouštějí oblasti s vysokou hyperparazitoidní hustotou, což vede k jejich rozptýlení a nedostatečnou parazitaci primárními parazitoidy později v sezóně (Höller et al. 1993).

Někteří parazitoidi jsou schopni se vyhnout napadení hyperparazitoidů díky vyvinutým mechanismům obrany proti svým predátorům. Parazitoidi, kteří mají vyvinuté obranné mechanismy před agresí mravenců (např. kryptické chování nebo chemickou obranu) se dokáží bránit i hyperparazitoidům (Mackauer & Völkl 1993). Parazitované mšice se krátce před mumifikací často přesouvají pryč od místa napadení parazitoidem na místo, kde je nižší šance napadení hyperparazitoidem (Brodeur & McNeil 1989). Strategie úniku pravděpodobně způsobuje změnu v nervovém systému hostitele, kterou vyvolává larva parazitoida (Behrendt 1968).

3.3.6 Obranné mechanismy mšic

V rámci obrany proti přirozeným nepřítelům si mšice vyvinuly obranné mechanismy. Jednou z důležitých obran jsou bakteriální symbionti, konkrétně bakterie rodu *Buchnera*. Tito symbionti nejen ovlivňují schopnost růstu mšic, ale jsou také důležité pro ochranu před parazitoidy (Quicke 2015). Bakterie produkují toxiny zaměřující se na vajíčka parazitoidů nakladených do těla mšic (Oliver et al. 2003).

Mšice se mohou bránit proti parazitoidům také kopáním nebo únikem. Vosičky proto zaútočí na soliterní jedince spíše než na kolonii mšic. Útok na kolonii způsobí větší pravděpodobnost obranných reakcí mšic (Mackauer & Völkl 1993). Naopak *L. cardui* a *L. hirticornis* kolonie vyhledávají a kladou vajíčka do všech dostupných mšic nebo dokud se nevyčerpá zásoba vajíček (200-300 ks) (Völkl 1992). Některé druhy mšic mají na těle výběžky, kterými produkují voskový sekret jako obranu před napadením. Tyto látky fungují i jako poplašný feromon. Voskový sekret je lepkavý, dokáže tak zalepit ústní ústrojí, tykadla nebo vejcovod nepřítele (Le Ralec et al. 2010).

Samice parazitoidů se dokáží bránit útokům tím, že hostitele omráčí a larva pak vyžírá jeho paralyzované tělo (Bagar et al. 2003). Pokud se snaží zabránit útěku hostitele, drží jej předními končetinami. Parazitoidi napadají menší jedince, přestože jsou velké mšice pro potomky nutričně výhodnější. Velké mšice se totiž dokážou lépe bránit útoku a mohou uniknout (Völkl et al. 2007). Z podobného důvodu většina druhů parazitoidů parazituje na relativně malém počtu mšic v kolonii bez ohledu na velikosti kolonie. Nejvíce napadají malé a středně velké kolonie, zatímco velké kolonie po krátké době opustí s malým počtem nakladených vajíček (Mackauer a Völkl 1993).

Dospělí parazitoidi mohou být náchylní k predaci (Quicke 2015). Pomocníky v boji před parazitoidy jsou také mravenci, kteří chrání mšice před napadením. Útočí na samici ve chvíli kladení vajíček, které někdy trvá více než 20 sekund (Mackauer & Völkl 1993).

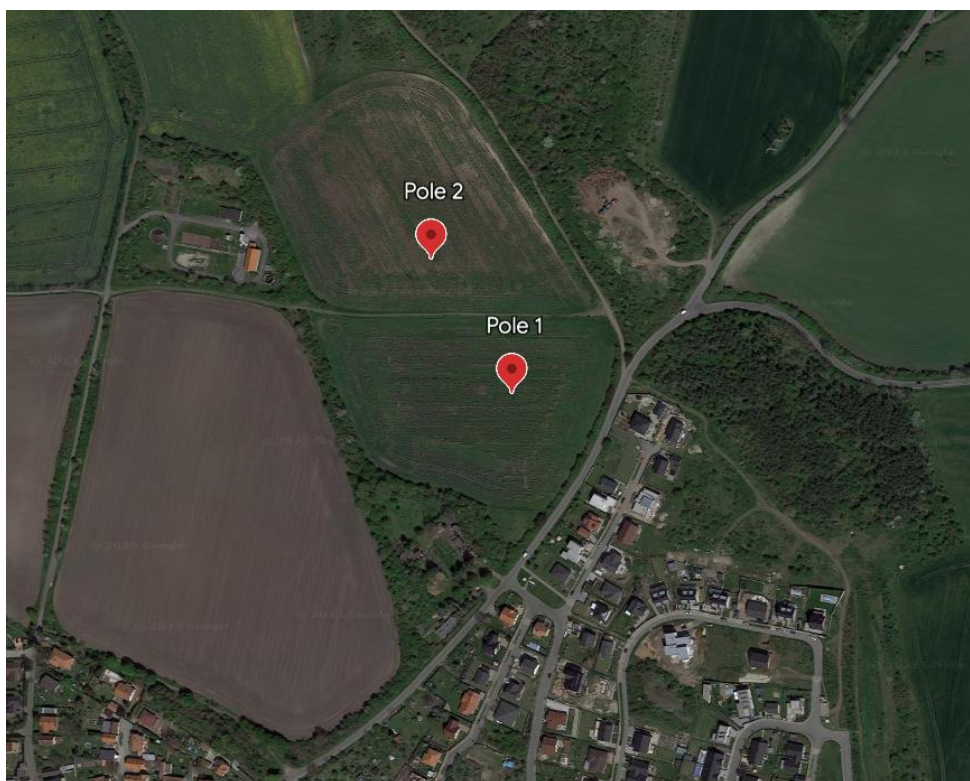
4 Metodika

4.1 Charakteristika pozemků

Informace o polích z jarních sběrů lze nalézt v Tab. 1. Umístění polí v Odoleně Vodě je umístěno na Obr. 1 a na Obr. 2 je umístění polí patřící pod VÚRV v Praze Ruzyni.

Tab. 1. Informace o polích z jarních sběrů

Pole	Souřadnice	LPIS	Katastr	Plodina	plocha (ha)	Režim pěstování
1	50.2388131N, 14.4166539E	1501/4	Odolena voda	Pšenice setá, ozimá	3,07	KZ
2	50.2399550N, 14.4163147E	607	Odolena voda	Pšenice setá, ozimá	3,69	KZ
3	50.082254N, 14.304458E	1234	Praha Ruzyně	Pšenice dvouzrnka	1,7	EZ
4	50.0821292N, 14.3034419E	1234	Praha Ruzyně	Pšenice setá, ozimá	1,2	EZ
5	50.0818814N, 14.3014981E	1234	Praha Ruzyně	Oves nahý	1,9	EZ
6	50.0815783N, 14.2965369E	1226/1	Praha Ruzyně	Pšenice dvouzrnka	3,3	EZ
7	50.0815783N, 14.2965369E	1290/9	Praha Ruzyně	Ječmen obecný, jarní	3,5	KZ
8	50.0842853N, 14.2938139E	1290/1	Praha Ruzyně	Oves setý	11,6	KZ
9	50.089501N, 14.290406E	2754/14	Praha Ruzyně	Pšenice setá, ozimá	1,8	KZ



Obr. 1. Umístění polí 1 a 2 vzorkovaných na jaře; zdroj: Google Earth (2023)



Obr. 2. Umístění polí 3-9 vzorkovaných na jaře a pole 21 vzorkované na podzim; zdroj: Google Earth (2023)

Pole 3, 4 a 5 jsou v režimu ekologického zemědělství od 9. října 2013. Pole 6 je v režimu EZ od 7. října 2013. Tabulky 2 a 3 znázorňují management ekologických a konvenčních polí vzorkovaných na podzim.

Tab. 2. Management ekologických polí

Pole	Setí	Odrůda	Výsevok (kg/ha)	Sklizeň	Výnos (t/ha)
3	29.03.2022	Tapiruz	160	17.08.2022	2,88
4	12.10.2021	*	/	25.07.2022	7,56
5	25.03.2022	Patrik	120	09.08.2022	1,73
6	29.03.2022	Tapiruz	160	17.08.2022	2,38

Pozn.: *směs odrůd: Butterfly, Illusion, Lorien, Vanessa

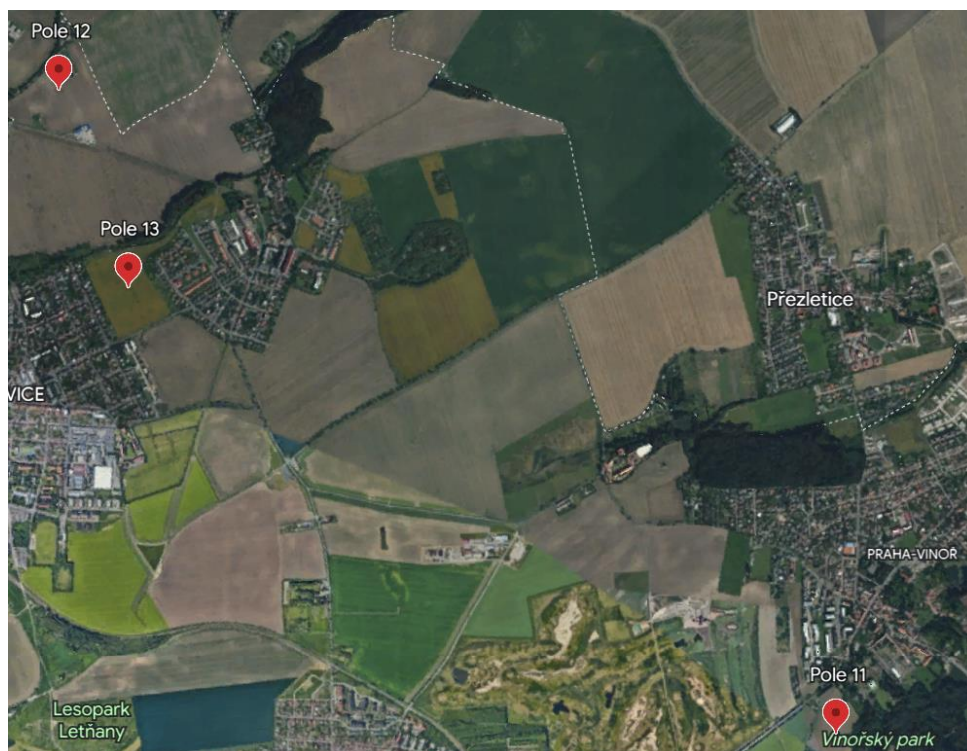
Tab. 3. Management konvenčních polí

Pole	Setí	Odrůda	Výsev (kg/ha)	Hnojivo	Pesticid	Ochrana	Sklizeň	Výnos (t/ha)
1+2	28.09.2021	/	/	LAD 27 % Belenus Aktifer Superphos+Cu močovina Bór Lignohumát Modus Energen 3D Moxa	Zumba Mirage 45 ECNA Florone Hutton Karate se Zeon Revcare Tebucor	plevel choroby choroby choroby škůdci choroby choroby	/	/
7	08.03.2022	Bojos	178	NPK 9-12-25	Agritox 50 SL Decis Forte Kantik	plevel kohoutci choroby	28.07.2022	3,58
8	23.03.2022	Atego	180	NPK 9-12-25 DAM 390	Agritox 50 SL	plevel	10.08.2022	4,96
9	19.10.2021	Illusion	200	močovina 46 % N DAM 390	Mustang forte Duke Zamir	plevel plevel choroby	20.07.2022	5,16

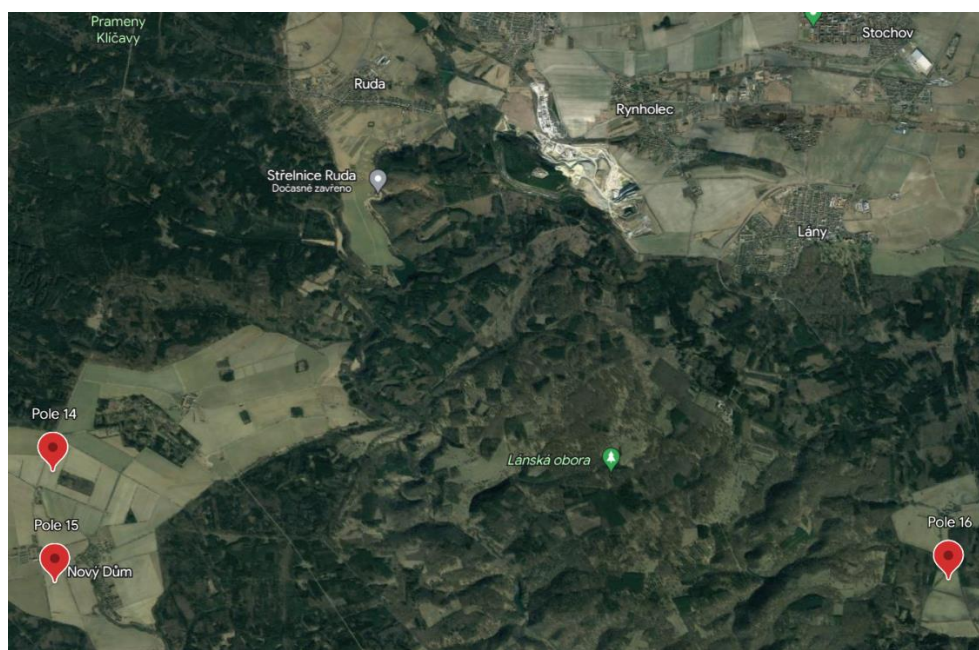
Tabulka 4 znázorňuje informace o polích z podzimního sběru. Sběr dat polí 11, 12 a 13 proběhl 25. října 2022 (Obr. 3). Sběr dat polí 14, 15, 16 proběhl 26. října 2022 (Obr. 4). Sběr dat polí 18, 19, 21 proběhl 27. října 2022 (Obr. 5 a Obr. 2). Pole z podzimního sběru byla založena 2-3 týdny před odebráním vzorků. Vzhledem k absenci mumifikovaných mšic nejsou tato pole zmiňována a neuvádí se ani detaily k managementu polí.

Tab. 4. Informace o polích z podzimního sběru

Pole	Souřadnice	LPIS	Katastr	Plodina	plocha (ha)	Režim pěstování
11	50.1386003N, 14.5767453E	1802	Praha Vnoř	Pšenice setá, ozimá	5,96	KZ
12	50.1631017N, 14.5315342E	3503/3	Praha Čakovice	Pšenice setá, ozimá	10,24	KZ
13	50.1554308N, 14.5346239E	3602/4	Praha Čakovice	Pšenice setá, ozimá	6,31	KZ
14	50.0998425N, 13.8238386E	4503/5	Nový Dům	Ječmen obecný, ozimý	29,14	KZ
15	50.0862417N, 13.8242678E	5703	Nový Dům	Ječmen obecný, ozimý	13,95	KZ
16	50.0869303N, 13.9728836E	4803	Lhota	Ječmen obecný, ozimý	6,87	KZ
17	50.0718867N, 13.2415864E	6301/7	Chyše	Ječmen obecný, ozimý	17,90	KZ
18	50.0777256N, 13.2300853E	7102/9	Chyše	Ječmen obecný, ozimý	24,19	KZ
19	50.0818842N, 13.2421014E	6104	Chyše	Ječmen obecný, ozimý	4,55	KZ
21	50.0834950N, 14.2919914E	1290/1	Praha Ruzyně	Ječmen obecný, ozimý	11,6	KZ



Obr. 3. Umístění polí 11-13 vzorkovaných na podzim; zdroj: Google Earth (2023)



Obr. 4. Umístění polí 14-16 vzorkovaných na podzim; zdroj: Google Earth (2023)

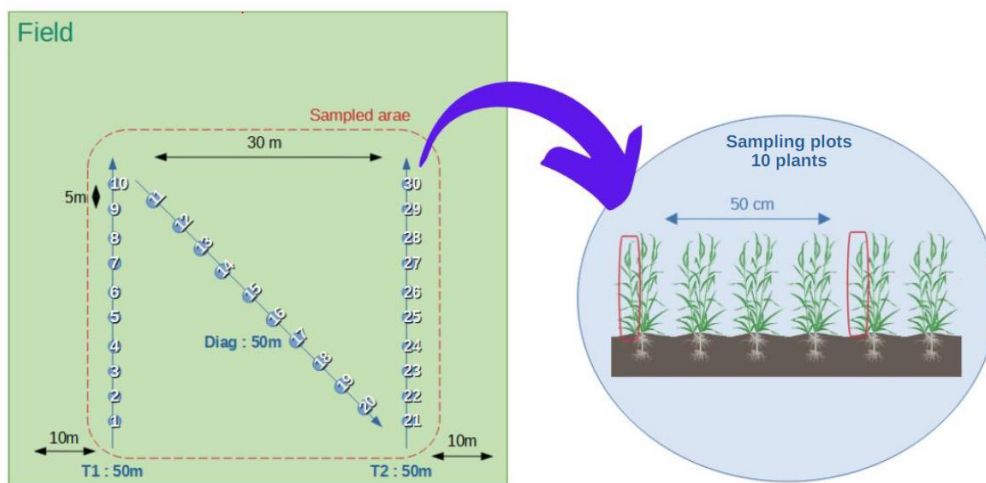


Obr. 5. Umístění polí 17-19 vzorkovaných na podzim; zdroj: Google Earth (2023)

4.2 Sběr dat

Sběr vzorků se uskutečnil na jaře a na podzim roku 2022. Na jaře probíhal každých 10 dnů (od května do července) na 9 polích- 7 z nich v blízkosti VÚRV v Ruzyni a 2 pole v Odoleně Vodě. Pole v Odoleně Vodě byla navštívena dohromady 7x a pole VÚRV 5x. Na podzim vzorkování probíhalo na deseti polích pouze jednou, a to v týdnu od 25. do 27. října. Pole se nacházela v katastru Praha Vinoř, Praha Čakovice, Nový Dům, Lhota, Chyše a Praha Ruzyně.

Na každém poli probíhal sběr vzorků podle určeného schématu (Obr. 6).



Obr. 6. Vzorkovací oblast; zdroj: Jego (2022)

Na každém vzorkovacím místě 1 až 30 se náhodně vybralo 10 rostlin (celkem 300 na poli). Mezi vzorkovacími místy byla vždy vzdálenost 5 m. Vzorkovací místo mělo okruh 50 cm, z kterého byly sbírané vzorky. Z každé rostliny se spočítaly a sesbíraly všechny mšice (larvy, bezkřídlí i okřídlení dospělci) a mumifikované mšice. Identifikace mšic probíhala na základě morfologických znaků (tvar, barva a další specifické znaky). Vše se zapisovalo do záznamového archu. Odběr se prováděl odstřihnutím části rostliny, na které byly pozorované mšice a mumifikované mšice. Mšice se dávaly po druzích do odběrových zkumavek typu Falcon. Pro každý druh se použily 4 různé zkumavky: jedna pro *S. avenae*, jedna pro *R. padi* a jedna pro *M. dirhodum*. Případně jedna navíc pro jiný druh. Zkumavky se označily lihovým fixem: druh mšice_ číslo pole (např. RP_1). Mumie se vkládaly taktéž do odběrových zkumavek. Označeny byly: číslo pole_ číslo vzorkovacího místa_ číslo rostliny (např. 1_10_5).

4.2.1 Třídění v laboratoři, uchování vzorků a identifikace

4.2.1.1 Uchování mšic

V laboratoři jsme si předpěstovali do květináčů pšenici setou (zasetou 5 dní předem, 2-6 cm vysokou). Připravili jsme si plastové izolátory a chovné klece. Každé pole mělo jednu chovnou klec se třemi květináči pro každý druh mšic a třemi izolátory. Po příchodu z pole jsme z odběrových zkumavek postupně vyndali pomocí pinzet a štětečků mšice a přemístili je na vzešlé rostliny pšenice. Každý květináč se označil: číslo pole_ druh mšice (např. 1_RP). Na rostliny se nasadily plastové izolátory, aby se omezil volný pohyb mšic z jedné rostliny na druhou. Květináče z jednoho pole se umístily do chovných klecí. Jedna klec tedy obsahovala 3 květináče (pokud byly na poli nalezeny 3 druhy mšic). Chovné klece s mšicemi byly uchovávány v laboratoři při pokojové teplotě.

Chovné klece se pravidelně kontrolovaly, jestli nedošlo k mumifikaci odebraných mšic. Při zjištění výskytu mumií jsme odstříhli kus rostliny s mumií. Identifikovali jsme je na základě binokulárního pozorování jejich tvaru a barvy, tykadel, nohou a sifunkul. Mumie se vložila do celulozové tobolky (velikosti 1 cm) a označila: číslo pole_ číslo mumie_ den odebrání_ den zakuklení (např. 8_7_26.5.22_1.6.22). Údaje jsme zapsali do záznamového archu. Tobolky byly vloženy do klimatické komory (teplota mezi 17 °C a 20 °C, 70% RV).

Předpokládali jsme, že mšice se v případě napadení parazitoidem zakuklí do dvanácti dnů (Sullivan 1987). Chovné klece se proto likvidovaly za 12 dnů.

4.2.1.2 Uchování mumií

Po příchodu z pole se mumifikované mšice identifikovaly na základě jejich tvaru a barvy, tykadel, nohou a sifunkul v binokulární lupě značky Leica MS5 s rozsahem zvětšení: 3,15× – 18,9×. U některých odebraných mumií se parazitoidi mohli vylíhnout ještě před odběrem vzorků v poli. V tomto případě je vidět díra v mumii. U těchto mumií jsme určili druh mšice a do monitorovacího formuláře poznamenali: prázdný. Plné mumie se vložily do celulozové tobolky (č. 0), ZIP sáčků a papírkem označily: číslo pole_ číslo mumie_ den odebrání (např. 3_1_20.5.22). Sáčky se neuzavíraly, aby mohlo dojít k vývoji parazitoidea. Údaje se zapsaly do záznamového archu. Tobolky se vložily do klimatické komory (teplota mezi 17 °C a 20 °C, 70% RV).

Mumifikované mšice jsme chodili pravidelně kontrolovat. Jakmile došlo k vylíhnutí parazitoida a parazitoid byl ještě živý, vložili jsme vzorek do mrazáku, aby došlo k rychlému usmrcení. Po usmrcení jsme parazitoida společně s prázdnou mumii vložili do mikroskopické Eppendorf a zalili 96% etanolem pro pozdější identifikaci. Do zkumavky se vložil lísteček, kde bylo napsáno: země_ číslo pole_ číslo mumie_ den odebrání a druh mšice (např. CZ_3_1_20.5.22 MD) a uzavřel se víčkem. Zkumavka tak obsahovala prázdnou mumii, parazitoida, lísteček pro identifikaci a etanol. Mikroskopické zkumavky jsme uložili do krabičky pro mikroskopické zkumavky (velikost 9 x 9) s označením: Parazitoidi. Do záznamového archu jsme zapsali den vylíhnutí.

U mumii, ze kterých se 4 týdny od odebrání z pole nevylíhl žádný parazitoid, byla provedena pitva za účelem kontroly stavu parazitoida (mrtvý, vyvinutý, diapauzující larva,...). Vypreparované mumie a jejich obsah byl vložen do mikroskopické Eppendorf, zalit 96% etanolem a označen: země_ číslo pole_ číslo mumie_ den odebrání mšice, druh mšice a datum pitvy (např. 3_1_20.5.22 MD 30.9.22). Mikroskopické zkumavky jsme uložili do krabičky pro mikroskopické zkumavky (velikost 9 x 9) s označením: Pitvané. Vše jsme zapsali do záznamového archu.

4.2.1.3 Identifikace

Před identifikací parazitoidů jsme pořídili snímky detailů morfologie dospělců a mumii. Snímky byly pořízeny a korigovány digitálním mikroskopem HIROX (RH-2000). Identifikace proběhla pomocí determinálního klíče. Výsledky jsme zapsali do záznamového archu.

Primární parazitoidi byli identifikováni na úrovni druhu a hyperparazitoidi byli identifikováni na úroveň rodu (Hullé et al. 2020).

4.3 Analýza dat

Všechny analýzy byly provedeny pomocí softwaru RStudio (verze 4.2.2 (R Development Core Team, 2021)). Pro statistické hodnocení jsme použili balíčky:

- „dplyr“ verze 1.1.0 (Wickham et al. 2023)
- „MASS“ verze 7.4-58.1 (Venables & Ripley 2002)
- „car“ verze 3.1.-1 (Fox & Weisberg 2019)
- „emmeans“ verze 1.8.4-1 (Lenth 2023)
- „bipartite“ verze 2.18 (Dormann et al. 2009)

Pro tvorbu specifických grafů jsme použili balíčky:

- „ggeffects“ verze 1.2.0 (Lüdtke 2018)
- „ggplot2“ verze 3.4.1 (Wickham 2016)

4.3.1 Celková abundance mšic

Abundance mšic byla analyzována s využitím zobecněných lineárních modelů (GLM) s negativně binomickým rozložením (balíček „MASS“). Tento postup byl zvolen vzhledem k charakteru dat (celá kladná čísla, rozložení tedy není normální). Vstupní data byla tvořena počty mšic určených do druhu pro každé pole a termín odběru. V rámci analýzy jsme se

soustředili na následující proměnné potenciálně ovlivňující abundanci mšic: sledována z hlediska druhu, čísla pole, Juliánských dnů, režimu pěstování a plodiny. Významnost každé proměnné zastoupené v modelech byla následně testována funkcí Anova (balíček „car“) na základě Likelihood-ratio Chi-kvadrát testovacího kritéria na hladině $\alpha = 0,05$. Odhady průměrů pro jednotlivé kategorie spolu s konfidenčními intervaly byly vypočítány pomocí funkce emmeans (balíček „emmeans“), a rozdíly mezi kategoriemi pak pomocí funkce pwp (balíček „emmeans“).

4.3.2 Celková míra parazitace

Míra parazitace mšic byla analyzována pomocí GLM s quasibinomickým rozdělením. Model byl zvolen vzhledem k charakteru dat, kdy byl znám počet parazitovaných a neparazitovaných mšic, což umožnilo analýzu relativní parazitace. Quasi-funkce byla použita za účelem ošetření tzv. „overdispersion“ dat (Brabec a Pekár 2020). V rámci analýzy jsme se soustředili na následující proměnné potenciálně ovlivňující parazitaci mšic: sledována z hlediska Juliánských dnů, počtu mšic, režimu pěstování a plodiny. Významnost proměnných, párová porovnání i odhad průměrů spolu s konfidenčními intervaly byly stanoveny analogicky, jako bylo uvedeno výše pro abundanci mšic.

4.3.3 Vytvoření potravních sítí

Pro zjištění interakcí mezi trofickými úrovněmi jsme vytvořili potravní síť. Potravní síť znázorňuje trofické interakce vyskytující se mezi druhy v rámci ekologických společenství. Je to nástroj ke studiu ekologie společenstev a ekosystémů (Thompson et al. 2012). Kvantitativní grafické znázornění potravních sítí mšic a parazitoidů bylo vytvořeno na základě identifikace mumií mšic a z nich vylíhlých parazitoidů. Použili jsme balíček „bipartite“. Potravní síť byly vytvořeny na základě vztahu parazitoidů a mšic, jednotlivých polí, režimu pěstování, 4 období sběru (1. perioda 3. 5.-13. 5. 2022, 2. perioda 20. 5.-3. 6. 2022, 3. perioda 10. 6.-16. 6. 2022, 4. perioda 23. 6.-8. 7. 2022) a vztahu mšic a hyperparazitoidů. Nemohli jsme vytvořit vztah parazitoida a hyperparazitoida, protože nebylo možné určit primárního parazitoida, kterého hyperparazitoid napadl.

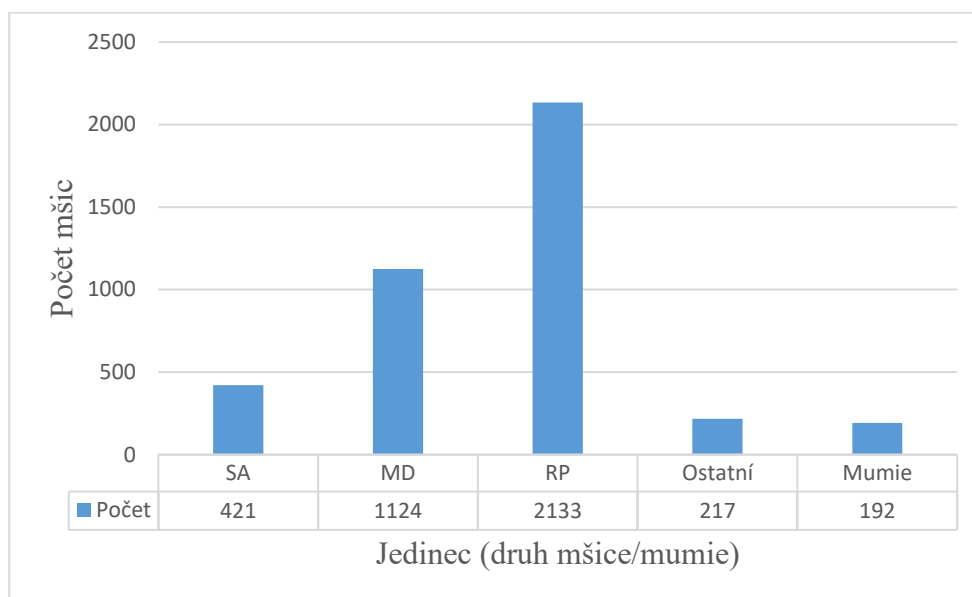
K popisu struktury potravních sítí jsme použili ukazatele v souladu s Tougeron et al. (2018):

- Connectance (propojenost), který značí podíl možných vazeb v potravní síti a vypočítává se jako kvantitativní hustota vazeb dělená počtem druhů v síti
- Web Asymmetry (souměrnost sítě), který představuje rovnováhu mezi počty druhů parazitoidů a mšic (záporné hodnoty znamenají více druhů ve vyšších než na nižší trofické úrovni)
- index H2 označuje úroveň specializace v rámci sítě (0= žádná specializace až 1= dokonalá specializace)
- Generality (obecnost) je průměrný počet druhů mšic na druh parazitoida
- Vulnerability (zranitelnost/náchylnost) je průměrný počet parazitoidů na dané druhy mšic.

5 Výsledky

5.1 Abundance mšic jarních sběrů

Při jarních sběrech se na sledovaných polích abundance různých druhů mšic lišila. Nasbírali jsme celkem 421 jedinců *S. avenae*, 1124 jedinců *M. dirhodum*, 2133 jedinců *R. padi* a 217 jedinců ostatních druhů (většinou brvnatku pestrou (*Sypha elegans*)) (Obr. 7). Tento rozdíl byl statisticky významný ($p \ll 0,0001$) (Tab. 5, Obr. 8). Na polích jsme dále našli celkem 192 mumií mšic (Obr. 7).



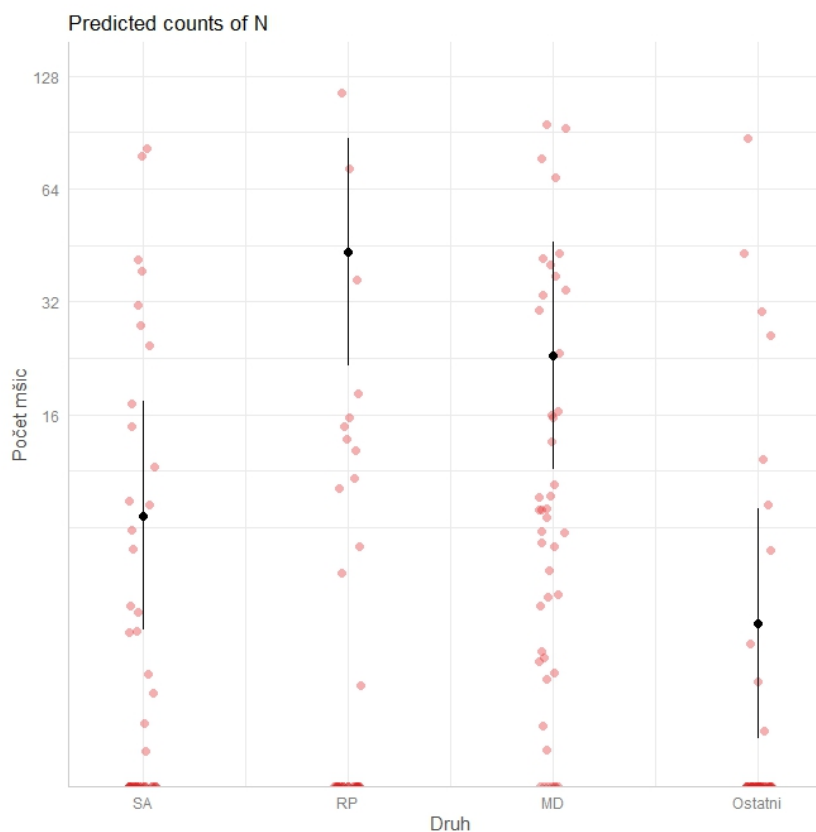
Obr. 7. Celkový počet mšic a mumií ze všech sledovaných polí

Pozn.: SA: *S. avenae*; MD: *M. dirhodum*; RP: *R. padi*

Tab. 5. Analýza faktorů ovlivňujících abundanci mšic (glm negativně binomické rozdělení)

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Druh mšic			
Druh	22,0800	3	<<0,0001
Druh vs. Juliánský den			
Druh	39,5770	3	<<0,0001
Juliánský den	18,5500	1	<<0,0001
Druh: Juliánský den	5,7430	3	0,1248
Druh vs. Režim pěstování			
Druh	16,8949	3	0,0007
Režim pěstování	5,1987	1	0,0226
Druh: Režim pěstování	14,3474	3	0,0025
Druh vs. Plodina			
Druh	20,7880	3	0,0001
Plodina	29,4780	3	<<0,0001
Druh: Plodina	45,1100	9	<<0,0001

Pozn.: Statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou zvýrazněny tučně.



Obr. 8. Grafické znázornění faktoru „Druh mšic“ ovlivňující abundanci mšic

Pozn.: SA: *S. avenae*; RP: *R. padi*; MD: *M. dirhodum*; osa y je na logaritmickém měřítku; úsečky značí konfidenční intervaly; tmavé body průměrné hodnoty; světlé body skutečné hodnoty.

Tabulka 6 ukazuje konkrétní rozdíly v abundanci mezi druhy mšic napříč všemi poli. Nejhojnějším druhem bylo *R. padi*, kterého bylo nalezeno průkazně více než *S. avenae* (5,07x) a skupiny ostatních druhů (9,83x). *M. dirhodum* bylo na poli zastoupeno průkazně více než skupiny ostatních druhů (5,18x). Ostatní dvojice druhů se vzhledem k početnosti průkazně nelišily.

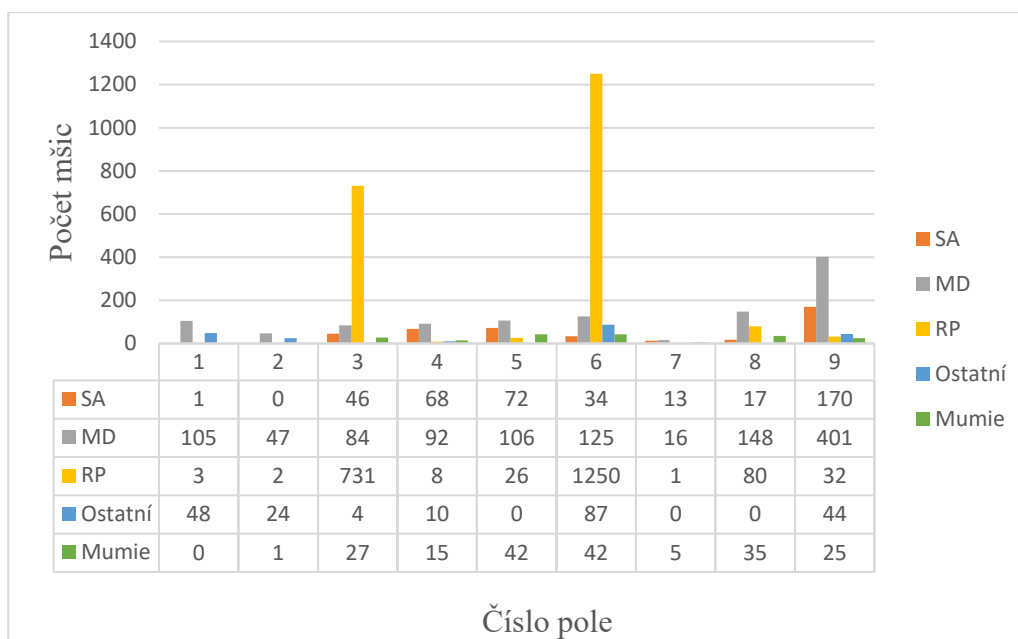
Tab. 6. Rozdíly v abundanci mezi druhy mšic na všech polích

	MD	Ostatní	RP	SA
MD	[22,94]	0,0067	0,5817	0,2111
Ostatní	5,18	[4,43]	<0,0001	0,5628
RP	0,53	0,1	[43,53]	0,0073
SA	2,67	0,52	5,07	[8,59]

Pozn.: Popisky řádků a sloupců: Druhy mšic (MD: *M. dirhodum*; RP: *R. padi*; SA: *S. avenae*); horní trojúhelník: p hodnoty; uhlopříčka: průměrné hodnoty; dolní trojúhelník: relativní poměr; statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou zvýrazněny tučně.

Obrázek 9 znázorňuje počet mumií a mšic na polích. Abundance mšic se mezi sledovanými poli lišila, stejně tak se lišilo zastoupení jednotlivých druhů mšic. Nejvíce *S. avenae* jsme našli na poli 9 v počtu 170 jedinců. Na poli 9 se vyskytovalo také nejvíce *M. dirhodum* v počtu 401 jedinců. *R. padi* bylo nalezeno v počtu 1250 jedinců na poli 6 společně

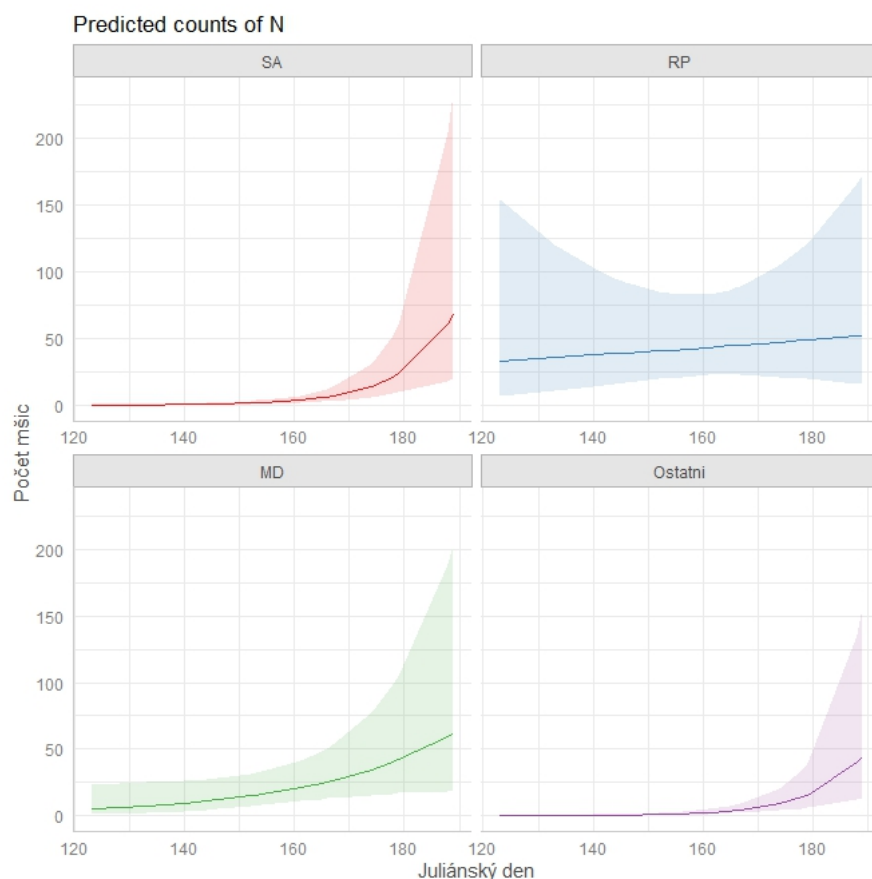
s ostatními druhy (87 jedinců). Na poli 1 nebyly nalezeny žádné mumie. Pro pole 5 a 6 je společný stejný počet nalezených mumií (42 jedinců).



Obr. 9. Celkový počet mšic a mumií na polích

Pozn.: SA: *S. avenae*; MD: *M. dirhodum*; RP: *R. padi*

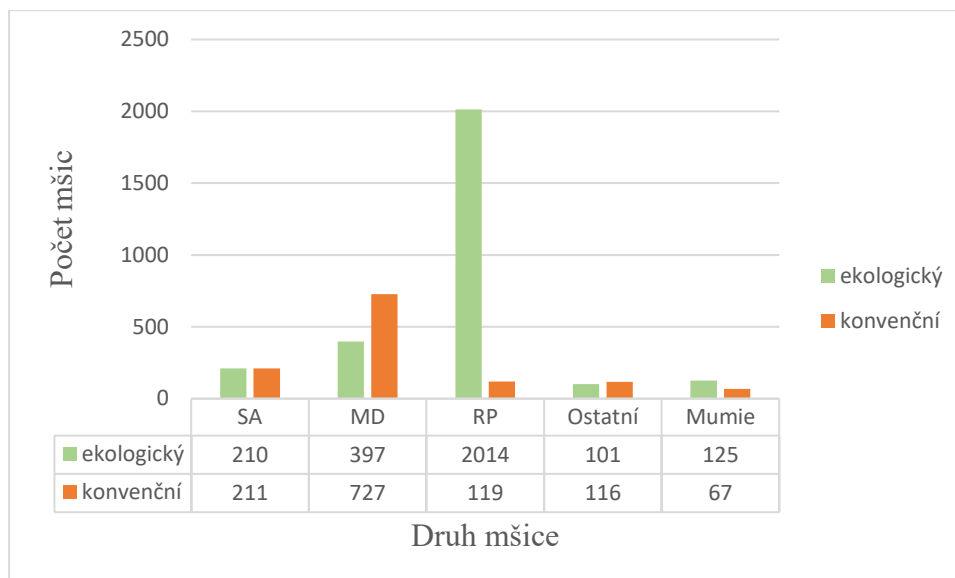
Abundance mšic se měnila během sezóny. *R. padi* jsme na poli našli jako první a během sezóny si tento druh udržoval zhruba konstantní početnost. Ostatní druhy na pole naletěly později a jejich abundance v rámci sezóny postupně rostla (Obr. 10). Tyto rozdíly v trendech v čase však nebyly statisticky průkazné (Tab. 5).



Obr. 10. Grafické znázornění faktorů „Druh mšice“ a „Juliánský den“ ovlivňující abundanci mšic

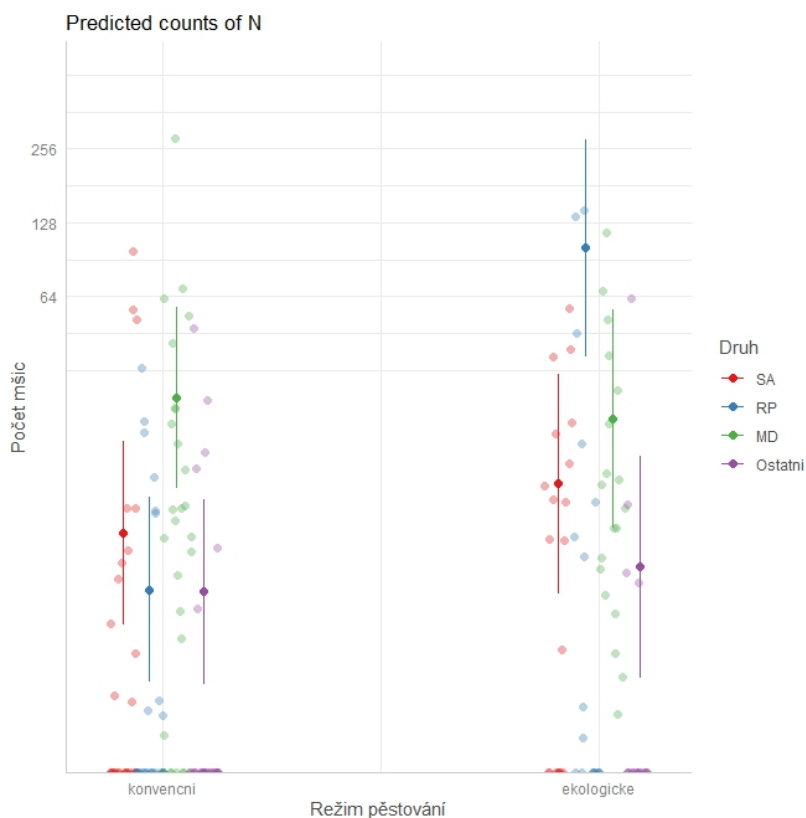
Pozn.: Druhy mšic jsou rozděleny do čtyřech oblastí (SA: *S. avenae* vlevo nahoře; MD: *M. dirhodum* vlevo dole; RP: *R. padi* vpravo nahoře, ostatní druhy vpravo dole).

Abundance mšic se mezi režimy pěstování lišila. Na polích v ekologickém režimu pěstování se nejvíce vyskytoval druh *R. padi* (2014 jedinců). Zároveň jsme tam našli 2x tolik mumií mšic než na konvenčním. Pole v konvenčním režimu byla nejvíce napadena *M. dirhodum* s počtem 727 jedinců (Obr. 11). Interakce mezi druhem mšic a režimem pěstování byla tudíž statisticky významná ($p=0,0025$). Režim pěstování souvisel s rozdílným zastoupením druhů mšic (Tab.3, Obr. 12).



Obr. 11. Celkový počet mumií a mšic podle režimu pěstování

Pozn.: SA, *S. avenae*; MD, *M. dirhodum*; RP, *R. padi*



Obr. 12. Grafické znázornění faktoru „Režim pěstování“ ovlivňující abundanci mšic

Pozn.: SA: *S. avenae*; RP: *R. padi*; MD: *M. dirhodum*; osa y je na logaritmickém měřítku; úsečky značí konfidenční intervaly, tmavé body průměrné hodnoty, světlé body značí skutečné hodnoty.

Tabulka 7 znázorňuje konkrétní rozdíly v abundanci mezi druhy mšic na poli ekologického režimu pěstování. Druhu *R. padi* bylo průkazně více než skupiny ostatních druhů mšic (20,07x) a průkazně více než *S. avenae* (9,16x). Ostatní dvojice druhů se vzhledem k početnosti průkazně nelišily.

Na poli konvenčního režimu pěstování bylo *M. dirhodum* průkazně více než skupiny ostatních druhů (6,18x) a průkazně více než *R. padi* (6,08x). Ostatní dvojice druhů se vzhledem k početnosti průkazně nelišily (Tab. 8).

Tab. 7. Rozdíly v abundanci mezi druhy mšic v režimu ekologického hospodaření

	MD	Ostatní	RP	SA
MD	[20,35]	0,2418	0,1338	0,8409
Ostatní	4,03	[5,05]	0,0003	0,7249
RP	0,2	0,05	[100,75]	0,0149
SA	1,85	0,46	9,16	[11]

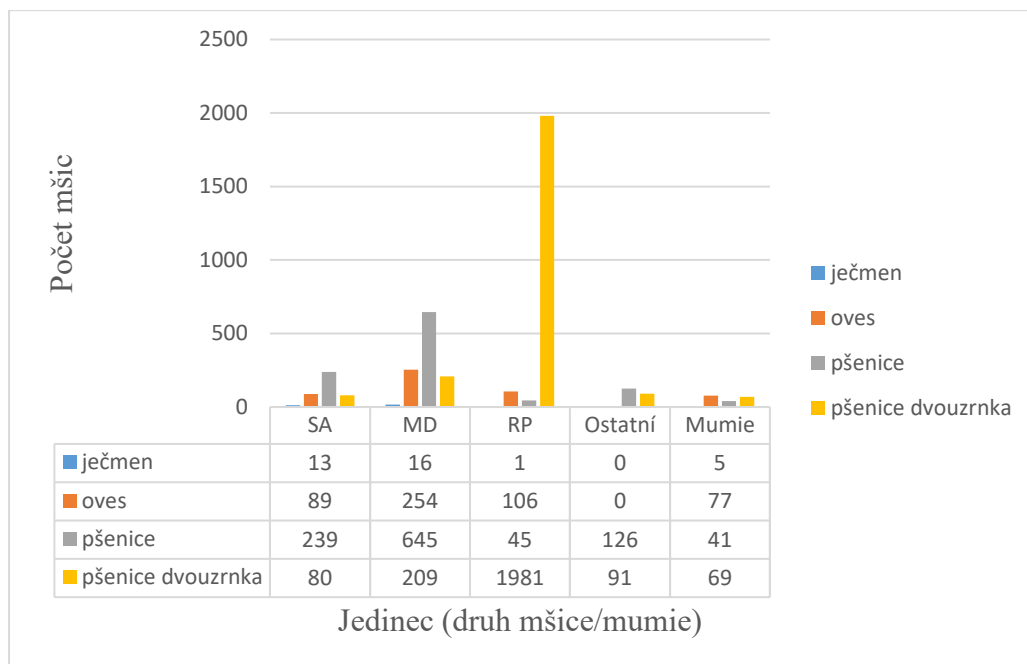
Pozn.: Popisky řádků a sloupců: Druhy mšic (MD, *M. dirhodum*; RP: *R. padi*; SA: *S. avenae*); horní trojúhelník: p hodnoty; uhlopříčka: průměrné hodnoty; dolní trojúhelník: relativní poměr; statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou zvýrazněny tučně.

Tab. 8. Rozdíly v abundanci mezi druhy mšic v režimu konvenčního hospodaření

	MD	Ostatní	RP	SA
MD	[24,72]	0,0176	0,0191	0,1669
Ostatní	6,18	[4]	1	0,8145
RP	6,08	0,98	[4,07]	0,8283
SA	3,57	0,58	0,59	[6,93]

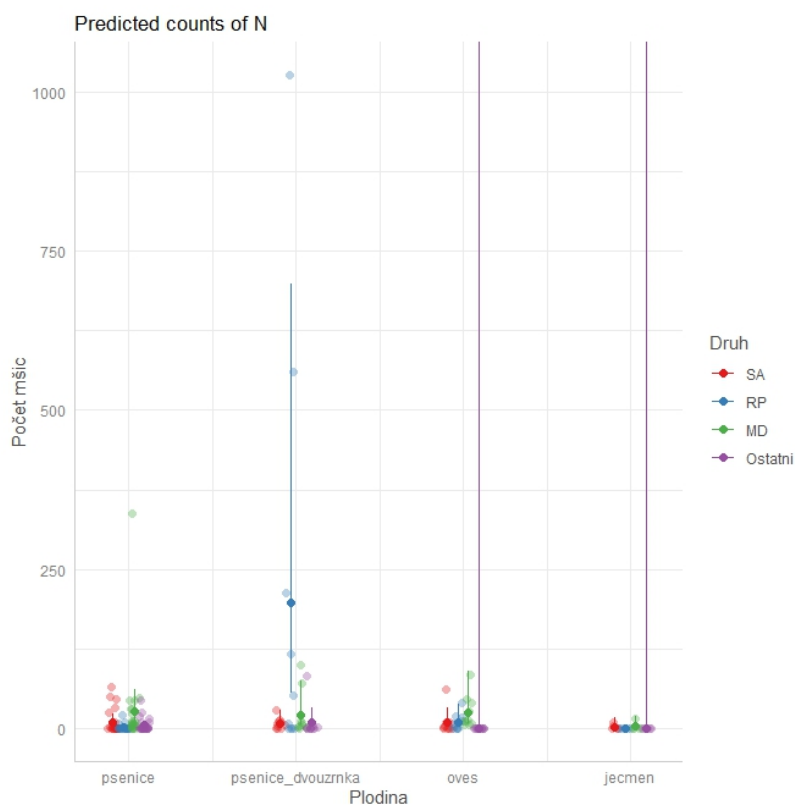
Pozn.: Popisky řádků a sloupců: Druhy mšic (MD, *M. dirhodum*; RP, *R. padi*; SA, *S. avenae*); horní trojúhelník: p hodnoty; uhlopříčka: průměrné hodnoty; dolní trojúhelník: relativní poměr; statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou zvýrazněny tučně.

Při sběru mšic na ječmeni, ovsu a pšenici se abundance mšic lišila. Nalezli jsme nejvíce *M. dirhodum*. Na pšenici se také nacházelo nejvíce *M. dirhodum* ze všech 4 plodin (645 jedinců). Pšenice dvouzrnka byla z hlediska napadení mšic nejcitlivější. Celkový počet mšic byl na ní 2 361 jedinců. *R. padi* s počtem 1981 jedinců byl nejhojnějším druhem. Největší počet mumií jsme našli na ovsu (77 jedinců) (Obr. 13). Druh plodiny měl význam pro druhové složení mšic na polích (Tab. 3). Interakce mezi druhem mšic a plodinou byla statisticky významná ($p < 0,0001$) (Tab. 3). Obrázek 14 znázorňuje graficky rozdíly v abundanci mšic podle faktoru „Plodina“.



Obr. 13. Celkový počet mšic a mumií na plodinách

Pozn.: SA: *S. avenae*; MD: *M. dirhodum*; RP: *R. padi*

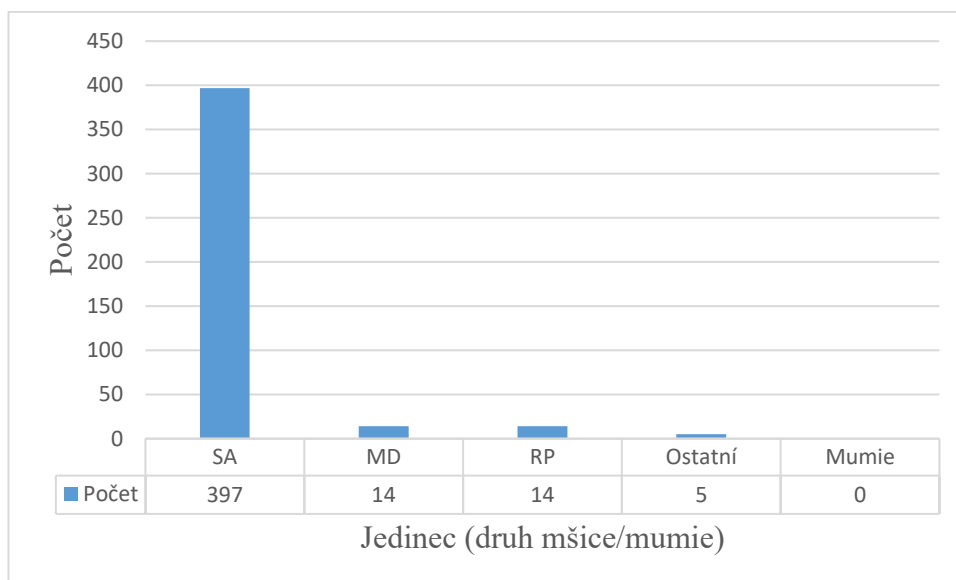


Obr. 14. Grafické znázornění faktoru „Plodina“ ovlivňující abundanci mšic

Pozn.: SA: *S. avenae*; RP: *R. padi*; MD: *M. dirhodum*; úsečky značí konfidenční intervaly, tmavé body průměrné hodnoty, světlé body značí skutečné hodnoty; velké rozpětí konfidenčního intervalu ovsa a ječmene pro ostatní druhy mšic představuje artefakt modelu z důvodu absence jedinců ostatních druhů v těchto variantách.

5.2 Abundance mšic podzimního sběru

Na podzim jsme na polích našli nerovnoměrné zastoupení druhů mšic. *S. avenae* byl nejhojnější druh s počtem 397 jedinců, další druhy se na poli nacházely v počtu 14 jedinců (*M. dirhodum* a *R. padi*), ostatní druhy v počtu 5 jedinců (Obr. 15). Tento rozdíl byl statisticky významný ($p < 0,0001$) (Tab. 9, Obr. 16).



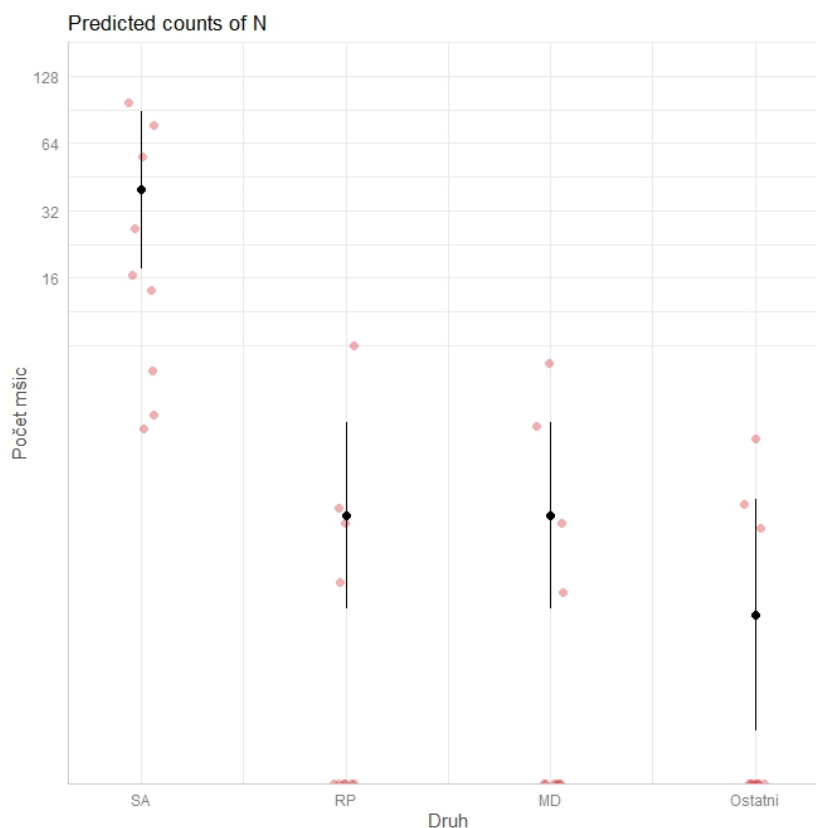
Obr. 15. Celkový počet mšic a mumii ze všech sledovaných polí

Pozn.: SA: *S. avenae*; MD: *M. dirhodum*; RP: *R. padi*

Tab. 9. Analýza faktorů ovlivňující abundanci mšic (glm negativně binomické rozdělení)

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Druh mšic			
Druh	60,8940	3	<<0,0001
Druh vs. Plodina			
Druh	77,0780	3	<<0,0001
Plodina	3,3640	1	0,0666
Druh: Plodina	3,2930	3	0,3487

Pozn.: Statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou zvýrazněny tučně.



Obr. 16. Grafické znázornění faktoru druhu ovlivňující abundanci mšic

Pozn.: SA: *S. avenae*; RP: *R. padi*; MD: *M. dirhodum*; osa y je na logaritmickém měřítku; úsečky značí konfidenční intervaly; tmavé body průměrné hodnoty; světlé body značí skutečné hodnoty.

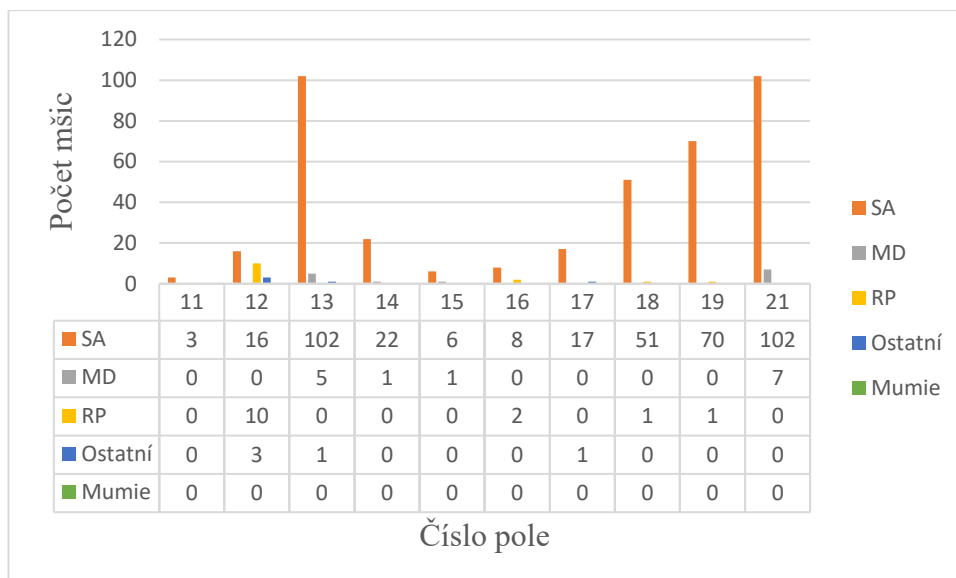
Tabulka 10 znázorňuje konkrétní rozdíly v abundanci mezi druhy mšic napříč všemi poli z podzimních sběrů. Tabulka potvrzuje, že nejzastoupenějším druhem na podzim byl druh *S. avenae*, kterého bylo průkazně více než *M. dirhodum* (28,36x), průkazně více než skupiny ostatních druhů (79,4x) a průkazně více než druhu *R. padi* (28,36x). Ostatní dvojice druhů se vzhledem k početnosti průkazně nelišily.

Tab. 10. Rozdíly v abundanci mezi druhy mšic

	MD	Ostatní	RP	SA
MD	[1,4]	0,5498	1	<0,0001
Ostatní	2,8	[0,5]	0,5498	<0,0001
RP	1	0,36	[1,4]	<0,0001
SA	0,04	0,01	0,04	[39,7]

Pozn.: Popisky řádků a sloupců: Druhy mšic (MD, *M. dirhodum*; RP, *R. padi*); SA, *S. avenae*); horní trojúhelník: p hodnoty; uhlopříčka: průměrné hodnoty; dolní trojúhelník: relativní poměr; statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou zvýrazněny tučně.

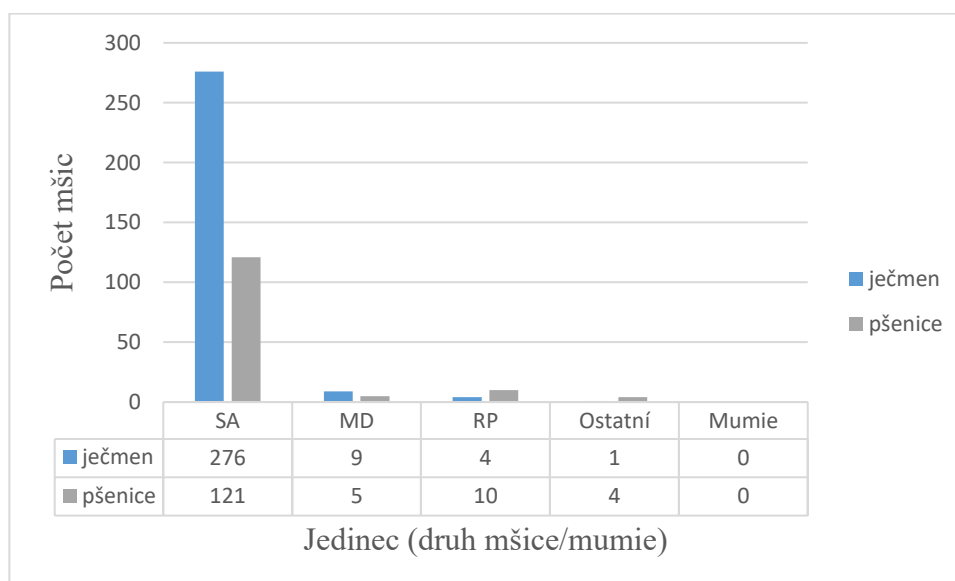
Abundance mšic se mezi sledovanými poli lišila, stejně tak se lišilo zastoupení jednotlivých druhů mšic. Nejvíce mšic jsme našli na poli 13 (108 jedinců) a na poli 21 (109 jedinců). Převažoval druh *S. avenae*. Ostatní druhy se nacházely na polích 12, 13 a 17. Nejméně napadeným polem bylo pole 11 (14 jedinců) (Obr. 17).



Obr. 17. Celkový počet mšic a mumií na polích

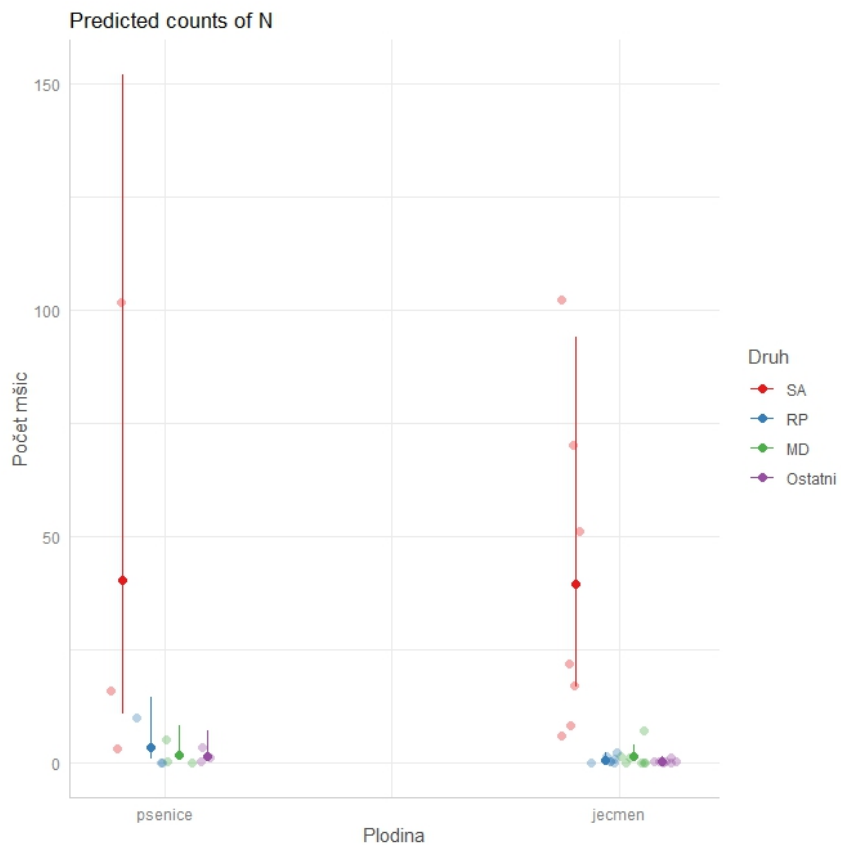
Pozn.: SA: *S. avenae*; MD: *M. dirhodum*; RP: *R. padi*

Oba druhy plodin (ječmen a pšenice) napadl v největším počtu *S. avenae*. Na ječmeni bylo 276 jedinců a na pšenici 121 jedinců (Obr. 18). Ostatní druhy byly na plodinách v omezené míře. Interakce mezi druhem mšic a plodinou však nebyla statisticky významná ($p=0,3487$) (Tab. 7, Obr. 19).



Obr. 18. Celkový počet mšic a mumií na plodinách

Pozn.: SA: *S. avenae*; MD: *M. dirhodum*; RP: *R. padi*



Obr. 19. Grafické znázornění faktoru „Plodina“ ovlivňující abundanci mšic
 Pozn.: Úsečky značí konfidenční intervaly, tmavé body průměrné hodnoty, světlé body značí skutečné hodnoty.

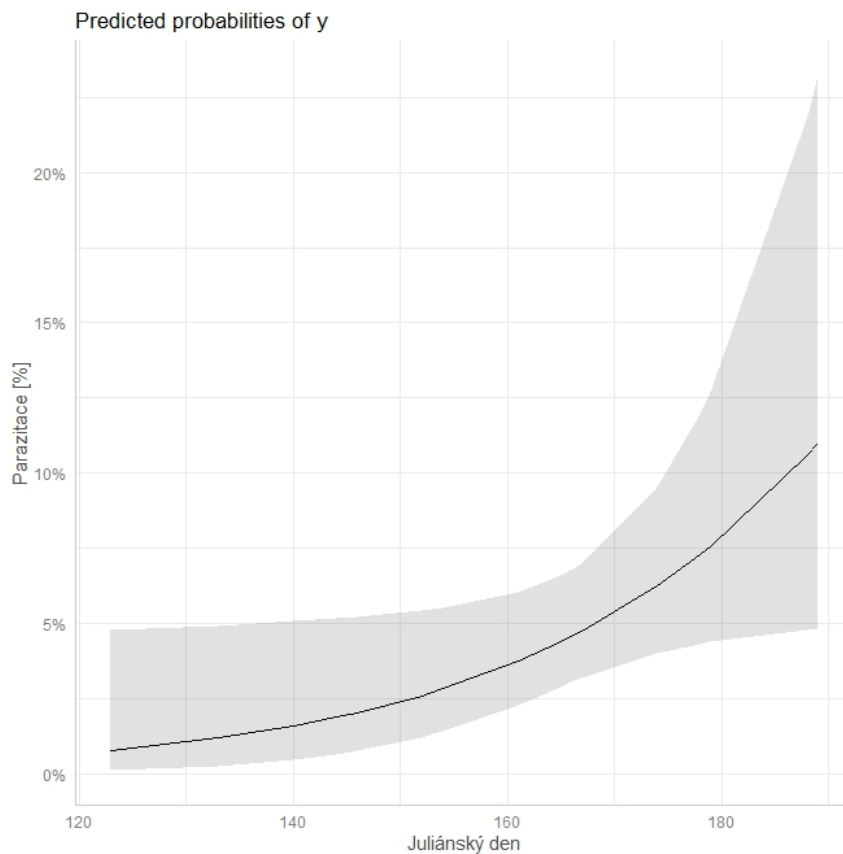
5.3 Míra parazitace

Míra parazitace se postupně každým dnem sběru zvyšovala. Tento faktor byl statisticky významný ($p=0,0378$) (Tab. 11, Obr. 20). S narůstajícím počtem mšic se míra parazitace postupně snižovala. Faktor počtu mšic na míru parazitace je statisticky významný ($p=0,0063$) (Tab. 11, Obr. 21).

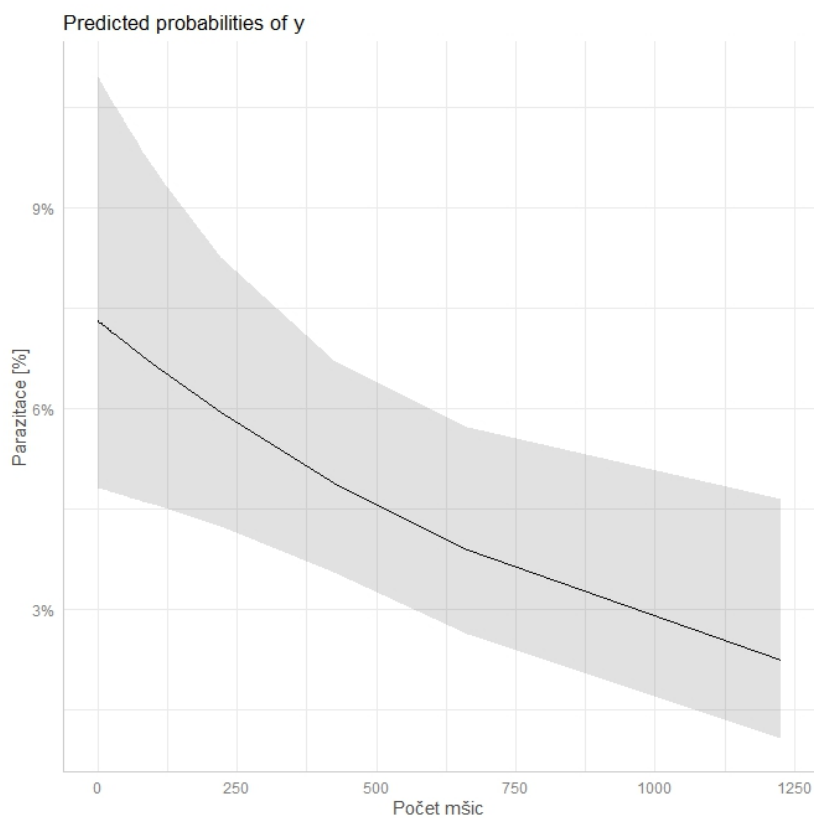
Tab. 11. Analýza faktorů ovlivňujících míru parazitace (glm negativně binomické rozdělení)

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Juliánský den			
Juliánský den	4,3135	1	0,0378
Mšice			
Mšice	7,4686	1	0,0063
Mšice vs. Juliánský den			
Mšice	5,7550	1	0,0164
Juliánský den	4,6051	1	0,0319
Mšice: Juliánský den	0,0218	1	0,8826
Režim pěstování			
Režim pěstování	0,2525	1	0,6153
Režim pěstování vs. Juliánský den			
Režim pěstování	0,0565	1	0,8121
Juliánský den	4,3796	1	0,0364
Režim pěstování: Juliánský den	0,8795	1	0,3483
Režim pěstování vs. Mšice			
Režim pěstování	0,5161	1	0,4725
Mšice	7,8079	1	0,0052
Režim pěstování: Mšice	0,7026	1	0,4019
Plodina			
Plodina	35,3890	3	<<0,0001
Plodina vs. Mšice			
Mšice	0,0831	3	0,7731
Plodina	27,5751	3	<<0,0001
Mšice: Plodina	7,0716	3	0,0697

Pozn.: Statisticky významné rozdíly ($p<0,05$) jsou zvýrazněny tučně.



Obr. 20. Grafické znázornění faktoru „Juliánský den“ ovlivňující parazitaci mšic



Obr. 21. Grafické znázornění faktoru „Mšice“ ovlivňující jejich parazitaci

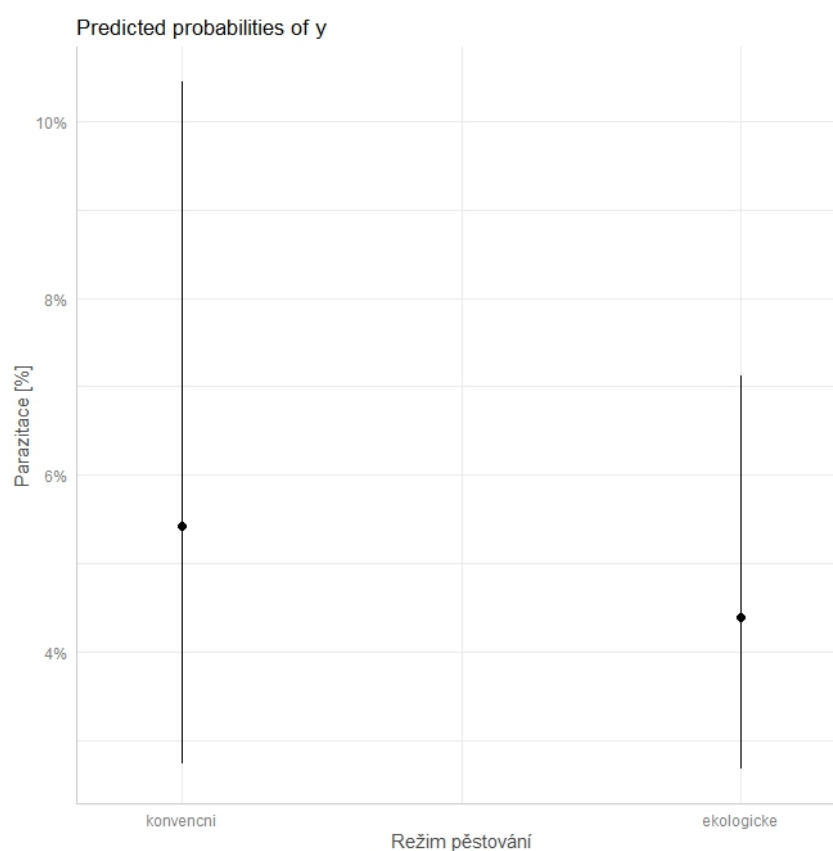
5.3.1 Vliv režimu pěstování na míru parazitace

Tabulka 12 znázorňuje rozdíly v parazitaci mšic na konvenčním a ekologickém poli. Průměrná míra parazitace na ekologickém poli byla 4,39 % a na konvenčním 5,42 %. Tento rozdíl nebyl statisticky významným faktorem ovlivňujícím parazitaci ($p=0,6153$) (Tab. 11, Obr. 22).

Tab. 12. Rozdíly v parazitaci mšic na dvou typech režimu pěstování

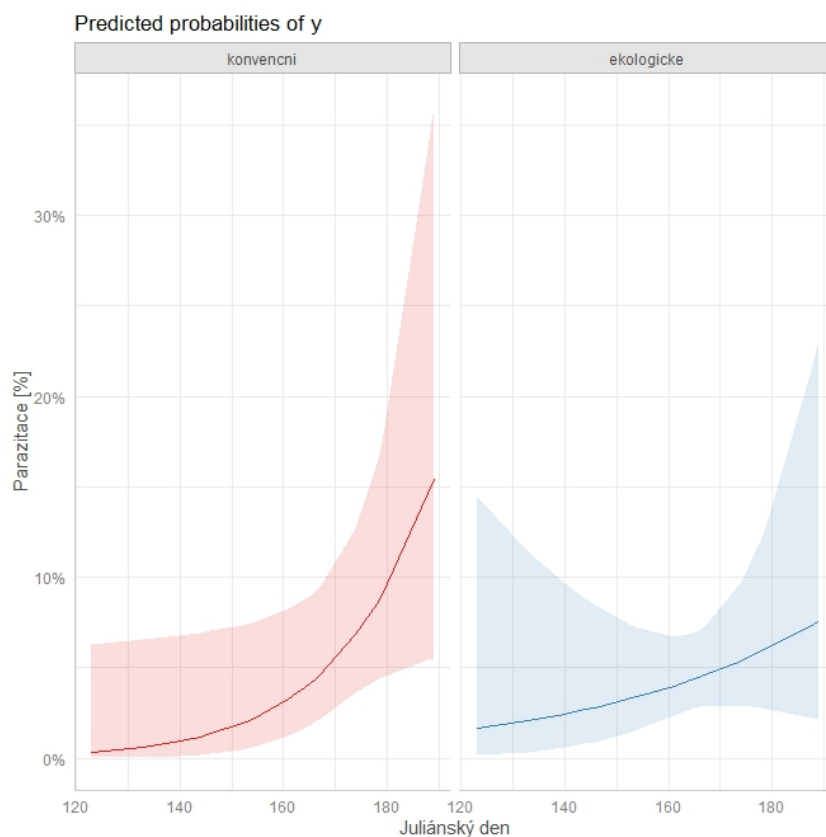
	ekologický	konvenční
ekologický	[0,04]	0,6114
konvenční	0,8	[0,05]

Pozn.: Horní trojúhelník: p hodnoty; uhlopříčka: průměrné hodnoty; dolní trojúhelník: relativní poměr; statisticky významné rozdíly ($p<0,05$) jsou zvýrazněny tučně.

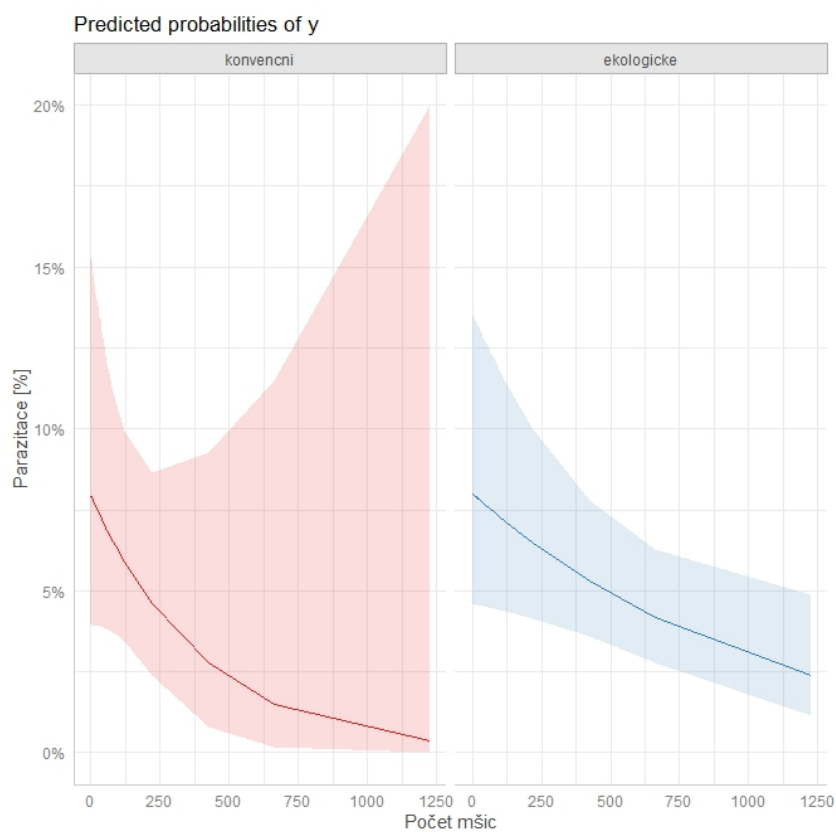


Obr. 22. Grafické znázornění faktoru „Režim pěstování“ ovlivňující parazitaci mšic
Pozn.: Úsečky značí konvenční intervaly, tmavé body pak průměrné hodnoty.

Během jara se v obou režimech pěstování míra parazitace zvyšovala (Obr. 23). Interakce mezi režimem pěstování a dnem sběru však nebyla statisticky významná ($p=0,3483$) (Tab. 11). V obou režimech pěstování se snižovala míra parazitace se zvýšeným počtem mšic na polích. Rozdíl v postupném snižování míry parazitace byl na obou typech polí statisticky nevýznamný (Tab. 11, Obr. 24).



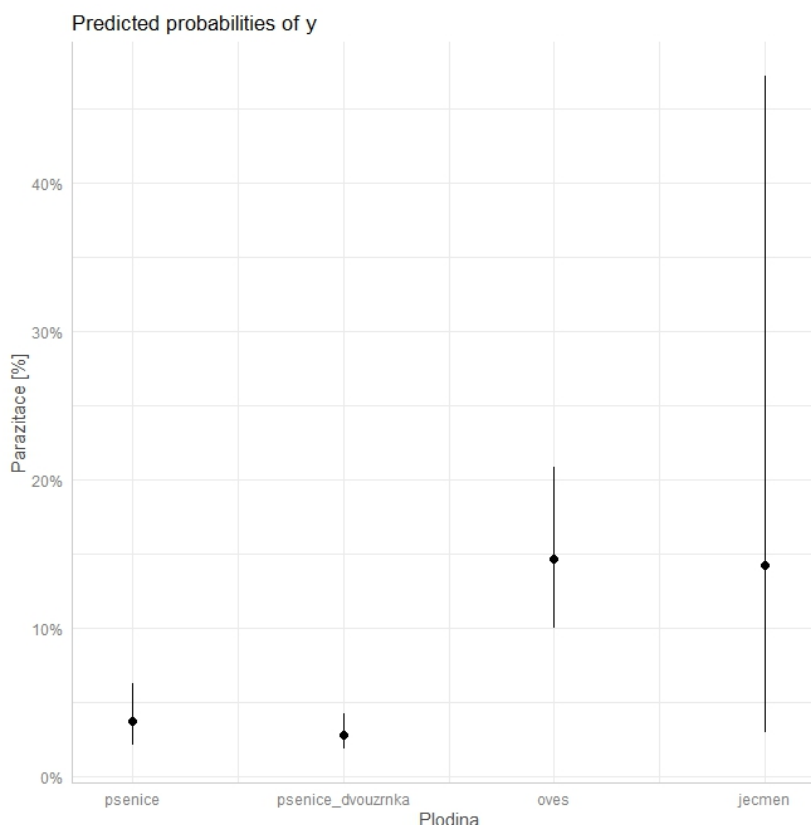
Obr. 23. Grafické znázornění interakce faktorů „Režim pěstování“ a „Juliánský den“ ovlivňující míru parazitace



Obr. 24. Grafické znázornění interakce faktorů „Režim pěstování“ a „Měsíce“ ovlivňující míru parazitace

5.3.2 Vliv plodiny na míru parazitace

Druh plodiny ovlivňoval míru parazitace. Mezi druhy plodin a mírou parazitace byly statisticky významné rozdíly ($p < 0,0001$) (Tab. 11). Ječmen společně s ovsem byly plodiny s nejvyšší mírou parazitací mšic (14 a 15 %). Mšice na pšenici a pšenici dvouzrnce byly parazitovány ze 3 %. Míra parazitace na ovsu byla průkazně vyšší než na pšenici (5,27x) a průkazně více než na pšenici dvouzrnce (5,49x). Ostatní dvojice plodin se vzhledem k míře parazitace průkazně nelišily (Tab. 13). Na obrázku 25 je tento faktor znázorněn graficky.



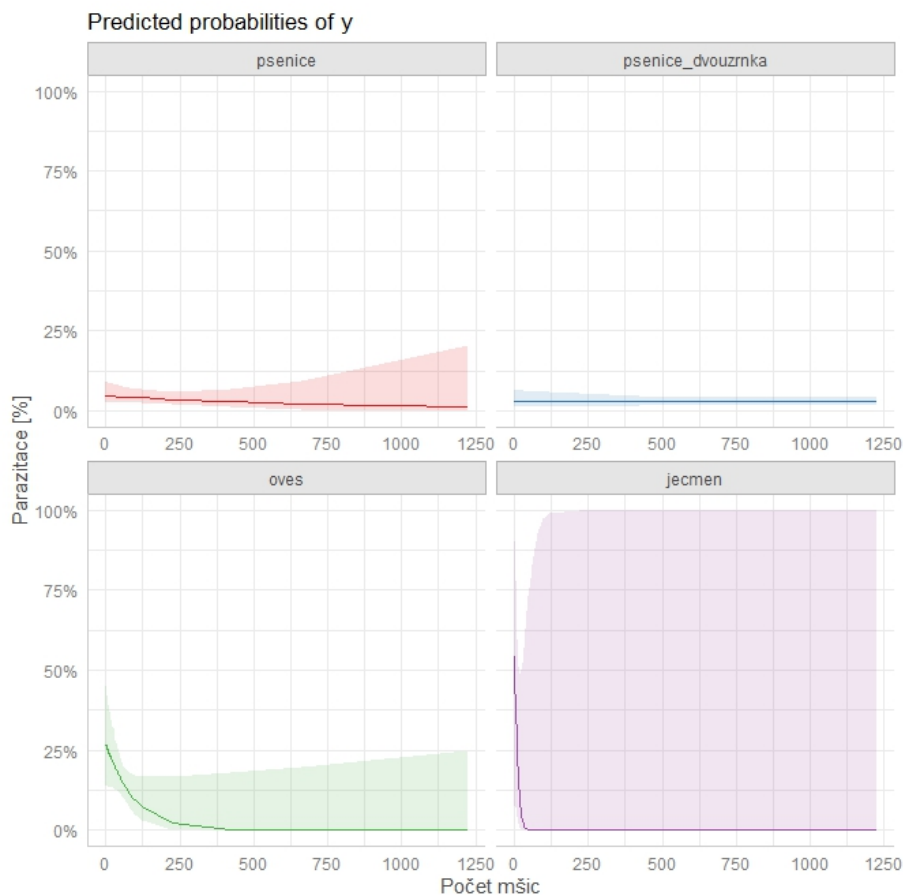
Obr. 25. Grafické znázornění faktoru „Plodina“ ovlivňující míru parazitace
Pozn.: Úsečky značí konfidenční intervaly, tmavé body pak průměrné hodnoty.

Tab. 13. Rozdíly v parazitaci mšic na plodinách

	ječmen	oves	pšenice	pšenice dvouzrnka
ječmen	[0,14]	1	0,2569	0,2781
oves	0,97	[0,15]	<0,0001	0,0002
pšenice	5,12	5,27	[0,03]	0,9996
pšenice dvouzrnka	5,34	5,49	1,04	[0,03]

Pozn.: Horní trojúhelník: p hodnoty; uhlopříčka: průměrné hodnoty; dolní trojúhelník: relativní poměr; statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) jsou zvýrazněny tučně.

Statisticky významné rozdíly byly mezi plodinami v míře parazitace se zvyšujícím se počtem mšic ($p=0,0005$). V pšenici, ovsu a ječmeni parazitace klesala, avšak nerovnoměrně. Pole s pšenicí dvouzrnkou si udržovala míru parazitace konzistentní i přes zvyšující se počet mšic (Tab. 11, Obr. 26).



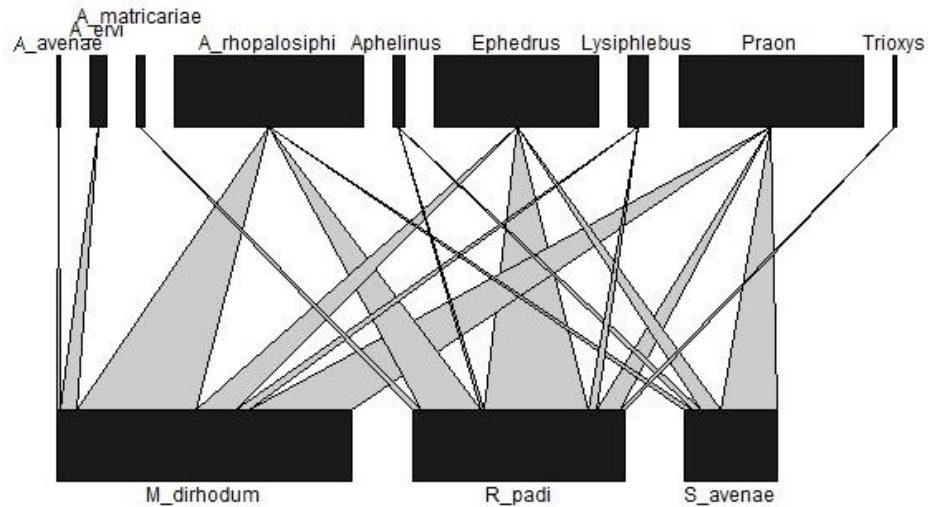
Obr. 26. Grafické znázornění interakce faktorů „Plodina“ a „Mšice“ ovlivňující míru parazitace

5.4 Potravní sítě primárních parazitoidů

5.4.1 Potravní sítě pro jednotlivá pole

Během odběru vzorků jsme na polích našli celkem 150 jedinců primárních parazitoidů (Tab. 25) patřících do rodů *Aphidius*, *Ephedrus*, *Praon*, *Aphelinus*, *Lysiphlebus*, *Trioxys*. Z rodu *Aphidius* dominoval druh *A. rhopalosiphi*, v malém počtu parazitoval *A. ervi*, *A. avenae* a *A. matricariae*. Na polích jsme našli tři druhy mumií mšic (*M. dirhodum*, *R. padi*, *S. avenae*). Nejvíce parazitovanou mumií byla mšice *M. dirhodum*, naopak nejméně parazitovanou mšicí byla *S. avenae*. Parazitovaly je rody *Aphidius*, *Aphelinus*, *Ephedrus*, *Lysiphlebus*, *Praon* a *Trioxys*. *M. dirhodum* napadlo 6 druhů, *R. padi* 7 druhů a *S. avenae* 4 druhy parazitoidů. *A. avenae* parazitoval pouze *M. dirhodum*. *Trioxys* jsme našli také pouze jednou, a to v mumii mšice *R. padi*. Druh *A. rhopalosiphi* byl ze všech ostatních zástupců rodu *Aphidius* nejhojnější. Zároveň se jednalo o nejrozšířenější druh parazitoidů na všech polích (47 jedinců). Rody *Praon*

(46 jedinců) a *Ephedrus* (41 jedinců) patřily také mezi nejběžnější parazitoidy mšic ve zkoumaných porostech (Tab. 14, Obr. 27).



Obr. 27. Celková potravní síť pro všechna pole

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 14. Počet druhů parazitoidů na všech polích

	<i>A. avenae</i>	<i>A. ervi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Aphelinus</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Lysiphlebus</i>	<i>Praon</i>	<i>Trioxyys</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	4	0	30	0	10	3	26	0
<i>R. padi</i>	0	0	2	15	1	26	2	6	1
<i>S. avenae</i>	0	0	0	2	2	5	0	14	0

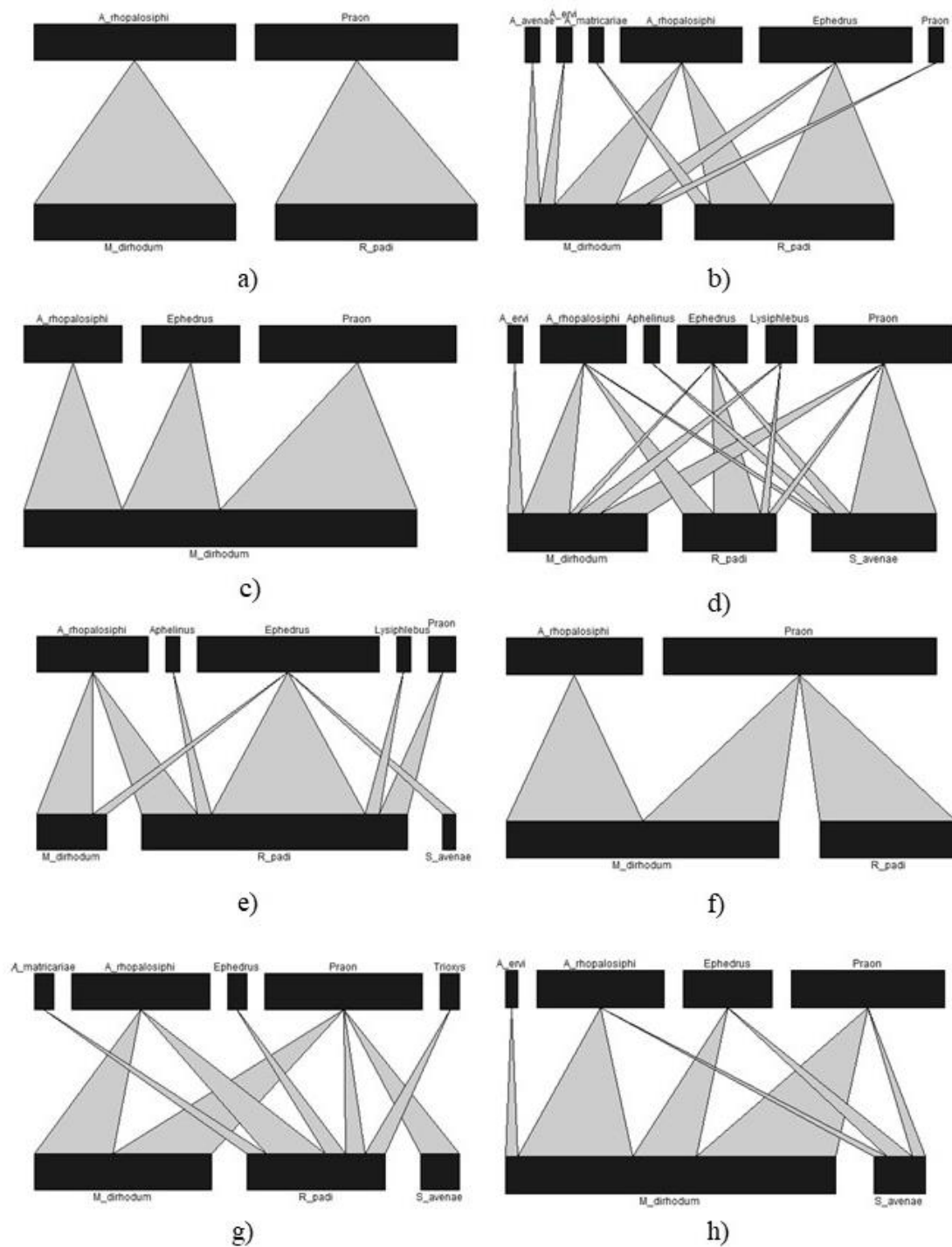
Parametry potravních sítí parazitoidů obilních mšic jsou shrnuty v Tabulce 15. Na poli 2 jsme nenašli žádné primární parazitoidní druhy. Celková složitost potravních sítí se mezi poli liší. Pole 4 má propojenost 1, tj. nalezené druhy parazitoidů napadaly jeden druh mšice. Ostatní pole mají propojenost >0 . Souměrnost potravní sítě, tj. rovnováha mezi počty parazitoidů a druhů mšic je ≥ 0 . Na většině polí se tedy vyskytlo víc druhů parazitoidů než mšic. Pole 1 a 7 má vyrovnaný počet druhů mšic a parazitoidů. Úroveň specializace (H2 index) se u pole 7 rovná 0, u ostatních >0 . Průměrný počet druhů mšic napadených parazitoidy je ≥ 1 . Každý parazitoidní druh tudíž napadá právě jednoho, nebo více druhů mšic. Průměrný počet parazitoidních druhů napadající daný druh mšic je ≥ 1 . To znamená, že každý druh mšic byl napaden jedním, nebo více parazitoidními druhy. Výsledky z polí 1, 4 a 7 mají omezenou výpovědní hodnotu, protože se na poli vyskytl nízký počet primárních parazitoidů.

Tab. 15. Počet druhů mšic a primárních parazitoidů a metriky(ukazatele) potravní sítě pro jednotlivá pole

Pole	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Souhrn
Počet primárních parazitoidů	2	0	6	3	7	6	2	6	4	10
Počet mšic	2	0	2	1	3	3	2	3	2	3
Connectance	0,500	NA	0,667	1,000	0,722	0,533	0,750	0,533	0,875	0,630
Web asymetry	0,000	NA	-0,500	-0,500	-0,333	-0,250	0,000	-0,250	-0,333	-0,500
H2	NA	NA	0,154	NA	0,288	0,223	0,000	0,191	0,096	0,212
Generality	1,000	NA	1,659	1,000	2,190	1,688	1,667	2,029	1,452	2,302
Vulnerability	1,000	NA	3,099	2,828	3,350	2,871	1,667	2,804	3,179	3,708

Pozn.: Connectance (propojenost), celková složitost potravní sítě (podíl potenciálních trofických vazeb v síti); Web asymetry (souměrnost sítě), rovnováha mezi počty parazitoidních druhů a druhů mšic (záporné hodnoty ukazují více druhů na vyšší než na nižší trofické úrovni); H2, úroveň specializace v rámci sítě, od 0 (žádná specializace) do 1 (dokonalá specializace); Generality (obecnost), průměrný počet druhů mšic na druh parazitoida; Vulnerability (zranitelnost/náchylnost), průměrný počet druhů parazitoidů na daný druh mšice.

Obrázek 28 vyobrazuje potravní sítě na úrovni jednotlivého pole pro osm polí (na poli 2 nebyli nalezeni žádní primární parazitoidi). Jak je z obrázku patrné, na poli 1 (Obr. 28a) a poli 7 (Obr. 28f) jsme našli dva druhy mšic (*M. dirhodum* a *R. padi*) a dva druhy parazitoidů (*A. rhopalosiphi* a *Praon*). Na poli 1 (Obr. 28a) druh parazitoida *A. rhopalosiphi* napadl pouze rod mšice *M. dirhodum* a rod *Praon* parazitoval na druhu mšice *R. padi*. Na poli 7 (Obr. 28f) rod parazitoida *Praon* parazitoval mšice *M. dirhodum* a *R. padi*. *A. rhopalosiphi* stejně jako na poli 1 pouze na mšici *M. dirhodum*. Pole 4 (Obr. 28c) se vyznačuje pouze jednou parazitovanou mšicí rodu *M. dirhodum*, která byla napadena parazitoidy *A. rhopalosiphi*, *Ephedrus* a *Praon*. Na poli 3 (Obr. 28b) a poli 9 (Obr. 28h) jsme našli pouze dva druhy mumifikovaných mšic. Pole 5 (Obr. 28d) a pole 8 (Obr. 28g) patřila mezi nejrozmanitější, co se týká vztahů mezi parazitoidy a mšicemi.



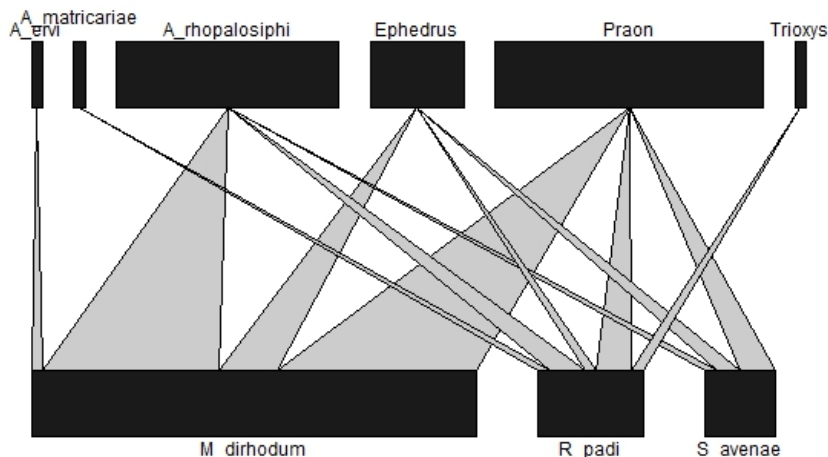
Obr. 28. Potravní síť pro jednotlivá pole

Pozn.: a) pole 1; b) pole 3; c) pole 4; d) pole 5; e) pole 6; f) pole 7; g) pole 8; h) pole 9); spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

5.4.2 Potravní síť pro režim pěstování

Na ekologických a konvenčních polích jsme našli 3 druhy mumií mšic *M. dirhodum*, *R. padi* a *S. avenae*. Na konvenčních polích se vyskytoval větší počet mumií *M. dirhodum*. Ekologický režim pěstování se vyznačoval téměř vyrovnaným počtem mumií od každého druhu. Na obou

typech polí jsme našli druh parazitoida, který se na druhém nevyskytoval. Na konvenčním poli to byl rod *Trioxys* a na ekologickém rod *Lysiphlebus*, *Aphelinus* a druh *A. avenae*. Ekologická pole měla největší zastoupení 3 parazitoidů, druh *A. rhopalosiphi* a rod *Ephedrus* a *Praon*. Na konvenčních polích jsme našli nejvíce druh *A. rhopalosiphi* a rod *Praon*. Na konvenčních polích nejvíce parazitoval rod *Praon*, oproti ekologickým, kde nejvíce parazitoval rod *Ephedrus*. Rod *Praon*, stejně jako *A. rhopalosiphi*, na konvenčních polích napadli výhradně *M. dirhodum*. Naopak na ekologických polích nejvíce zastoupený rod *Ephedrus* napadl nejvíce *R. padi* (Tab. 16, 17; Obr. 29, 30).

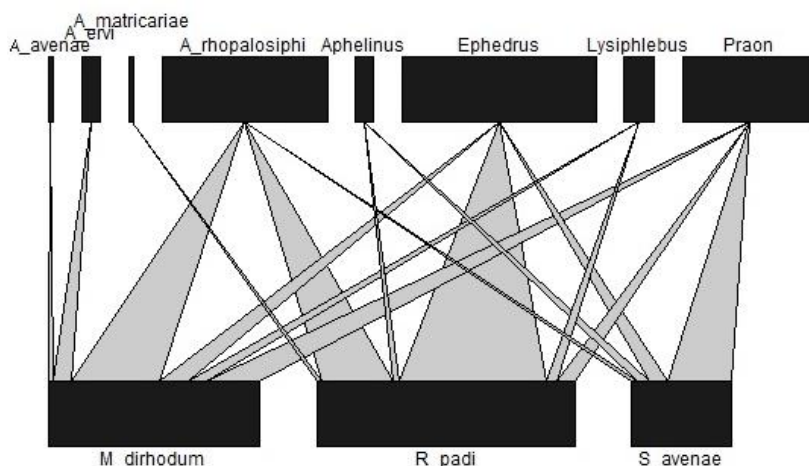


Obr. 29. Potravní síť pro konvenční pole

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 16. Počet druhů na konvenčním poli

	<i>A. ervi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Praon</i>	<i>Trioxys</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	0	15	5	17	0
<i>R. padi</i>	0	1	3	1	3	1
<i>S. avenae</i>	0	0	1	2	3	0



Obr. 30. Potravní síť pro ekologická pole

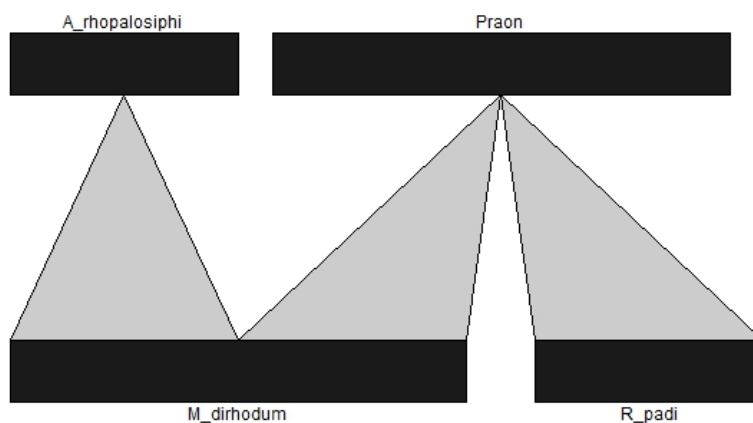
Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 17. Počet druhů na ekologickém poli

	<i>A. avenae</i>	<i>A. ervi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Aphelinus</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Lysiphlebus</i>	<i>Praon</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	3	0	15	0	5	3	9
<i>R. padi</i>	0	0	1	12	1	25	2	3
<i>S. avenae</i>	0	0	0	1	2	3	0	11

5.4.3 Potravní sítě pro pěstované plodiny

Na polích s pšenicí, ovsem a pšenicí dvouzrnkou se nacházely 3 druhy mumií mšic, *M. dirhodum*, *R. padi* a *S. avenae*. Na ječmeni jsme našli pouze mumie mšic *M. dirhodum* a *R. padi*. *Praon* parazitoval oba druhy mšic. *A. rhopalosiphi* parazitoval pouze *M. dirhodum* (Tab. 18, Obr. 31).



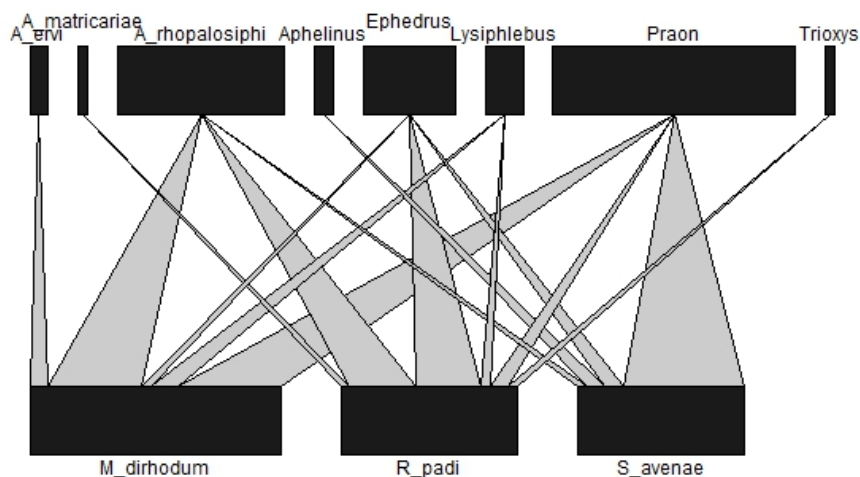
Obr. 31. Potravní síť pro ječmen

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundance tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundance každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 18. Počet druhů parazitoidů na ječmeni

	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Praon</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	1
<i>R. padi</i>	0	1

Na ovsu jsme našli vyrovnaný počet mumií třech druhů mšic. Nejzastoupenějším druhem parazitoidů byl druh *A. rhopalosiphi*, rod *Praon* a *Ephedrus*. Zároveň se tam vyskytl druh *Trioxys*, který na jiných plodinách nebyl (Tab. 19, Obr. 32).



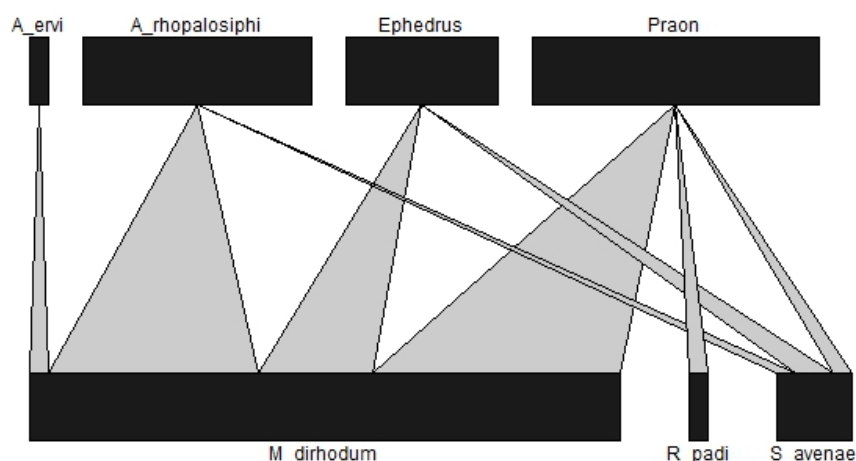
Obr. 32. Potravní síť pro oves

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundance tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundance každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 19. Počet druhů parazitoidů na ovsu

	<i>A. ervi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Aphelinus</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Lysiphlebus</i>	<i>Praon</i>	<i>Trioxyis</i>
<i>M. dirhodum</i>	2	0	10	0	1	3	11	0
<i>R. padi</i>	0	1	7	0	7	1	2	1
<i>S. avenae</i>	0	0	1	2	2	0	13	0

Pšenice byla napadena převážně mšicí *M. dirhodum*, kterou parazitoval nejvíce druh *A. rhopalosiphi* a rody *Ephedrus* a *Praon*. Celkově na něm parazitovaly 3 druhy parazitoidů. Rod *Praon* jako jediný napadl druh *R. padi* (Tab. 20, Obr. 33).



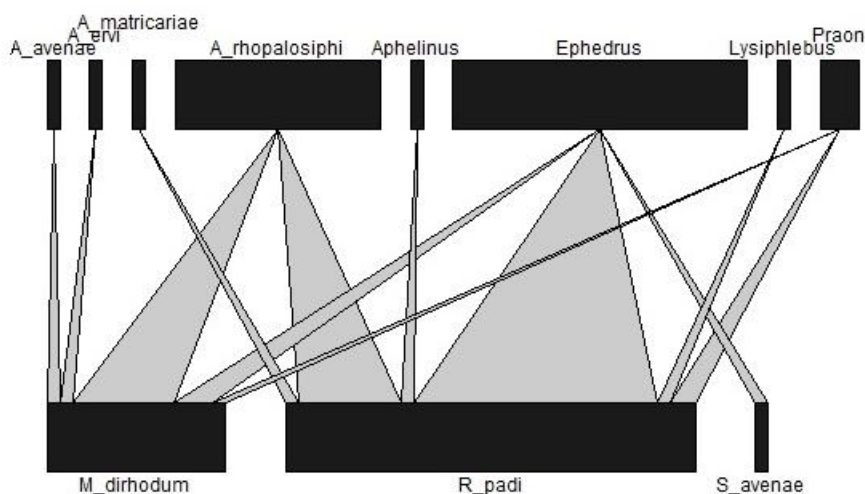
Obr. 33. Potravní síť pro pšenici

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundance tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundance každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 20. Počet druhů parazitoidů na pšenici

	<i>A. ervi</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Praon</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	11	6	13
<i>R. padi</i>	0	0	0	1
<i>S. avenae</i>	0	1	2	1

Na polích s pšenicí dvouzrnkou byl *R. padi* nejzastoupenějším druhem mumií mšic. Tento druh napadlo 6 druhů parazitoidů. Na pšenici jsme našli nejvíce druh *A. rhopalosiphi* s počtem 16 jedinců a rod *Ephedrus* v počtu 23 jedinců. *Ephedrus* jako jediný druh parazitoval na *S. avenae*. Oproti jiným plodinám se zde nacházel rod *Lysiphlebus* a druh *A. avenae* (Tab. 21, Obr. 34).



Obr. 34. Potravní síť pro pšenici dvouzrnku

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazuje četnost trofické interakce.

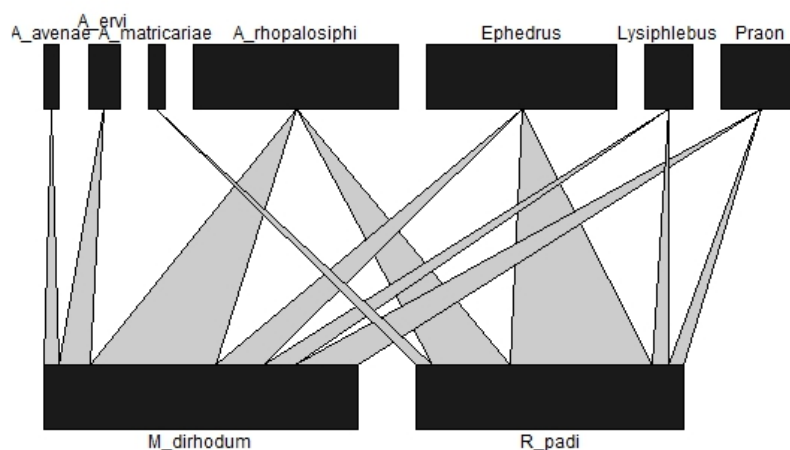
Tab. 21. Počet druhů parazitoidů na pšenici dvouzrnke

	<i>A. avenae</i>	<i>A. ervi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Aphelinus</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Lysiphlebus</i>	<i>Praon</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	1	0	8	0	3	0	1
<i>R. padi</i>	0	0	1	8	1	19	1	2
<i>S. avenae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0

5.4.4 Potravní síť pro období sběru

Období sběru jsme rozdělili do 4 period: 1. perioda od 3. 5. do 13. 5. 2022, 2. perioda od 20. 5. do 13. 6. 2022, 3. periodu od 10. 6. do 16. 6. 2022 a 4. periodu od 23. 6. do 8. 7. 2022. Během 1. periody jsme nenalezli žádné mumie s primárními parazitoidy.

Během 2. periody se na poli nacházely jen mumie mšic *M. dirhodum* a *R. padi*. Tyto dva druhy byly nejvíce napadeny druhem *A. rhopalosiphi* (13 jedinců) a rodem *Ephedrus* (12 jedinců) (Tab. 22, Obr. 35).



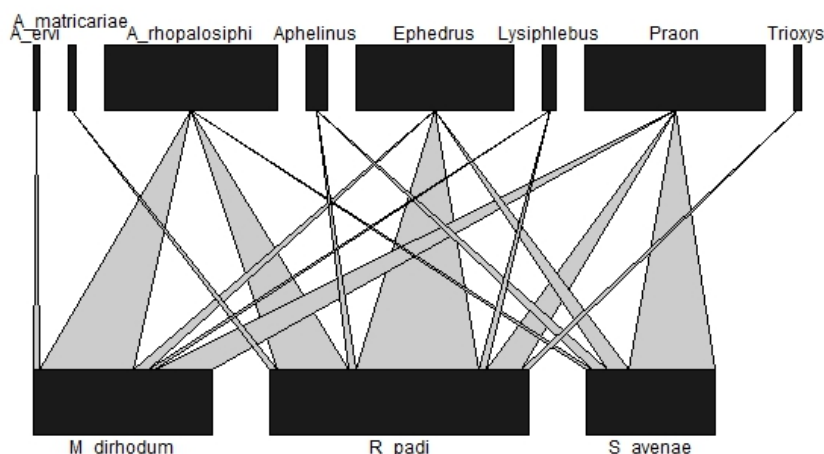
Obr. 35. Potravní síť pro periodu 2

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 22. Počet druhů parazitoidů pro periodu 2

	<i>A. avenae</i>	<i>A. ervi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Lysiphlebus</i>	<i>Praon</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	2	0	8	3	2	4
<i>R. padi</i>	0	0	1	5	9	1	1

V období 3. periody jsme na poli našli téměř vyrovnané množství 3 druhů mšic (*M. dirhodum*, *R. padi* a *S. avenae*). Stejně tak jako v periodě 2 nejvíce parazitoval druh *A. rhopalosiphi* (24 jedinců) a *Ephedrus* (22 jedinců). Zároveň se zvýšil počet nalezeného rodu *Praon* (25 jedinců). V tomto období se vyskytl rod *Trioxys* nevyskytující se v jiných periodách. Tato perioda je z hlediska složitosti nejrozmanitější (Tab. 23, Obr. 36).



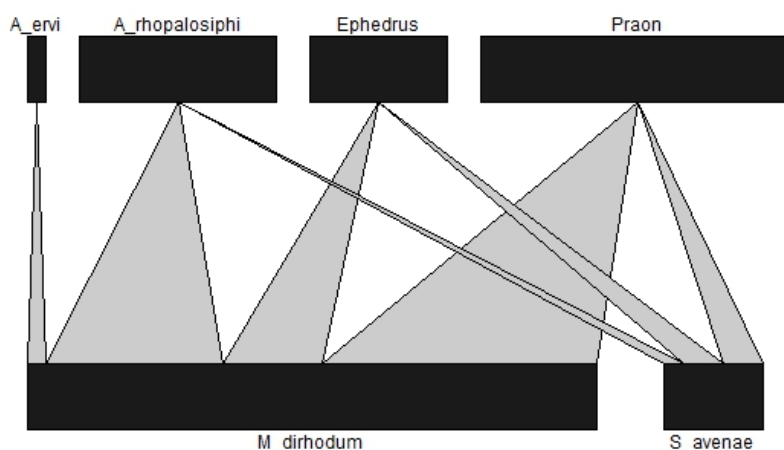
Obr. 36. Potravní síť pro periodu 3

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 23. Počet druhů parazitoidů pro periodu 3

	<i>A. ervi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Aphelinus</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Lysiphlebus</i>	<i>Praon</i>	<i>Trioxys</i>
<i>M. dirhodum</i>	2	0	10	0	1	3	11	0
<i>R. padi</i>	0	1	7	0	7	1	2	1
<i>S. avenae</i>	0	0	1	2	2	0	13	0

Perioda 4 se vyznačovala nejzastoupenějším druhem mšic *M. dirhodum*, které napadl nejvíce druh *A. rhopalosiphi* a rody *Praon* a *Ephedrus*. *Praon* se v tomto období stal nejběžnějším rodem s počtem 16 jedinců. Parazitoval zde i druh *A. ervi*, který se vyskytoval také v předchozích periodách. (Tab. 24, Obr. 37).



Obr. 37. Potravní síť pro periodu 4

Pozn.: Spodní řady potravních sítí představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci každého parazitoidního druhu. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 24. Počet druhů parazitoidů pro periodu 4

	<i>A. ervi</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>Ephedrus</i>	<i>Praon</i>
<i>M. dirhodum</i>	1	9	5	14
<i>S. avenae</i>	0	1	2	2

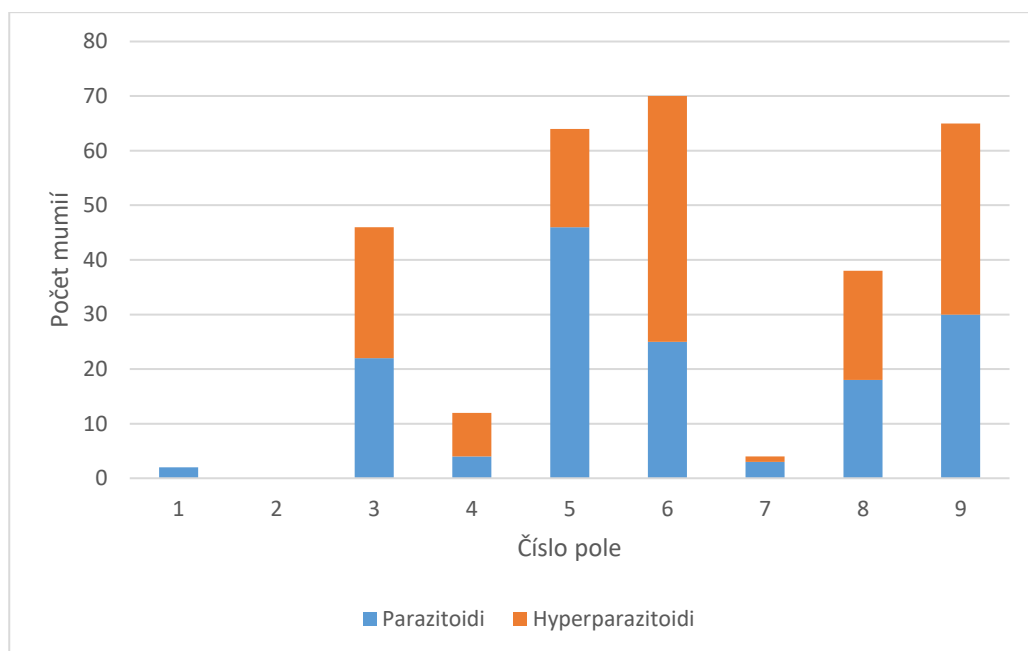
5.5 Výskyt hyperparazitoidů a pitvané vzorky

Na polích jsme našli celkem 151 jedinců hyperparazitoidů. Podíl hyperparazitoidů vůči parazitoidům byl 50,17 %. Největší podíl byl na poli 4 s podílem 66,67 % a na poli 6 s podílem 64,29 % (Tab. 25, Obr. 38).

Z celkových 504 mumií jsme museli kvůli nevyhlídnutí parazitoidů podrobit pitvě 203 vzorků. Je pravděpodobné, že se mohlo jednat o jedince v diapauze, kteří uhynuli při vystavení vysokým teplotám, které v době odběrů panovaly. Největší počet pitvaných mumií byl na poli 3 (81 ks) a poli 6 (70 ks) (Tab. 25).

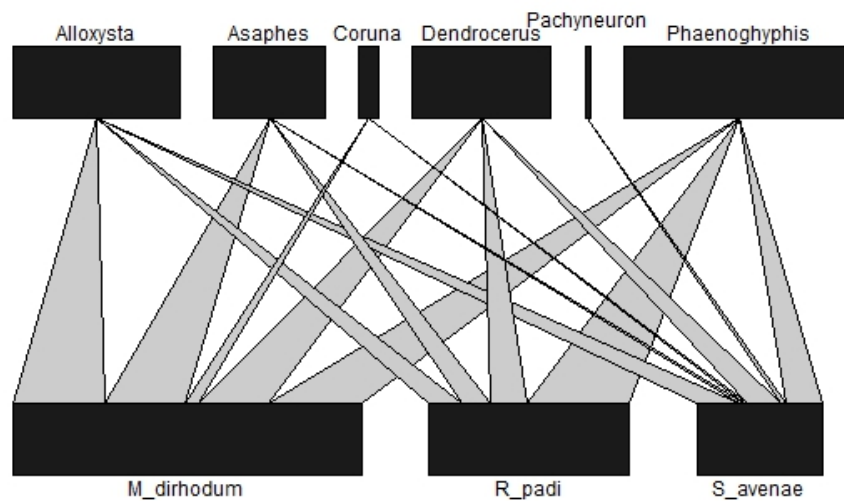
Tab. 25. Počet mumií, parazitoidů, hyperparazitoidů a pitvaných vzorků na sledovaných polích

Číslo pole	Mumie	Parazitoidi	Hyperparazitoidi	Pitva
P1	2	2	0	0
P2	1	0	0	1
P3	127	22	24	81
P4	22	4	8	10
P5	77	46	18	13
P6	140	25	45	70
P7	9	3	1	5
P8	54	18	20	16
P9	72	30	35	7
Celkem	504	150	151	203



Obr. 38. Grafické znázornění podílu parazitoidů a hyperparazitoidů na polích

Na polích jsme našli hyperparazitoidy rodu *Alloxysta*, *Asaphes*, *Coruna*, *Dendrocerus*, *Pachyneuron*, *Phaenoglyphis*. Kromě jedinců rodu *Coruna* a *Pachyneuron* se všichni našli v mumiích všech třech mšic (*M. dirhodum*, *R. padi*, *S. avenae*). Rod *Coruna* napadl druhy *M. dirhodum* a *S. avenae*. *Pachyneuron* byl spojován pouze se mšicí *S. avenae*. Nejzastoupenějším rodem byl *Phaenoglyphis* (50 jedinců). Mšice *M. dirhodum* byly nejvíce napadeny hyperparazitoidy (75 jedinců) (Tab. 26, Obr. 39).



Obr. 39. Potravní síť hyperparazitoidů a mšic

Pozn.: Spodní řady potravní sítě představují relativní abundanci tří druhů mšic, zatímco horní řady představují relativní abundanci hyperparazitoidů. Šířka ukazatele znázorňuje četnost trofické interakce.

Tab. 26. Počet rodů hyperparazitoidů

	<i>Alloxysta</i>	<i>Asaphes</i>	<i>Coruna</i>	<i>Dendrocerus</i>	<i>Pachyneuron</i>	<i>Phaenoghypsis</i>
<i>M. dirhodum</i>	20	17	3	15	0	20
<i>R. padi</i>	7	6	0	8	0	22
<i>S. avenae</i>	9	1	1	7	1	8

6 Diskuze

Cílem práce bylo stanovit míru parazitace obilních mšic blanokřídlými parazitoidy v porostech obilnin pěstovaných v režimu ekologického a konvenčního způsobu pěstování. Předpokládali jsme, že míra parazitace na ekologických polích bude vyšší než na konvenčních. Zároveň s nárůstem počtu mšic se bude parazitace zvyšovat.

Míra parazitace obilních mšic v České republice nebyla dosud tolik zkoumána. Naposledy parazitaci testoval Starý (2006). Nejvíce studií bylo provedeno ve Francii, jedná se tudíž o jiné klimatické podmínky a srovnání výsledků tak může být nepřesné, např. Le Ralec (2010) nebo Jeavons et al. (2022). V poslední době se hovoří o změnách klimatu, které ovlivňují životní cykly hmyzu (např. ztráta zimní diapauzy). Právě tyto změny ovlivňují i samotné parazitoidy a jejich blízký vztah s hostiteli (Tougeron et al. 2020).

Výsledky této práce, které lze vidět v kapitole 5, budou následně interpretovány a diskutovány s výsledky předchozích výzkumů.

6.1 Abundance mšic

V prvé řadě bylo nutné spočítat a určit druhy mšic sesbíraných na polích, abychom mohli následně spočítat míru parazitace a vytvořit potravní síť.

Jarní sběry probíhaly na ekologických a konvenčních polích, mohli jsme tak porovnat rozdíly v abundanci a zastoupení druhů mšic v rozdílných režimech pěstování. Porovnáním abundance mšic ekologických a konvenčních polí jsme zjistili větší početnost mšic na ekologických polích, což je v souladu s Macfadyen et al. (2009). Relativní množství mšic na polích ukázalo, že na ekologicky obhospodařovaných polích se vyskytuje ze 74 % výhradně druh *R. padi* napadající listy a klasy. Lohaus et al. (2013) a Fandos et al. (2022) tyto výsledky nepotvrzují. Tvrdí, že na ekologických polích se vyskytuje hlavně *S. avenae*, druh napadající klas (více než 96 % všech mšic). Důvodem, proč *S. avenae* je typickým druhem pro ekologická pole, je způsobeno preferencí klasů. Tam rostlina agreguje dostupný dusík. Druhy mšic žijící na listech nebo stonku rostlin, jako je *M. dirhodum*, jsou citlivější na nízkou dostupnost živin pro rostliny. Ukázalo se, že mají vyšší populace při vyšším hnojení (Duffield et al., 1997, Hambäck et al. 2007). Jak ukázaly naše výsledky, *M. dirhodum* se nacházelo hlavně na konvenčních polích. Vysoké zastoupení *R. padi* na ekologických polích v našem pokusu může souviset s okolními konvenčními poli, kde se právě *R. padi* vyskytuje častěji (Lohaus et al. 2013).

Podzimní sběry probíhaly jen na konvenčních polích a nemohli jsme tak porovnávat abundanci mšic z hlediska režimu pěstování. Co se týká druhu mšic, *S. avenae* dosahuje svého populačního vrcholu později než *M. dirhodum* a *R. padi* (Lohaus et al. 2013), což potvrzují naše výsledky, kde dominoval právě tento druh. *S. avenae* migrují na podzim na trávy a mladé obilniny, kde přezimuje ve stádiu vajíčka, popř. imaga (Walters & Dewar 1986). Z pokusů Legrand et al. (2004) vyplývá, že při teplejších zimách populace nevymrzají a způsobují velké škody na počátku následující sezóny. Ostatní druhy mšic přezimují na zimovištích mimo pole (Honěk et al. 2017), právě z toho důvodu *S. avenae* na polích převažoval.

6.2 Míra parazitace

Míra parazitace následně byla spočítána z podílu mšic a mumifikovaných mšic na polích podle různých faktorů, které mohou ovlivnit parazitaci. Z potravních sítí jsme pak získali informace o druzích parazitoidů a jejich interakcích se mšicemi. Všechny výsledky se týkaly jen jarních sběrů, protože na podzim jsme žádné mumifikované mšice nenašli.

Náš pokus vykazoval významný nárůst abundance parazitoidů a s tím spojenou vyšší míru parazitace později v sezóně. V tomto ohledu se výsledky rozcházejí s výzkumem Arnolda (2022), kde naopak parazitace klesala. Stejně jako u Hawro (2017) však míra parazitace klesala se zvyšující se abundancí mšic. Přestože jsme zaznamenali během sezóny vyšší nárůst parazitoidů, při zvyšující se abundanci mšic parazitace klesá. Parazitoidi nad mšicemi ztrácí kontrolu. Stell et al. (2022) tuto závislost potvrzuje a tvrdí, že přirození nepřátelé nedokážou růst kolonie mšic omezit, jakmile je populace příliš velká. Založení populací parazitoidů dříve v sezóně by mohlo zastavit nebo významně snížit růst kolonií mšic a omezit tak jejich pozdější působení (Legrand et al., 2004), protože hustota populace mšic na začátku sezóny je důležitá pro rychlost růstu populace mšic po zbytek sezóny (Stell et al. 2022). Letourneau et al. (2011) a Petit et al. (2020) proto navrhuje zakládání mezplodin, které parazitoidům nabízejí alternativní hostitele v době, kdy cíloví hostitelé nejsou k dispozici. Nemají tak tendenci pole opouštět. Právě udržení parazitoidů na polích je pro úspěšnou biologickou ochranu nejdůležitější.

Režim pěstování jsme neprokázali jako faktor ovlivňující parazitaci. Na konvenčním poli byla celková míra parazitace 5,42 % a na ekologickém 4,39 %. Mezi ekologickými a konvenčními poli nebyly tudíž prokázány statisticky významné rozdíly, což potvrzují i Macfadyen et al. (2009). Ti říkají, že není žádný významný statistický rozdíl mezi mírou parazitace v různých systémech hospodaření. Jejich výzkum stejně jako náš zjistil na ekologických polích nižší míru parazitace než na konvenčních (EZ 14,7 % a KZ 21,2 %), pravděpodobně kvůli vyššímu zastoupení konvenčních polí. Lohaus et al. (2013) tvrdí, že ekologická pole mají až 3x vyšší míru parazitace než konvenční. V jejich pokusech převažovalo vzorkování ekologických polí. Vzorkovaná pole se nacházela v různorodé krajině, kde převažovala ekologická pole nad konvenčními. Na naše získané výsledky mohl mít právě vliv krajinný ráz. Vzorkovaná ekologická pole se nacházela v těsné blízkosti polí konvenčních a proto je možné, že se tím zvýšilo množství mšic a tím se snížila parazitace. Zvýšený podíl konvenčních polí v okolí ekologických může vést ke zvýšené abundanci hostitelů (mšic) s následným snížením parazitismu (Bianchi et al. 2013). Oblast byla různorodá a rozdíly mezi diverzitou na ekologických a konvenčních farmách mohou být patrnější ve více homogenních krajinách (Roschewitz et al. 2005). Výsledek našeho pokusu udává míru parazitace kolem 5 %. Völkl et al. (2007) tvrdí, že míra parazitace pod 5 % je nedostatečná pro úspěšnou regulaci škůdců. Parazitoidi způsobují pokles populace mšic až při 20-30 % parazitizmu (Thies et al. 2011; Plečaš et al. 2014).

Plodina jako další možný faktor ovlivňující parazitaci měla velký vliv. Nejnižší míru parazitace jsme zaznamenali na pšenici seté a pšenici dvouzrnce (3 %). Tento výsledek potvrdili Han et al. (2019), kteří rostliny vystavili suchu. Nejvyšší míra parazitace se vyskytla na ovsu (15 %). Náš výsledek se shoduje s Santos et al. (2022), kteří porovnávali míru parazitace na ovsu hřebílkatém a jednotlivých druzích mšic. Na konvenčním poli s ječmenem jsme určili míru parazitace 14 %, přestože bylo na konci května pole ošetřeno insekticidem

proti kohoutkům, což mohlo omezit aktivitu parazitoidů. Právě snížený počet mšic po aplikaci umožnil parazitoidům lepší kontrolu nad populací. Správná kombinace insekticidního ošetření a zemědělských postupů může vést k optimalizaci managementu obilních mšic s minimálními škodlivými dopady na přirozené nepřátele (Tomanović et al. 2022). Rozdílná míra parazitace mezi plodinami by mohla souviset s odlišnou stavbou rostlin, tento faktor však zatím nebyl zkoumán.

Podzimní vzorky neumožnily analyzovat míru parazitace pravděpodobně kvůli nepříznivým povětrnostním podmínkám, které na konci října panovaly. Legrand et al. (2004) vysvětlují, že parazitoidi přežívají zimní období v diapauze, kterou vyvolávají nízké teploty a krátká délka dne. Např. druh parazitoida *A. rhopalosiphi* (nejzastoupenější druh během jarních sběrů) přechází do diapauzy při 6 °C. Můžeme tak předpokládat odlet parazitoidů z polí po sklizni předplodin a vstup parazitoidů do diapauzy mimo vzorkovaná pole. Je pravděpodobné, že se do budoucna budou parazitoidi přežívat i zimní období, protože dle Tougerona et al. (2020) parazitoidi z důvodu změn klimatu ztrácejí zimní diapauzu.

6.3 Druhy z pohledu potravních sítí

Z vytvořených potravních sítí jsme zjistili vztahy mezi parazitoidy a jejich hostiteli. V pokusu Höllera et al. (1993) nejvíce parazitovanou mšicí byl druh *S. avenae*. My tento výsledek potvrdit nemůžeme, protože naše pole napadl nejvíce druh *M. dirhodum*, s čímž souvisí nejvyšší míra parazitace právě u tohoto druhu.

V našem pokusu jsme našli dva nejrozšířenější druhy parazitoidů: *A. rhopalosiphi* a rod *Praon*. Druh *A. rhopalosiphi* patřil k nejhojnějším druhům na poli (47 jedinců) a zároveň k dominantnímu zástupci z rodu *Aphidius*. Lohaus et al. (2013) potvrzují náš výsledek a zároveň výskyt rodu *Aphidius* spojují s druhem mšic *S. avenae*. Na našich polích byl však tento druh mšic v nejnižším počtu a zřídka parazitován. Druhým nejhojnějším byl rod *Praon* (46 jedinců), který dle Sigsgaarda (2002) má vysokou plodnost. Zjistili jsme, že se na našich polích objevily rody *Lysiphlebus* a *Trioxys*, které parazitovaly pouze jednou. Jedná se o rody z teplých oblastí přirozeně se vyskytující ve Středozeří. Tento nález by mohl mít souvislost se změnou klimatu (Tomanović et al. 2022).

Mnoho studií udává, že konvenční monokulturní pole mají nízkou diverzitu přirozených nepřátel, potažmo parazitoidů. Intenzifikace zemědělství vede k poklesu rozmanitosti v rámci druhů (Lohaus et al. 2013, Derocles et al. 2014). V ekologickém režimu pěstování jsou oproti konvenčnímu režimu přirození nepřátelé rovnoměrně rozloženi. Na konvenčních polích představoval jeden druh 80 % ze všech jedinců a na ekologických pouze 38 % (Crowder et al. 2010). Naše výsledky tento fakt nepotvrzují. V obou typech hospodaření se vyskytovaly nejhojnější druhy tři (*A. rhopalosiphi*, *Ephedrus* a *Praon*). Ekologická pole měla podíl nejhojnějších druhů 34 % a konvenční 43,4 %. Vollhardt et al. (2008) náš výsledek potvrzují. Tvrdí, že na intenzivně obhospodařovaných polích je podobné zastoupení diverzity parazitoidů obilních mšic jako na extenzivnějších.

6.4 Hyperparazitace a pitvané vzorky

V průběhu sběrů jsme se setkali s hyperparazitizmem, který patří mezi faktory, které omezují parazitaci primárními parazitoidy. Celková hyperparazitace na polích byla 50,17 %, přestože na ekologickém a konvenčním poli se míra primární parazitace pohybovala kolem 5 %. Höller et al. (1993) zjistili, že hyperparazitace může být až 100 %, zatímco parazitace primárními parazitoidy zůstává pod 20 %. Hyperparazitoidi si vybírali nejhojnější druh mšice *S. avenae* k parazitaci (Höller et al. 1993). Tento výsledek můžeme potvrdit jen částečně. Hyperparazitoidi parazitovali na mšici s největší abundancí, ale v našem případě se jednalo o druh *M. dirhodum*. Největší podíl hyperparazitace byl na poli 4 s podílem 66,67 % a na poli 6 s podílem 64,29 %. Jednalo se o ekologická pole. Na konvenčních polích 8 a 9 se hyperparazitoidi vyskytli jen z 54 %. Můžeme tak potvrdit Gagić et al. (2012), že míra hyperparazitace je vyšší na polích s nízkou intenzitou obhospodařování. S vyšší mírou hyperparazitace se můžeme setkávat v důsledku klimatických změn, protože hyperparazitoidi jsou aktivnější při vyšších teplotách. Tím by mohlo dojít k omezení primární parazitace a k nárůstu škůdců (Forrest 2016).

Z 504 mumií mšic jsme museli podrobit pitvě 203 vzorků. Uvnitř byly larvy parazitoidů v různé fázi vývoje. Mohlo se jednat o poškozené diapauzující jedince, kteří kvůli špatnému skladování zahynuli. Jak říkají Polgár et al. (1991), druh parazitoidů *A. matricariae* a *Praon volucre* v pokusu na mšici fazolové (*Aphis fabae*) vstupují do diapauzy za vysokých teplot nad 21 °C a při dlouhém dni. Mnoho pitvaných jedinců byli zcela vyvinutí dospělci, tak je pravděpodobné, že zahynuli při transportu z pole do laboratoře kvůli vysokým teplotám. Do budoucna by se těmto ztrátám mohlo zabránit např. chladicími boxy v terénu nebo včasným návratem do laboratoře.

7 Závěr

- V diplomové práci jsme testovali hypotézu: ekologicky obhospodařované porosty budou vykazovat větší míru parazitace než porosty konvenční. Nejistili jsme statisticky významný rozdíl v míře parazitace v ekologickém a konvenčním režimu pěstování. Míra parazitace v ekologickém režimu pěstování byla 4,39 % a v konvenčním 5,42 %. Hypotézu jsme tedy zamítli.
- Naše druhá hypotéza zněla: parazitace poroste spolu s nárůstem populace mšic. Se zvyšující se abundancí mšic jsme zjistili významný statistický rozdíl v parazitaci. Nárůstem abundance mšic míra parazitace naopak relativně klesala, ačkoliv během jarní sezóny parazitace rostla. Hypotézu jsme tedy zamítli.
- Z našeho pokusu vyplývá, že na míru parazitace velký vliv druh plodiny. Nejvyšší míru parazitace jsme zaznamenali na ovsu 15 %, nejméně na pšenici seté a pšenici dvouzrnce se 3 %. Vliv plodiny na míru parazitace by mohl být zkoumán v dalších výzkumech.
- Mezi nejhojněji nalezené parazitoidy patřili *A. rhopalosiphi*, rody *Ephedrus* a *Praon*.
- Při určování druhů parazitoidů jsme zaznamenali také hyperparazitaci, která se vyskytla v poměru 50,17 % oproti primární parazitaci. Jedná se o velký poměr, který mohl omezit ve vývoji primární parazitoidy.
- Součástí výsledků diplomové práce bylo určení druhů mšic na polích pro následné určení míry parazitace. Zjistili jsme při jarních sběrech statisticky významný rozdíl mezi druhy mšic na polích. Na ekologických a konvenčních polích byly zjištěny statistické rozdíly mezi druhy mšic. Nejzastoupenějším druhem byl v ekologickém režimu pěstování druh *R. padi* a v konvenčním *M. dirhodum*. Během jarní sezóny abundance mšic rostla u všech druhů rovnoměrně a nebyly tak mezi druhy statisticky významné rozdíly.
- Při podzimních sběrech byly statisticky významné rozdíly v počtu mšic na polích. Převažoval druh *S. avenae*, který zde přirozeně přezimuje. Na podzim jsme žádné mumifikované mšice nenalezli, a proto nebylo možné míru parazitace spočítat.
- Z našich výsledků vyplývá, že konvenční hospodaření nemusí být pro výskyt parazitoidů překážkou. Zvolení vhodných agrotechnických postupů může naopak parazitoidy podpořit. Parazitoidi zvyšují parazitaci v průběhu sezóny, ale jsou ovlivněni velikostí populací mšic. Je proto vhodné na polích parazitoidy podporovat pěstováním např. meziplodin, aby mšice dokázali regulovat zavčasu.
- Výzkum pro diplomovou práci byl prováděn během jedné sezóny, na různých druzích obilnin a v nerovnoměrném počtu konvenčních a ekologických ploch, avšak velikost polí byla srovnatelná. Většina polí spolu sousedila a jejich okolí, co se týká rozmanitosti krajiny, bylo podobné. Proto mohou být výsledky nepřesné. Velké variabilitě na polích by se dalo zabránit pravidelnějším sběrem dat (např. každý den). Vzhledem k tomu je zapotřebí dalších výzkumů, které by tyto výsledky mohly potvrdit, popřípadě zamítnout.

8 Literatura

- Alfaro-Tapia A, Alvarez-Baca JK, Fuentes-Contreras E, Figueroa ChC. 2021. Biological Control May Fail on Pests Applied with High Doses of Insecticides: Effects of Sub-Lethal Concentrations of a Pyrethroid on the Host-Searching Behavior of the Aphid Parasitoid *Aphidius colemani* (Hymenoptera, Braconidae) on Aphid Pests. *Agriculture* **11**:1–14.
- Ali MY, Naseem T, Zhang J, Pan M, Zhang F, Liu T-X. 2022. Plant Volatiles and Herbivore Induced Plant Volatiles from Chili Pepper Act as Attractant of the Aphid Parasitoid *Aphelinus varipes* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Plants* (e1350) DOI: 10.3390/plants11101350.
- Andow DA, Prokrym DR. 1990 Plant structural complexity and host-finding by a parasitoid. *Oecologia* **82**:162–165.
- Andrade TO, Outreman Y, Krespi L, Plantegenest M, Vialatte A, Gauffre B, van Baaren J. 2015. Spatiotemporal variations in aphid-parasitoid relative abundance patterns and food webs in agricultural ecosystems. *Ecosphere* **6**:1–14.
- Arnold JE. 2022. Biological Control Services from Parasitic Hymenoptera in Urban Agriculture. *Insects* (e467) DOI: 10.3390/insects13050467.
- Bagar M, Honěk A, Lukáš J, Pekár S, Pultar O, Stejskal V, Zacharda M, Žďárková E. 2003. Predátoři a parazitoidi v biologické ochraně polních kultur, skleníků a skladovaných komodit: metodika. Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i., Praha.
- Bailey AS, Bertaglia M, Fraser IM, Sharma A, Douarin E. 2009. Integrated pest management portfolios in UK arable farming: results of a farmer survey. *Pest Management Science* **65**:1030–1039.
- Bass C, Denholm I, Williamson M S, Nauen R. 2015. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **121**:78–87.
- Behrendt K. 1968. Das Abwandern parasitierter Aphiden von ihren Wirtspflanzen und eine Methode zu ihrer Erfassung. *Beitrage zur Entomologie* **18**:293–298.
- Bezemer MT, et al. 2010. Behaviour of male and female parasitoids in the field: influence of patch size, host density, and habitat complexity. *Ecological Entomology* **35**:341–351.
- Bianchi FJJA, Ives AR, Schellhorn NA. 2013. Interactions between conventional and organic farming for biocontrol services across the landscape. *Ecological Applications* **23**:1531–1543.
- Biocont. 2023. Produkty. BIOCONT LABORATORY, spol. s r.o. Available from <https://biocont-profi.cz/> (accessed January 2023).
- Blackman RL, Eastop VF. 1984. *Aphids on the World's crops*. John Wiley and Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto and Singapore.
- Blackman RL, Eastop VF. 2007. Taxonomic Issues. Pages 1–22 in van Emden HF, Harrington R, editors. *Aphids as Crop Pests*. CAB International, London.

- Bommarco R, Kleijn D, Potts SG. 2013 Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* **28**:230–238.
- Brabec M, Pekár S. 2020. Moderní analýza biologických dat 1. Zobecněné lineární modely v prostředí R. Masarykova univerzita, Brno.
- Brodeur J, McNeil JN. 1989. Seasonal microhabitat selection by an endoparasitoid through adaptive modification of host behaviour. *Science* **244**:226–228.
- Bruce TJA. 2010 Tackling the threat to food security caused by crop pests in the new millennium. *Food Security* **2**:133–141.
- Bukovinszky T, Gols R, Hemerik L, van Lenteren J, Vet L. 2007. Time allocation of a parasitoid foraging in heterogeneous vegetation: Implications for host-parasitoid interactions. *The Journal of Animal Ecology* **76**:845–853.
- Cardinale BJ, et al. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* **486**:59–67.
- Cohen MB, Mackauer M. 1986. Lupine aphid, *Macrosiphum albifrons* (Homoptera: Aphididae): distribution and hymenopterous parasites in British Columbia. *Environmental Entomology* **15**:719–722.
- Crowder DW, Northfield TD, Strand MR, Snyder WE. 2010. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature* **466**:109–112.
- Derocles SA, Le Ralec A, Besson MM, Maret M, Walton A, Evans DM, Plantegenest M. 2014. Molecular analysis reveals high compartmentalization in aphid-primary parasitoid networks and low parasitoid sharing between crop and noncrop habitats. *Molecular Ecology* **23**:3900–3911.
- Dixon AFG. 1971. The life-cycle and host preferences of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* L., and their bearing on the theories of host alternation in aphids. *Annals of Applied Biology* **68**:135–147.
- Dixon AFG. 1977. Aphid Ecology: Life Cycles, Polymorphism, and Population Regulation. *Annual Review of Ecology and Systematics* **8**:329–353.
- Dixon AFG. 1998. Aphid ecology. Chapman and Hall, London.
- Dormann CF, Fründ J, Blüthgen N, Gruber B. 2009. Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal*. **2**:7–24.
- Duffield SJ, Bryson RJ, Young JEB, Sylvester-Bradley R, Scott RK. 1997. The influence of nitrogen fertiliser on the population development of the cereal aphids *Sitobion avenae* (F.) and *Metopolophium dirhodum* (Wlk.) on field grown winter wheat. *Annals of Applied Biology* **130**:13–26.
- Fandos AT, Chamorro-Lorenzo L, Blanco-Moreno JM, Bragg D, Casiraghi A, Pérez-Ferrer A, Sans FX. 2022. Opportunities for Designing Functional Biodiverse Crops: Planned Biodiversity Mechanisms on Aphid Control in Organic Wheat Fields. *SSRN Electronic Journal* (e4312910) DOI: 10.2139/ssrn.4312910.

- Forrest JR. 2016. Complex responses of insect phenology to climate change. *Current Opinion in Insect Science* **17**:49–54.
- Fox J, Weisberg S. 2019. *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. Available from <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/> (assessed April 2023).
- Gagić V, Hänke S, Thies C, Scherber Ch, Tomanović Ž, Tschardtke T. 2012. Agricultural intensification and cereal aphid–parasitoid–hyperparasitoid food webs: network complexity, temporal variability and parasitism rates. *Oecologia* **170**:1099–1109.
- Gardner SM, Dixon AFG. 1985. Plant structure and the foraging success of *Aphidius rhopalosiphii* (Hymenoptera:Aphidiidae). *Ecological Entomology* **10**:171–179.
- Gilbert A, Simon JC, Mieuze L, Halkett F, Stoeckel S, Plantegenest M, Dedryver CA. 2009. Climate and agricultural context shape reproductive mode variation in an aphid crop pest. *Molecular Ecology* **18**:3050–3061.
- Google Earth. 2023. Retrieved March 2023, from <https://earth.google.com/web/@50.15761763,14.38936702,233.3619477a,84209.83004898d,35y,0.00000084h,0t,0r>.
- Griffiths GJK, Holland JM, Bailey A, Thomas MB. 2008. Efficacy and economics of shelter habitats for conservation biological control. *Biological Control* **45**:200–209.
- Hambäck PA, Vogt M, Tschardtke T, Thies C, Englund G. 2007. Top-down and bottom-up effects on the spatiotemporal dynamics of cereal aphids: testing scaling theory for local density. *Oikos* **116**:1995–2006.
- Han Z, Tan X, Wang Y, Xu Q, Zhang Y, Harwood JD, Chen J. 2019. Effects of simulated climate warming on the population dynamics of *Sitobion avenae* (Fabricius) and its parasitoids in wheat fields. *Pest Management Science* **75**:3252–3259.
- Harvey JA. 2005. Factors affecting the evolution of development strategies in parasitoid wasps: the importance of functional constraints and incorporating complexity. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **117**:1–13.
- Hawro V, Ceryngier P, Kowalska A, Ulrich W. 2017. Landscape structure and agricultural intensification are weak predictors of host range and parasitism rate of cereal aphids. *Ecological Research* **32**:109–115.
- Helyer N, Cattlin ND, Brown KC. 2014. *Biological Control in Plant Protection: A Color Handbook*. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton.
- Hluchý M, Zacharda M. 1994. *Prostředky a systémy biologické ochrany rostlin*. 2nd edition. Biocont Laboratory, Brno.
- Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, Alexander IH, Grice F, Evans AD. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* **122**:113–130.

- Honěk A, Martinková Z, Lukáš J, Řezáč M, Saska P, Skuhrovec J, Kocian M. 2017. Mšice na obilninách: biologie, prognóza a regulace. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i, Praha-Ruzyně.
- Honěk A, Martinkova Z, Saska P, Dixon AFG. 2018. Aphids (Homoptera: Aphididae) on Winter Wheat: Predicting Maximum Abundance of *Metopolophium dirhodum*, *Journal of Economic Entomology* **111**:1751–1759.
- Honěk A, Martinková Z, Plátková H, Saska P, Skuhrovec J, Kocian M. 2021. Škůdci na obilninách a jejich přirození nepřátelé. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i, Praha-Ruzyně.
- Horn DJ. 1989. Secondary Parasitism and Population Dynamics of Aphid Parasitoids (Hymenoptera: Aphidiidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* **62**:203–210.
- Höller C, Borgemeister C, Haardt H, Powell W. 1993. The Relationship between Primary Parasitoids and Hyperparasitoids of Cereal Aphids: An Analysis of Field Data. *Journal of Animal Ecology* **62**:12–21.
- Hullé M, Chaubet B, Turpeau E, Simon JC. 2020. Encyclop'Aphid: a website on aphids and their natural enemies. Institut de génétique, environnement et protection des plantes, Rennes. Available from https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons_eng (accessed December 2022).
- Chaplin-Kramer R, O'Rourke ME, Blitzer EJ, Kremen C. 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters* **14**:922–932.
- Chow A, Mackauer M. 1991. Patterns of host selection by four species of aphidiid (Hymenoptera) parasitoids: influence of host switching. *Ecological Entomology* **16**:403–410.
- James DG, Grasswitz TR. 2005. Synthetic herbivore-induced plant volatiles increase field captures of parasitic wasps. *Biocontrol* **50**:871–880.
- Jarošová J, Jaňourová B, Kumar J. 2009. Metodika molekulární detekce viru žluté zakrslosti ječmene v jeho vektorech pomocí RT-PCR. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha-Ruzyně.
- Jeavons E, van Baaren J, Le Ralec A, Buchar C, Duval F, Llopis S, Postic E, Le Lann C. 2022. Third and fourth trophic level composition shift in an aphid–parasitoid–hyperparasitoid food web limits aphid control in an intercropping system. *Journal of Applied Ecology* **59**:300–313.
- Jego L. Design-Abundance, Parasitism Rate & Trophic Networks [e-mail]. Message to: anna.sedi@seznam.cz April 4, 2022 (accessed April 2023). Osobní komunikace.
- Jones MG. 1972. Cereal aphids, their parasites and predators caught in cages over oat and winter wheat crops. *Annals of Applied Biology* **72**:13–25.
- Kim J-W, Heraty J. 2012. A phylogenetic analysis of the genera of Aphelinae (Hymenoptera: Aphelinidae), with a generic key and descriptions of new taxa. *Systematic Entomology* **37**:497–549.

- Kundu JK, Jarošová J, Gadiou S, Červená G. 2009. Discrimination of three BYDV species by onestep RT-PCR-RFLP and sequence based methods in cereal plants from the Czech Republic. *Cereal Research Communications* **37**:541–550.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* **45**:175–201.
- Legrand MA, Colinet H, Vernon P, Hance T. 2004. Autumn, winter and spring dynamics of aphid *Sitobion avenae* and parasitoid *Aphidius rhopalosiphi* interactions. *Annals of Applied Biology* **145**:139–144.
- Lenth R. 2023. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.4-1. Available from <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans> (assessed April 2023).
- Le Ralec A, Anselme C, Outreman Y, Poirié M, van Baaren J, Le Lann C, van Alphen JJ-M. 2010. Evolutionary ecology of the interactions between aphids and their parasitoids. *Comptes Rendus Biologies* **333**:554–565.
- Letourneau DK, Armbrrecht I, Rivera BS, Lerma J, Carmona EJ, Daza MC, Trujillo AR. 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* **21**:9–21.
- Lohaus K, Vidal S, Thies C. 2013. Farming practices change food web structures in cereal aphid-parasitoid-hyperparasitoid communities. *Oecologia* **171**:249–59.
- Lüdecke D. 2018. ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models. *Journal of Open Source Software* **3**:772. Available from <https://doi.org/10.21105/joss.00772> (assessed April 2023).
- Macfadyen S, Gibson R, Raso L, Sint D, Traugott M, Memmott J. 2009. Parasitoid control of aphids in organic and conventional farming systems, *Agriculture, Ecosystems and Environment* **133**:14–18.
- Macfadyen S, Craze PG, Polaszek A, van Achterberg K, Memmott J. 2011. Parasitoid diversity reduces the variability in pest control services across time on farms. *Proceeding of the Biological Sciences* **278**:3387–3394.
- Mackauer M, Völkl W. 1993. Regulation of aphid populations by aphidiid wasps: does parasitoid foraging behaviour or hyperparasitism limit impact? *Oecologia* **94**:339–350.
- Martin EA, Reineking B, Seo B, Steffan-Dewenter I. 2015. Pest control of aphids depends on landscape complexity and natural enemy interactions. *PeerJ* (e1095) DOI: 10.7717/peerj.1095.
- Milner RJ. 1997. Prospects for biopesticides for aphid control. *Entomophaga* **42**:227–239.
- Nematollahi MR. 2015. *Diuraphis noxia* (Russian wheat aphid). CABI Digital Library, CABI International. Available from <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompndium.9887> (accessed December 2022).

- Oliver KM, Russell JA, Moran NA, Hunter MS. 2003. Facultative bacterial symbionts in aphids confer resistance to parasitic wasps. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **100**:1803–1807.
- Parry HR. 2013. Cereal aphid movement: general principles and simulation modelling. *Movement ecology* **1**:1–15.
- Petit S, Muneret L, Carbonne B, Hannachi M, Ricci B, Rusch A, Lavigne C. 2020. Landscape-scale expansion of agroecology to enhance natural pest control: A systematic review. Pages 1-48 in Bohan DA, Vanbergen AJ, editors. *Advances in Ecological Research*. Academic Press, Cambridge.
- Pinheiro LA, Dáder B, Wanumen AC, Pereira JA, Santos SAP, Pilar M. 2020. Side Effects of Pesticides on the Olive Fruit Fly Parasitoid *Psytalia concolor* (Szépligeti): A Review. *Agronomy* **10**:1–23.
- Piper R. 2007. *Extraordinary animals: An encyclopedia of Curious and Unusual Animals*. Greenwood press, London.
- Plečaš M, Gagić V, Janković M, Petrović-Obradović P, Kavallieratos NG, Tomanović Ž, Thies C, Tschardt T, Četković A. 2014. Landscape composition and configuration influence cereal aphid-parasitoid-hyperparasitoid interactions and biological control differentially across years. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **183**:1–10.
- Plumb RT, Johnstone GR. 1995. Cultural, chemical and biological methods for the control of barley yellow dwarf. Pages 307-319 in D'Arcy CJ, Burnett, P, editors. *Barley Yellow Dwarf: 40 Years of Progress*. APS Press, St. Paul.
- Polgár L, Mackauer M, Völkl W. 1991. Diapause induction in two species of aphid parasitoids: The influence of aphid morph. *Journal of Insect Physiology* **37**:699–702.
- Powell W. 1974. Supercooling and the low-temperature survival of the green spruce aphid *Elatobium abietinum*. *Annals of Applied Biology* **78**:27–37.
- Powell W, Pickett, J.A. 2003. Manipulation of parasitoids for aphid pest management: progress and prospects. *Pest Management Science* **59**:149–155.
- Powell W, Pell JK. 2007. Biological Control. Pages 469-500 in van Emden HF, Harrington R, editors. *Aphids as Crop Pests*. CAB International, London.
- Psota V, Kopta T. 2010. *Bioagens: současné prostředky biologické ochrany*. Mendelova univerzita v Brně, Brno. Available from <http://user.mendelu.cz/xkopta/autori.html> (accessed November 2022).
- Quicke DLJ. 2015. *The Braconid and Ichneumonid Parasitoid Wasps: Biology, Systematics, Evolution and Ecology*. Wiley Blackwell, New Jersey.
- R Development Core Team. 2021. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

- Ramsden M, Menendez R, Leather S, Wäckers F. 2017. Do natural enemies really make a difference? Field scale impacts of parasitoid wasps and hoverfly larvae on cereal aphid populations. *Agricultural and Forest Entomology* **19**:139–145.
- Richmond CE, Breitburg DL, Rose KA. 2005. The role of environmental generalist species in ecosystem function. *Ecological Modelling* **188**:279–295.
- Roschewitz I, Gabriel D, Tschardt T, Thies C. 2005. The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of Applied Ecology* **42**:873–882.
- Rossinelli S, Bacher S. 2015. Higher establishment success in specialized parasitoids: support for the existence of trade-offs in the evolution of specialization. *Functional Ecology* **29**:277–284.
- Saha T, Chandran N. 2017. Chemical ecology and pest management: A review. *International Journal of Chemical Studies* **5**:618–621.
- Santos CDR, Lau D, Redaelli LR, Jahnke SM, Pereira PRVdS, Engel E, Sampaio MV. 2022. Aphid-parasitoids trophic relationship in a cereal crop succession system: Population oscillation and food webs. *Agricultural and Forest Entomology* **24**:516–530.
- Sethi SL, Swenson KG. 1967. Formation of sexuparae in the aphid *Eriosoma lycopersicicola*, on pear roots. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **10**:97–102.
- Shirota Y, Carters N, Rabbinge R, Ankersmit GW. 1983. Biology of *Aphidius rhopalosiphii*, a parasitoid of cereal aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **34**:27–34.
- Sigsgaard L. 2002. A survey of aphids and aphid parasitoids in cereal fields in Denmark, and the parasitoids' role in biological control. *Journal of Applied Entomology* **126**:101–107.
- Smith CM, Boyko EV. 2007. The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. **122**:1–16.
- Starý P. 2006. Aphid parasitoids of the Czech Republic (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae). Academia, Praha.
- Stell E, Meiss H, Lasserre-Joulin F, Therond O. 2022. Towards Predictions of Interaction Dynamics between Cereal Aphids and Their Natural Enemies: A Review. *Insects* (e479) DOI: 10.3390/insects13050479.
- Stevens ANP. 2010. Predation, Herbivory, and Parasitism. Nature Education Knowledge Available from <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/predation-herbivory-and-parasitism-13261134/#> (accessed April 2023).
- Sullivan DJ. 1987. Insect hyperparasitism. *Annual Review of Entomology* **32**:49–70.
- Sunderland KD. 1975. The diet of some predatory arthropods in cereal crops. *Journal of Applied Ecology* **12**:507–515.
- Šefrová H. 2006. Rostlinolékařská entomologie. Konvoj, Brno.
- Thies C et al. 2011. The relationship between agricultural intensification and biological control: experimental tests across Europe. *Ecological Applications* **21**:2187–2196.

- Thomas MB. 1999. Ecological approaches and the development of “truly integrated” pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **96**:5944–5951.
- Thompson RM et al. 2012. Food webs: reconciling the structure and function of biodiversity, *Trends in Ecology and Evolution* **27**:689–697.
- Tomanović Ž, Kavallieratos NG, Ye Z, Nika EP, Petrović A, Vollhardt IMG, Vorburger Ch. 2022. Cereal Aphid Parasitoids in Europe (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae): Taxonomy, Biodiversity, and Ecology. *Insects* (e1142) DOI: 10.3390/insects13121142.
- Tougeron K, Damien M, Le Lann C, Brodeur J, van Baaren J. 2018. Rapid Responses of Winter Aphid-Parasitoid Communities to Climate Warming. *Frontiers in Ecology and Evolution* **6**:1–9.
- Tougeron K, Brodeur J, Le Lann C, van Baaren J. 2020. How climate change affects the seasonal ecology of insect parasitoids. *Ecological Entomology* **45**:167–181.
- Urban RJ, Šarapatka B. 2003. *Ekologické zemědělství: učebnice pro školy i praxi, I. díl*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- van den Bosch R. 1971. Biological Control of Insects. *Annual Review of Ecology and Systematics* **2**:45–66.
- Venables WN, Ripley BD. 2002. *Modern Applied Statistics with S*, Fourth edition. Springer, New York. Available from <https://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/> (assessed April 2023).
- Veres A, Petit S, Conord C, Lavigne C. 2013. Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **166**:110–117.
- Völkl W. 1992. Aphids or their parasitoids: who actually benefits from ant-attendance? *Journal of Animal Ecology* **61**:273–281.
- Völkl W, Mackauer M, Pell JK, Brodeur J. 2007. Predators, Parasitoids and Pathogens. Pages 187-215 in van Emden HF, Harrington R, editors. *Aphids as Crop Pests*. CAB International, London.
- Vollhardt IMG, Tschamntke T, Wäckers FL, Bianchi FJJA, Thies C. 2008. Diversity of cereal aphid parasitoids in simple and complex landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **126**:289–292.
- Vostřel J, Klapal I, Kudrna T. 2008. *Metodika ochrany chmele proti mšici chmelové (Phorodon humuli Schrank)*. Metodika pro praxi. Chmelařský institut s.r.o., Žatec.
- Wäckers FL. 2000. Do oligosaccharides reduce the suitability of honeydew for predators and parasitoids? A further facet to the function of insect-synthesized honeydew sugars. *Oikos* **90**:197–201.
- Wäckers FL, van Rijn PCJ, Heimpel GE. 2008. Honeydew as a food source for natural enemies: making the best of a bad meal? *Biological Control* **45**:176–184.

- Walters KFA, Dewar AM. 1986. Overwintering Strategy and the Timing of the Spring migration of the Cereal Aphids *Sitobion avenae* and *Sitobion fragariae*. *Journal of Applied Ecology* **23**:905–915.
- Wang Z-Z, Liu Y-q, Shi M, Huang J-h, Chen X-x. 2019 Parasitoid wasps as effective biological control agents. *Journal of Integrative Agriculture* **18**:705–715.
- Wei K, Wang XY, Yang ZQ. 2016. Effects of supplementary nutrition on parasitism ability and developmental process of a gregarious parasitoid, *Sclerodermus pupariae*(Hymenoptera: Bethyilidae). *Forest Research* **29**:369–376.
- Wickham H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. Available from <https://ggplot2.tidyverse.org> (assessed April 2023).
- Wickham H, François R, Henry L, Müller K, Vaughan D. 2023. *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. Available from <https://dplyr.tidyverse.org>, <https://github.com/tidyverse/dplyr> (assessed April 2023).
- Williams IS, Dixon AFG. 2007. Life Cycles and Polymorphism. Pages 69-81 in van Emden HF, Harrington R, editors. *Aphids as Crop Pests*. CAB International, London.
- Yang NW, Zang LS, Wang S, Guo JY, Xu HX, Zhang F, Wan FH. 2014. Biological pest management by predators and parasitoids in the greenhouse vegetables in China. *Biological Control* **68**:92–102.
- Zhao ZH, Hui C, Hardev S, Fang OY, Dong Z, Ge F. 2014. Responses of cereal aphids and their parasitic wasps to landscape complexity. *Journal of Economic Entomology* **107**:630–637.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

ČR – Česká republika

BYDV - luteovirus žluté zakrslosti ječmene

CYDV- polerovirus žluté zakrslosti obilnin

EZ - ekologické zemědělství

IOR - integrovaná ochrana rostlin

JZD – jednotné zemědělské družstvo

MDMV- virus zakrslé mozaiky kukuřice

SCMV- virus mozaiky cukrové třtiny

VÚRV- Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

WDV- vir zakrslosti pšenice

10 Samostatné přílohy

10.1 Seznam samostatných příloh

Příloha 1. Chovné klece se vzrostlou pšenicí setou	II
Příloha 2. Uložení mumií mšic v celulozových tobolkách a ZIP sáčcích s popisem	II
Příloha 3. Uložení vylíhlých parazitoidů ve zkumace Eppendorf s popisem	III
Příloha 4. Mumifikovaná mšice <i>S. avenae</i>	III
Příloha 5. Mumifikovaná mšice <i>R. padi</i>	IV
Příloha 6. Mumifikovaná mšice <i>M. dirhodum</i> s výletovým otvorem	IV
Příloha 7. Primární parazitoid rodu <i>Aphelinus</i>	V
Příloha 8. Primární parazitoid <i>A. rhopalosiphi</i>	V
Příloha 9. Primární parazitoid <i>A. matricariae</i>	VI
Příloha 10. Primární parazitoid rodu <i>Ephedrus</i>	VI
Příloha 11. Primární parazitoid rodu <i>Praon</i>	VII
Příloha 12. Hyperparazitoid rodu <i>Asaphes</i>	VII
Příloha 13. Hyperparazitoid rodu <i>Dendrocerus</i>	VIII
Příloha 14. Hyperparazitoid rodu <i>Alloxysta</i>	VIII
Příloha 15. Hyperparazitoid rodu <i>Phaenoghyphis</i>	IX
Příloha 16. Hyperparazitoid rodu <i>Coruna</i>	IX



Příloha 1. Chovné klece se vzrostlou pšenící setou; zdroj: autorka práce



Příloha 2. Uložení mumií mšic v celulozových tobolkách a ZIP sáčcích s popisem; zdroj: autorka práce



Příloha 3. Uložení vylíhlých parazitoidů ve zkumavce Eppendorf s popisem; zdroj: autorka práce



Příloha 4. Mumifikovaná mšice *S. avenae*; zdroj: autorka práce



Příloha 5. Mumifikovaná mšice *R. padi*; zdroj: autorka práce



Příloha 6. Mumifikovaná mšice *M. dirhodum* s výletovým otvorem; zdroj: autorka práce



Příloha 7. Primární parazitoid rodu *Aphelinus*; zdroj: autorka práce



Příloha 8. Primární parazitoid *A. rhopalosiphi*; zdroj: autorka práce



Příloha 9. Primární parazitoid *A. matricariae*; zdroj: autorka práce



Příloha 10. Primární parazitoid rodu *Ephedrus*; zdroj: autorka práce



Příloha 11. Primární parazitoid rodu *Praon*; zdroj: autorka práce



Příloha 12. Hyperparazitoid rodu *Asaphes*; zdroj: autorka práce



Příloha 13. Hyperparazitoid rodu *Dendrocerus*; zdroj: autorka práce



Příloha 14. Hyperparazitoid rodu *Alloxysta*; zdroj: autorka práce



Příloha 15. Hyperparazitoid rodu *Phaenoghyphis*; zdroj: autorka práce



Příloha 16. Hyperparazitoid rodu *Coruna*; zdroj: autorka práce