

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra ochrany rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Účinnost potenciálních nových chemických
prostředků ochrany řepy
proti mšicím**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Ivana Opletalová

Obor studia: Rostlinolékařství

Vedoucí práce: RNDr. Jan Raška, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Účinnost potenciálních nových chemických prostředků ochrany řepy proti mšicím" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21. 4. 2024

Poděkování

Touto cestou bych velmi ráda poděkovala vedoucímu této práce RNDr. Janu Raškovi, Ph.D., za nekonečnou trpělivost a rady, a to hlavně v posledních dnech těsně před odevzdáním. Dále bych chtěla poděkovat za poskytnutí mšic broskvoňových Ing. Jibanu Kumarovi, Ph.D. z VÚRV v.v.i., Praha Ruzyně. V neposlední řadě chci věnovat velké díky svým nejbližším, kteří mě po celou dobu studia podporovali a provázeli, především mým spolužačkám a budoucím inženýrkám Markétě Mičudové a Karolině Nejedlové za podporu při studiu a psaní této práce, mimo jiné ve formě catheringu i brainstormingu.

Účinnost potenciálních nových chemických prostředků ochrany řepy proti mšicím

-

Souhrn

Mšice broskvoňová (*Myzus persicae*) je významným polyfágním kosmopolitním škůdcem, který způsobuje závažné škody na řepě cukrové (*Beta vulgaris* var. *altissima*) především přenosem virových chorob. Ochrana vůči mšici broskvoňové byla v Evropské unii ztížena zákazem určitých neonikotinových mořidel, jež byly dříve účinnou metodou regulace širokého spektra škůdců. V této souvislosti je nyní cílem nalézt vhodné alternativní prostředky a opatření, včetně rozšíření spektra insekticidů, které by byly vůči tomuto škůdci účinné.

Účinnost vůči mšici broskvoňové byla posuzována na základě průměrné mortality, přičemž byly testovány čtyři insekticidy: Sanium Ultra, Benevia, Spintor a Mospilan 20 SP. Experiment probíhal v laboratorních podmínkách, ve kterých bylo na dvacet jednotlivých listů řepy obecné (*Beta vulgaris*) pomocí štětečku přesunuto 15 jedinců mšic broskvoňových. Po uplynutí 15 minut byl na všech 20 listů aplikován postřik insekticidu. Ošetřené listy byly následně po dobu 24 hodin uchovány za stabilních laboratorních podmínek. Po uplynulých 24 hodinách bylo zaznamenáno množství mšic, které nebyly usmrceny.

Insekticid Sanium Ultra vykazoval nejmenší průměrné hodnoty mortality mšic (20,7 %). Tato hodnota byla překvapivá, jelikož tento insekticid byl v experimentu stanoven jako pozitivní kontrola, a tudíž se očekávala jeho vysoká účinnost. Přípravek Spintor se s 22,7% průměrnou mortalitou neprojevil jako vhodný přípravek vůči mšici broskvoňové. Naopak nadějný potenciál prokázal insekticid Benevia, který dosahoval 47,3 % průměrné mortality mšic, který by nejspíše při odlišně koncipovaném experimentu, přesněji řečeno s celými rostlinami, mohl vykázat vyšší účinnky. Nejúčinnějším insekticidem se ukázal Mospilan 20 SP, jehož průměrná mortalita byla stanovena na 90,7 %.

Výstupy experimentů této diplomové práce nevyhodnotily insekticidy Sanium Ultra a Spintor jakožto vhodné kandidáty k rozšíření přípravků na ochranu řepy cukrové za cílem regulace mšice broskvoňové a šířením virových chorob s ní spjatých. Vysoký potenciál byl zjištěn u insekticidů Benevia a Mospilan 20 SP, které by tím pádem mohly rozšířit počet přípravků, které se již do porostů cukrové řepy využívají, což by mohlo posílit možnosti pro dodržování antirezistentních strategií.

Klíčová slova: chemická ochrana rostlin, insekticidy, mšice, pesticidy, řepa

Efficacy of potential new chemical substances for protection of beet crops against aphids

Summary

The peach aphid (*Myzus persicae*) is an important polyphagous cosmopolitan pest that causes serious damage to sugar beet (*Beta vulgaris* var. *altissima*) mainly through the transmission of viral diseases. Protection against peach aphid has been made more difficult in the European Union by the banning of certain neonicotin stains, which were previously an effective method of controlling a wide range of pests. In this context, the goal is now to find suitable alternative means and measures, including expanding the spectrum of insecticides, which would be effective against this pest.

Efficacy against peach aphid was assessed based on average mortality, with four insecticides tested: Sanium Ultra, Benevia, Spintor and Mospilan 20 SP. The experiment took place in laboratory conditions, in which 15 individuals of peach aphids were moved to twenty individual leaves of beetroot (*Beta vulgaris*) using a brush. After 15 minutes, an insecticide spray was applied to all 20 leaves. The treated leaves were then kept under stable laboratory conditions for 24 hours. After 24 hours, the number of aphids that were not killed was recorded.

Sanium Ultra insecticide showed the lowest average aphid mortality values (20.7%). This value was surprising, since this insecticide was established as a positive control in the experiment, and therefore its high efficiency was expected. With 22.7% average mortality, the product Spintor did not prove to be a suitable product against the peach aphid. On the contrary, Benevia insecticide showed promising potential, reaching 47.3% of the average mortality of aphids, which could probably show higher effects in a differently designed experiment, more precisely with whole plants. The most effective insecticide proved to be Mospilan 20 SP, whose average mortality was set at 90.7%.

The results of the experiments of this diploma thesis did not evaluate Sanium Ultra and Spintor insecticides as suitable candidates for the expansion of sugar beet protection products with the aim of controlling the peach aphid and the spread of viral diseases associated with it. A high potential was found for the insecticides Benevia and Mospilan 20 SP, which could thus expand the number of preparations that are already used in sugar beet stands, which could strengthen the possibilities for compliance with anti-resistance strategies.

Keywords: chemical plant protection, insecticides, aphids, pesticides, beet

Obsah

1 Úvod.....	- 1 -
2 Vědecká hypotéza a cíle práce.....	- 2 -
3 Literární rešerše	- 3 -
3.1 Role pesticidů v zemědělství.....	- 3 -
3.2 Mšice broskvoňová (<i>Myzus persicae</i> (Sulzer, 1776))	- 4 -
3.2.1 Rozmnožování mšic	- 5 -
3.2.2 Životní cyklus	- 6 -
3.2.3 Škody způsobené mšicemi.....	- 6 -
3.2.4 Rezistence	- 7 -
3.3 Řepa obecná (<i>Beta vulgaris</i>).....	- 8 -
3.3.1 Řepa cukrová (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>altissima</i>).....	- 8 -
3.4 Potencionální insekticidy v ochraně řepy cukrové vůči mšici broskvoňové- 11 -	
3.4.1 Diamidy	- 11 -
3.4.2 Neonikotinoidy.....	- 14 -
3.4.3 Pyrethroidy.....	- 17 -
3.4.4 Biopesticidy	- 21 -
4 Metodika.....	- 24 -
4.1 Vysetí rostlin řepy obecné (<i>Beta vulgaris</i>)	- 24 -
4.2 Založení chovu mšic broskvoňových (<i>Myzus persicae</i>).....	- 24 -
4.3 Průběh experimentu.....	- 24 -
4.4 Použité insekticidy	- 25 -
4.5 Statistické zpracování dat	- 25 -
5 Výsledky.....	- 26 -
5.1 Mortalita mšic broskvoňových.....	- 26 -
5.2 Výstupy z programu R a Statistica	- 26 -
6 Diskuze.....	- 28 -
6.1 Sanium Ultra	- 28 -
6.2 Spintor.....	- 29 -
6.3 Benevia	- 29 -
6.4 Mospilan 20 SP	- 30 -
7 Závěr	- 31 -
8 Literatura	- 32 -

1 Úvod

Z důvodu zhoršování životního prostředí a úbytku prospěšného hmyzu se po celém světě uplatňují opatření zaměřená na eliminaci a omezování nebezpečných chemických látek včetně pesticidů, které mohou ohrožovat celé ekosystémy, životní prostředí a v některých případech i člověka (Mahmood et al. 2016). Evropská unie k této problematice přistupuje aktivně, přijímá a vydává opatření, které omezují používání problematických pesticidů a mnohé z nich dokonce zcela zakázala (Kudsk & Mathiassen 2020).

Mezi přijatá opatření můžeme zařadit zákaz určitých neonikotinových insekticidů, které byly dříve používány k moření osiva cukrové řepy. Tento typ moření zajišťoval vysokou úroveň ochrany vůči škůdcům, zejména vůči mšici broskvoňové (Bittner 2012), která je významným přenašečem virových chorob cukrové řepy, jež jsou schopny rapidně snížit její výnosy (Chochola 2021).

S ohledem na význam této plodiny je nezbytné zkoumat alternativní metody ochrany vůči jejím škůdcům, včetně rozšíření spektra insekticidů. Insekticidy by však měly být důkladně posouzeny z hlediska jejich účinnosti vůči cílovému škůdci, ale i vůči necílových organismů, lidského zdraví a jejich dalších vlivů na ekosystém (Verheggen et al. 2022).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Testovaná hypotéza:

Proti mšici broskvoňové, významnému škůdci řepy, mohou být účinné insekticidy, které v současnosti nejsou pro použití na řepě schváleny.

Cíle práce:

Diplomová práce si klade za cíl experimentálně studovat možnosti rozšíření v současnosti omezeného spektra insekticidů používaných na řepě. Jako modelový druh přitom bude využita mšice broskvoňová jakožto velmi významný škůdce. Mortalita mšic po aplikaci pesticidů bude měřena za standardizovaných laboratorních podmínek.

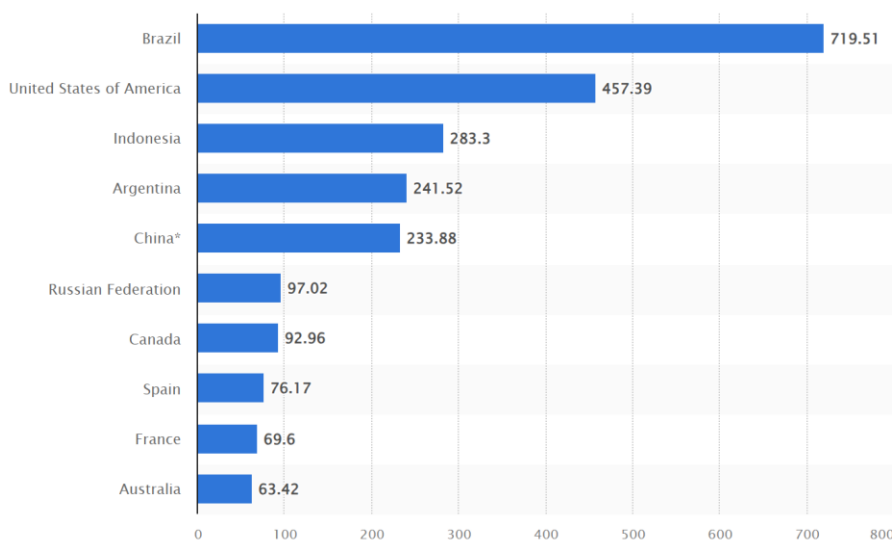
3 Literární rešerše

3.1 Role pesticidů v zemědělství

Ochrana zemědělských plodin před škůdci, patogeny a plevelnými rostlinami je součástí lidské civilizace již více než 6,5 tisíc let. Z počátku byly využívány látky přírodního původu, následované od 19. století výrobou syntetických anorganických sloučenin. V období po druhé světové válce nastala masová výroba a využívání nových syntetických pesticidů, které se ukázaly velmi účinnými, což vedlo k velkému nárůstu produkce zemědělských plodin. U mnohých z využívaných pesticidů byly prokázány toxické účinky vůči životnímu prostředí, necílových organismů včetně člověka. Z těchto důvodů se zemědělství v posledních letech zaměřuje na ohleduplné způsoby ochrany vůči ekosystémům (Bernardes et al. 2015).

Spotřeba pesticidů v zemědělství se za posledních 20 let pohybovala okolo tří milionů tun ročně. Nejvíce jsou využívány herbicidy, v celosvětovém průměru se jedná téměř o polovinu všech druhů využívaných pesticidů. Fungicidy a insekticidy jsou využívány v podobných objemech, lehce pod jednu čtvrtinu celkové spotřeby (FAO 2023). Největším spotřebitelem pesticidů je bezpochyby Brazílie, kde se na zemědělskou půdu v roce 2021 aplikovalo přes 719 tisíc tun těchto látek. Hned na druhém místě stojí USA s 457 tisíci tunami a Čína s konkrétně 233 tisíc tunami (Obrázek č. 1) (Statista 2021).

V Evropské unii patří mezi největší spotřebitele pesticidů Španělsko se 76 tisíci tun pesticidů a Francie s 69 tisíci tun pesticidů (Statista 2021). V České republice byla tato hodnota dosahuje kolem 3 800 tun (Worldometer 2019).



Obrázek č. 1: Průměrná roční spotřeba pesticidů, uvedeno v 1000 tunách

Zdroj: (<https://www.statista.com/statistics/1263069/global-pesticide-use-by-country/#:~:text=Global%20pesticide%20agricultural%20use%202021%2C%20by%20leading%20country&text=The%20United%20States%20trailed%20in,metric%20tons%20in%20that%20year.>)

Používání pesticidů sebou ale nese mnohá rizika v podobě negativních a toxických účinků vůči necílovým organismům, rostlinám, lidem a všeobecně schopnosti narušovat životní cykly v životním prostředí (Mahmood et al. 2016). Z těchto důvodů vznikají předpisy a regulace v ohledu využívání pesticidů a chemických látek. Právní předpisy v Evropské unii týkající se pesticidů jsou obecně považovány za jedny z nejkompexnějších a nejpřísnějších na světě (Kudsk & Mathiassen 2020). Regulaci pesticidů má pod dohledem balíček právních předpisů, který tvoří směrnice 2009/128/ES o udržitelném používání pesticidů (SUD), jejímž cílem je snížit rizika pro životní prostředí a zdraví a současně zachovat úroveň produkce plodin, a to tak, že se zkvalitní kontrola používání a distribuce pesticidů. Zároveň byl stanoven cíl prosazovat alternativní způsoby a přípravky na ochranu rostlin, což by mělo nahradit případnou stávající a regulovanou ochranu (Amanatidis & Curmei 2023). K dalším regulacím také napomohla Tematická strategie udržitelného používání pesticidů (Kudsk & Mathiassen 2020) a Zelená dohoda pro Evropu. Tyto opatření a dokumenty vedly k velkému snížení počtu pesticidů v registru přípravků na ochranu rostlin (Amanatidis & Curmei 2023). Mezi účinné látky, které byly omezeny nebo zakázány, patřil například: chlorothalonil (široko-spektrální fungicid) (Kiefer et al. 2020); clothianidin, imidakloprid a thiametoxam (účinné látky ze skupiny neonikotinoidů) (European Commission 2024), chlorpyrifos (organofosfát) a mnohé další (EFSA 2019).

V současné době se společnost právě kvůli možným negativním vlivům přiklání k omezování chemických látek v zemědělství a jsou hledány možné alternativy, které by nebyly velkou zátěží pro životní prostředí, a to kupříkladu i za pomoci moderních technologií, geneticky modifikovaných plodin (GMO) (Bernardes et al. 2015) anebo CRISPR/Cas9 metody, při které je upravován genom rostliny (Movahedi et al. 2023).

Regulace a omezování počtu pesticidů s různými mechanismy účinku s sebou ovšem nese několik rizik, které je nutno brát v úvahu. Jedním z rizik je nárůst rezistence škodlivých organismů anebo plevelů, jelikož z důvodu omezení registrovaných látek není v některých případech možné sestavit dostačující antirezistentní strategii (Moss et al. 2019). Zemědělci také uvádějí, že byli nuceni zvýšit náklady a množství používaných insekticidů k ochraně plodin (Kathage et al. 2018). Na území Velké Británie byly již v důsledku zákazu neonikotinových mořidel zaznamenány ztráty na výnosech řepky olejné způsobené dřepčikem olejkovým a nárůst jeho rezistence vůči insekticidům ze skupiny pyretroidů (Scott & Bilsborrow 2019).

Omezení mořidel postihuje taktéž výnosy řepy cukrové, která je pro Českou republiku taktéž důležitou plodinou. Ve Velké Británii byl zaznamenán vysoký úbytek výnosů z důvodu zákazu mořidel, který vedl k nedostatečné ochraně vůči mšici broskvoňové, která je důležitým přenašečem nejen závažných virových žlutenek, které snižují výnos řepy cukrové (Dewar & Qi 2021), ale i dalších nebezpečných rostlinných virů brambor či brukvovitých (CABI 2021).

3.2 Mšice broskvoňová (*Myzus persicae* (Sulzer, 1776))

Tento drobný hmyz s různorodou barevností (od různých odstínů zelené až po narůžovělou a červenou) s rozměry těla pohybující se mezi 1,4 až 2,5 mm (Šefrová 2014) a je rozšířen takřka po celém světě. Velkému rozptýlení pomáhá snadné šíření za pomoci větru a

bouřek a také její široká polyfágie (Capinera 2001). Řadí se do řádu polokřídli (Hemiptera) a čeledi mšicovití (Aphididae) (Capinera 2001).

Mšice broskvoňová napadá hospodářsky významné, okrasné či plevelné rostliny z více než čtyřiceti čeledí (CABI 2021). Největší ekonomické škody na území České republiky způsobuje na těchto zemědělských plodinách: brukev řepka olejka, řepa cukrová a lilek brambor (především sadby) (UKZÚZ 2024).

Poznávacích znaků má mšice broskvoňová hned několik. Tykadla jsou typicky kratší než tělo a vyrůstají z nápadných čelních sbíhajících se hrbolků. Na hlavě najdeme zrnitou kutikulu a oči zbarvené do červena. Další charakteristikou je kuželovitá kauda se třemi páry štětin. Neokřídlené samičky mají oválné tělo, jasně zelenou, žlutou či hnědočervenou barvu a tenké dlouhé sifunkuly (CABI 2021).

3.2.1 Rozmnožování mšic

Mšice broskvoňová se vyznačuje složitým a variabilním systémem rozmnožování, může se rozmnožovat pohlavně (za vzniku vajíčka) i nepohlavně. Typem nepohlavního rozmnožování u mšice broskvoňové je partenogeneze. Jedná se o typ rozmnožování, kdy se za optimálních podmínek jedna partenogenetická generace (od narození nymfy po dospělce) uskuteční během 8-10 dnů. Při partenogenezi se potomstvo vyvíjí z neoplozených vajíček uvnitř samičky (samičky mohou produkovat potomstvo bez páření se samci). V neoplozeném vajíčku dochází meióze a tzv. terminální fúzi, jejímž výsledkem je potomek, který je geneticky podobný matce, ale i přesto má určitou genetickou variabilitu (Simon et al. 2002). Ta je pro tento druh důležitá k předávání rezistence vůči insekticidům (Bass et al. 2015), přizpůsobení se výkyvům prostředí, přizpůsobení se hostitelské rostlině a má vliv i na schopnost přenosu virových chorob (Blackman & Eastop 2000).

Výhodou partenogeneze můžeme označit snadnější a rychlejší rozmnožování, které má za následek rozsáhlou a rychlejší kolonizaci nových oblastí, což může přispívat k šíření rostlinných virů (CABI 2021). Nevýhodou partenogeneze je akumulace mutací, které mohou vznikat a mít negativní vliv na fitness a životní cyklus mšic (Normark & Moran 2000).

U mšic rozlišujeme tzv. cyklickou partenogenezi (holocyklická), kdy se během jednoho ročního cyklu několikrát rozmnožují na letních hostitelích partenogeneticky a jednou pohlavně na zimním hostiteli. Další strategií je obligátní partenogeneze (anholocyklická), která se vyznačuje ztrátou schopnosti pohlavního rozmnožování, ale i přes to se mohou v populacích objevit samci (Blackman 1972). Schémata druhů rozmnožování jsou popsány na obrázku č. 4. Jedním z důvodů vyvinutí obligátní partenogeneze je fakt, že tvoření pohlavní generace a vajíček je energeticky náročnější ve srovnání s živorodou partenogenezí (Dedryver et al. 2001). Je vhodné dodat, že mšice s cyklickou partenogenezí se vyznačují větší genetickou variabilitou (Delmotte et al. 2002).

Způsob rozmnožování mšic závisí na oblasti a klimatu, kde se daná populace nachází. V oblastech s tuhou zimou se vyskytují mšice s cyklickou partenogenezí, jelikož přezimují ve stádiu vajíčka, tudíž je nutné pohlavní rozmnožování na zimním hostiteli. V místech s teplou zimou (s absencí teplot pod - 10 °C) mohou obligátně partenogenetické mšice přezimovat na

letních hostitelích jakožto dospělé samice anebo nymfy (Guillemaud et al. 2003). V oblastech mírného pásma mohou společně existovat dva způsoby rozmnožování, což je již pozorováno na území České republiky, navíc tento způsob přezimování může vést k dřívějšímu napadení zemědělských plodin (Rychlý 2021).

3.2.2 Životní cyklus

Mšice broskvoňová je dicyklický druh, který střídá zimního (primárního) a letního (sekundárního) hostitele. Zimním hostitelem je broskvoň obecná (*Prunus persica*) anebo kustovnice cizí (*Lycium barbarum*) (UKZÚZ 2024), v jejichž kůře v blízkosti pupenů a v jizvách na bázi nejmladších výhonů přezimují černá vajíčka. Diapauza vajíček je ukončena na konci ledna a rychlost vývoje je závislá na teplotě. Suma efektivních teplot (SET) pro dokončení vývoje vajíček byla stanovena na 45,2 °C, při spodním prahu vývoje 3,1 °C. Sumou efektivních hodnot se rozumí součet efektivních teplot nad spodním prahem vývoje za určité období. Na počátku rašení pupenů se z vajíček líhnou mšice zakladatelky (fundatrices) a začínají sát na pupenech (Beránková & Kocourek 1989). K dokončení vývoje zakladatelek bylo SET stanoveno na 253,7 °C (Beránková & Kocourek 1989), při spodním prahu vývoje 4,13 ± 0,38 °C (Shah et al. 2022), což obvykle bývá v druhé polovině dubna. Zakladatelky partenogeneticky zakládají další dvě generace bezkřídlých samic (fundatrigenie) a ve třetí generaci se začínají objevovat okřídlené mšice, při SET 533,5°C (Beránková & Kocourek 1989) a spodním prahem vývoje 4.35 ± 0.74 °C pro okřídlené formy (Shah et al. 2022). Ve čtvrté generaci, která se obvykle objevuje v květnu, převažují okřídlení samice, které přelétávají na letní hostitele (Beránková & Kocourek 1989).

Na letních hostitelích se vyvine 6 až 10 generací, s výskytem neokřídlených i okřídlených forem, které přelétávají na další hostitelské rostliny (UKZÚZ 2024). V předposlední generaci v průběhu září okřídlené samičky (gynopary) přelétávají zpět na zimní hostitele. V poslední generaci se vyvíjejí okřídlení samci, kteří v průběhu října přelétají na broskvoně, kde se na přelomu listopadu páří s neokřídlenými samičkami, které jsou potomky gynopar. Oplodněné samičky (ovipary) kladou 4 – 13 vajíček (Beránková & Kocourek 1989).

3.2.3 Škody způsobené mšicemi

Primární přímé poškození způsobují mšice sáním (deformace či chloróza listů). Poškození způsobené bodavě savým ústním ústrojím se u mšic broskvoňových většinou neprojevuje, jelikož se obvykle objevují v menších počtech a nevytvářejí početné kolonie (CABI 2021). Výjimkou jsou brambory, kde poškození sáním může způsobit značné ztráty na výnosech (Sexton et al. 2005). Poškození sáním najdeme i na listech paprik a okrasných rostlin ve sklenicích (CABI 2021), či na rašících listech broskvoní v jarním období (Barbagallo et al. 2007).

Velké přímé škody sáním oproti mšicím broskvoňovým způsobuje kupříkladu mšice švestková (*Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762)), která tvoří kolonie a viditelně deformuje listy a produkuje při tom velké množství medovice (Fryč & Rychlý 2014). Medovice vzniká filtrací

šťávy, kterou mšice aktivně vysávají z floému rostliny. Tato šťáva obsahuje velké množství sacharidů, ale málo bílkovin (Mahr 2024). Z tohoto důvodu se u všech druhů mšic vyvinula tzv. filtrační komora, která vstřebává bílkoviny do trávicího traktu mšic a přebytečné cukry a vodu vylučuje kaudou v již zmíněné formě medovice (Mróz et al. 2016). Ta na povrchu rostlin ulpívá, ucpává dýchací průduchy a tvoří lepkavý povrch, kterým často prorůstají saprofytické houby, tzv. černě, které zastiňují povrch rostliny a blokují tím průběh fotosyntézy (Rod 2017).

Nejdůležitější škody páchá tato mšice jako přenašeč (vektor) virových chorob. Bylo prokázáno, že tento druh mšice přenáší více než 180 virových onemocnění rostlin přibližně 30 různých čeledí (CABI 2021). Viry se dostávají do těla mšic při příjmu potravy z infikované rostliny. Způsob uchování viru v těle přenašeče a čas, který je zapotřebí k nasátí virových částic a posléze získání schopnosti infikovat další rostliny, je nazýván jako celační doba viru. Ta rozděluje přenos virů do tří skupin: perzistentní, semiperzistentní a neperzistentní (Agromanuál 2020).

Při perzistentním přenosu se virus dostane spolu s potravou do zažívacího traktu, následně do hemolymfy a do slin, jimiž je pak případně při sání infikována jiná rostlina (Hausvater et al. 2014). Celační doba viru je delší než tři hodiny (Agromanuál 2020) a virus se často ve vektoru udržuje a reprodukuje i po celý jeho život (Fryč & Rychlý 2018). Mezi významné viry s perzistentním přenosem můžeme zmínit virus mozaiky hrachu (PEMV) a virovou svinutku bramboru (PLRV) (CABI 2021).

U semiperzistentního přenosu virů je celační doba kratší než tři hodiny. Virus prochází zažívacím traktem do slinných žláz a mšice je infekční pouze do vyčerpání všech nasátých virových částic (Agromanuál 2020).

U neperzistentního přenosu se virus většinou dostává pouze do stiletu (část ústního ústrojí), díky němuž je i přenášen. Tyto viry mají díky tomu pouze krátkou dobu infekčnosti, může se jednat pouze o minuty, což souvisí i s rozšířením přenosu virů v okruhu pár stovek metrů (120–300 m) (Fryč & Rychlý 2018). Mezi neperzistentní viry, které přenáší, patří kupříkladu Y virus bramboru (PVY) anebo virus šarky švestky (PPV) (CABI 2021).

3.2.4 Rezistence

Intenzivní používání chemické ochrany proti mšici broskvoňové vedlo k vytvoření populací odolných vůči několika třídám insekticidů, a to i ve formě mnohočetné rezistence (rezistence jedné populace proti několika skupinám látek s různým mechanismem účinku). Bylo identifikováno alespoň sedm různých mechanismů rezistence, které jsou založeny na mutacích, nadprodukci detoxikačních mechanismů anebo na jiných biochemických a molekulárních procesech (Bass et al. 2014). Některé populace mšic si také osvojily schopnost vyhýbat rostlinám, na které byl aplikován insekticid (Fray et al. 2014).

Ve světě byla rezistence prokázána pro organofosfáty, karbamáty, pyrethroidy i neonikotinoidy (Bass et al. 2011). V České republice byly populace mšic testovány v letech 2019–2021 z různých lokací. Plošný výskyt rezistentních populací byl potvrzen u pyrethroidů a karbamátů. Z 11 hodnocených populací se vyskytly 4 rezistentní populace vůči Pirimor 50 (pirimikarb) a 2 rezistentní vůči Mospilanu 20 SP (acetamiprid). Naopak přípravky, na které

byly mšice v těchto pokusech citlivé, patřilo Movento 100 SC (spirotetramat) a Teppeki (flonikamid). Z pokusů byla také zjištěna křížová rezistence, a to mezi acetamidem a pirimikarbem (Kocourek 2022).

V podmínkách střední Evropy převažují mšice s cyklickou partenogenezí. Lze tedy předpokládat, že na tomto území je rezistence přenášena přes přezimující pohlavní generaci a v následujícím roce se šíří přes řadu plodin a plevelů přes intenzivně ošetřované plochy jako je řepa cukrová, sadbové brambory a polní zelenina (Kocourek 2022).

K zabránění šíření a získávání rezistence je důležité dodržování antirezistentních strategií. U ochrany proti mšici broskvoňové by ke zpomalení získávání rezistence bylo třeba sjednocení spektra používaných přípravků ve všech plodinách a rozšíření sortimentu registrovaných účinných látek s odlišným mechanismem účinku. Toto téma je aktuální i pro řepu (*Beta vulgaris*), jmenovitě pro řepu cukrovou (Kocourek 2023).

3.3 Řepa obecná (*Beta vulgaris*)

Řepa obecná je rostlina z čeledi laskavcovité (Amaranthaceae) s křovitým kořenem, který je ztloustlý v bulvu. Hrubě rýhovaná přímá lodyha může dosahovat délky až 150 cm a v horní části bývá větvena, celá rostlina je lysá. Květy, které se tvoří druhým rokem, jsou uspořádány v klubíčkách či jsou jednotlivě uspořádány v úžlabí listenů. Plody mají světle hnědou barvu a jsou jednoklíčkové (Hejný & Slavík 2003). V současné době se řepa obecná člení do pěti variet: *altissima* (řepa cukrová), *cicla* (mangold, cvikla), *rapacea* (krmná řepa), *vulgaris* (červená (salátová) řepa) a *maritima* (řepa přímořská) (UKZÚZ 2024a).

V České republice má největší pěstební význam řepa cukrová, jejíž osevnické plochy se za posledních pět let pohybovaly těsně pod 60 tisíc hektarů. Druhou nejčastěji pěstovanou varietou je červená řepa, která byla za posledních pět let oseta na ploše okolo 1 800 hektarů. V loňském roce se její plocha navýšila o dalších 200 ha. Krmná řepa se v loňských letech pěstovala na zemědělské půdě pouze okolo 350 ha a roku 2023 dosahovala pouhých 226 hektarů. Nejmenší počet hektarů zaujímá mangold a cvikla, o jejichž osevnických plochách ovšem není ve veřejné databázi statistického českého úřadu přímá zmínka (Český statistický úřad 2024).

3.3.1 Řepa cukrová (*Beta vulgaris* var. *altissima*)

V uplynulých pěti letech se celosvětová produkce řepy cukrové pohybovala v průměru okolo 267 milionů tun (Statista 2024), čímž zajišťuje přibližně 35 % celosvětové produkce cukru (Pančíková 2019). Mezi největší pěstitele patří Rusko, Francie, Německo a USA (FAO 2019). Jedná se o důležitou plodinu Evropy, jelikož ta je jejím největším pěstitelem a producentem řepného cukru na světě. Tímto se řepa cukrová bezesporu stává nejvýznamnější a nejpěstovanější varietou celého druhu *Beta vulgaris* (Pančíková 2019).

Cukrovka také hraje důležitou roli v osevním postupu, jelikož je dobrou předplodinou pro obilniny. Při vysoké úrovni pěstování má i odplevelující účinky a při zaorání chrástu se do půdy upraví velké množství živin a organické hmoty (Pančíková 2019).

Pěstování řepy cukrové má dlouhodobou tradici i v českých zemích, a to již od první poloviny 19. století, kdy byla využívána jako technická plodina. Největší rozvoj jejího pěstování proběhl v třicátých letech 19. století, kdy byl vybudován cukrovar Dobruška v Čechách, který je v provozu dodnes (Pančíková 2019). Z hlediska osevních ploch České republiky se v posledních třech letech pohybovaly lehce pod 60 tisíc hektarů a s průměrným hektarovým výnosem 67,51 t/ha (Český statistický úřad 2024). V roce 2022 byl dokonce výnos cukru o 23 % vyšší než v předešlém roce, čímž Česká republika obhájila páté místo v produkci cukru z 19 evropských zemí. Cukr patří mezi komodity, ve kterých je Česká republika soběstačná a také je důležitým vývozním artiklem (Maňasová et al. 2023).

3.3.1.1 Význam mšice broskvoňové jako vektora viróz řepy cukrové

Mšice broskvoňová je přenašečem viru žloutenky řepy, viru mírného žloutnutí řepy, virové mozaiky řepy a viru chlorózy řepy. Většina rostlin je napadena vícero viry najednou. Po napadení a inkubaci tato virová onemocnění snižují asimilační plochu i intenzitu fotosyntézy, jelikož listy žloutnou a mohou se objevovat nekrotické skvrny, což může vést k postupnému odumírání a shazování nejstarších listů. Při brzké infekci mají bulvy nízký výnos. U pozdějšího napadení porostů se snižuje cukernatost a výtěžnost cukru, jelikož se zvyšuje podíl melasotvorných látek (Maňasová et al. 2023). Při infekci od druhé poloviny července nemají virové žloutenky významný vliv na snížení výnosu (Bittner 2012). Zdroje těchto virů mohou být semenáčky řepy a hostitelské plevelné rostliny z čeledi laskavcovité (Amaranthaceae), brukvovité (Brassicaceae), hvězdnicovité (Asteraceae) anebo hluchavkovité (Lamiaceae) (Bittner 2012).

Virus žloutenky řepy (BYV) je řazen do rodu *Closterovirus* a přenáší se semiperzistentně (k přenosu stačí pár minut) především mšicí makovou a mšicí broskvoňovou (Lennefors 2021). Virus mírného žloutnutí řepy (BMYV), rod *Polerovirus*, je perzistentně přenášen především mšicí broskvoňovou. Virus se v těle mšice nemnoží, zůstává v těle jedince po celý život a není přenosný na potomstvo. Infikované rostliny se objevují ohniskově (Bittner 2012). Virus chlorózy řepy (BChV) byl objeven v pozdějších letech a lze ho popsat podobně jako BMYV vir (Ryšánek et al. 2021). Virová mozaika řepy (BtMV), rod *Potyvirus*, je přenášen neperzistentně mšicí broskvoňovou, mšicí makovou a kyjatkou zahradní LATINA (Víchová 2021).

Z hlediska hospodářských škod lze obecně říci, že snížení výnosu je vyšší, čím časněji dojde k napadení. Při napadení virem BYV může dojít ke snížení výnosu cukru až o 50 %, u BMYV přibližně o 30 %, u BChV asi o 25 % (Lennefors 2021) a u BtMV přibližně okolo 20% (Hossain et al. 2021)

Virové choroby na našem území způsobovaly významné škody v produkci cukrovky především před rokem 1990 každých 5 až 7 let. V teplejších oblastech Evropy způsobovaly ztráty každoročně, a to z důvodu schopnosti přezimování mšic ve stadiu dospělce či nymfy. Problémy s virovými žloutenkami vymizely po nástupu neonikotinoidních mořidel, která byla Evropským soudním dvorem zakázána, což vede k předpokladu, že v následujících letech opět významně vzroste význam virových žloutenek (Maňasová et al. 2023).

3.3.1.2 Monitoring mšice broskvoňové a její regulace

Na řepě cukrové se první jedinci objevují od poloviny května do poloviny června a dle příznivosti počasí se zde může vyvinout 6 až 8 generací. Od konce července je cukrovka pro mšici broskvoňovou nevhodná, a proto přelétá na jiné letní hostitele, často do brambor anebo na dvouděložné plevely (Šefrová 2014).

Pro stanovení prahu škodlivosti na řepě cukrové je stanoven podíl napadených rostlin po skončení hlavního přeletu do cukrovky (Ackermann 2013). Letová aktivita a následný přelet je monitorován pomocí sacích pastí typu Johnson-Taylor, které jsou rozmístěny na pěti lokalitách České republiky, jejichž výsledky jsou pravidelně zveřejňovány na rostlinolékařském portále pod názvem Aphid bulletin a jsou srovnávány s dlouhodobým průměrem (UKZÚZ 2024b). Mšice jsou sledovány pět metrů od okraje na deseti rostlinách a na dalších deseti rostlinách ve středu porostu. Rostliny se prohlíží v řádku vždy po deseti krocích a bývá kontrolována vrchní i spodní strana listu, kde se často nacházejí (Ackermann 2013), jelikož mšice obvykle preferují místa, která nejsou vystavena přímému slunečnímu záření a oblasti, které jsou vizuálně zelenější (Fennell et al. 2020). Práh škodlivosti byl u řepy cukrové stanoven na jednu či více bezkřídlých mšic v průměru na jednu rostlinu do 20. června. Od 21. června do 30. června je tento práh posunut na pět a více mšic (UKZÚZ 2024c).

Mezi základní agrotechnická opatření, které vedou k omezení šíření virových žloutenek, patří hluboká orba po sklizni s důsledným zaklopením nebo úklidem rostlinných zbytků, úklidem skládek řepy anebo časnější výsev řepy tak, aby rostliny v období hlavního náletu byly již ve vývojové fázi s 16ti pravými listy a to z toho důvodu, že v rychle zapojených porostech cukrovky bývá škodlivost žloutenek výrazně snížena (Bittner 2012). Dále je to hustý a vyrovnaný porost, jelikož mšice bývají do porostu lákány střídáním ploch zelené a hnědé (rostlinami a volnou půdou) (Maňasová et al. 2023).

Základní a účinnou ochranou proti mšici broskvoňové se do nedávné doby považovalo moření osiva clothiandinem anebo thiamethaxamem (Bittner 2012). Tato mořidla ze skupiny neonikotinoidů chránila jak vzcházející, tak již vzešlou řepu cukrovou po dobu až 8–10 týdnů nejen proti mšicím, ale i ostatním škůdcům, a to dřepčikům (rody *Chaetocnema* a *Phyllotreta*), květilce řepné (*Pegomya hyoscyami* (Panzer, 1809)), maločlenci čárkovitému (*Atomaria linearis* (Stephens, 1830)) a makadlovkám rodu *Scrobipalpa* (Janse, 1951)) (Chochola 2018). Ovšem nařízením Komise EU 2018/783, 2018/784 a 2018/785 ze dne 29. května 2018, kterým bylo změněno nařízení (ES) č. 540/2011 o uvádění rostlinných ochranných přípravků na trh, bylo přijato rapidní omezení o využívání výše uvedených účinných látek. Tyto látky se mohly používat pouze ve sklenících (Kloutvorová 2018), anebo byla povolena aplikace v polních podmínkách pouze v případě při absenci dostatečně účinných alternativ (Venclová et al. 2023). Povolování těchto výjimek bylo zamítnuto Evropským soudním dvorem v rozsudku z 19. 1. 2023 (SAFE 2023).

Postihy a výsledky zákazu neonikotinových mořidel byly popsány již ve Francii. Mezi roky 2006-2019 výnosy řepy na jejím území přesahovaly 80-90 t/ha. V roce 2020, kdy byla tato mořidla ve Francii zakázána, se výnosy pohybovaly pouze okolo 65 t/ha. Tato výrazná změna byla způsobena nedostatečnou ochranou proti mšici broskvoňové, kvůli které byly porosty silně

infikovány virovými žloutenkami (Chochola 2021). Zákaz neonikotinových mořidel vedl ke změně způsobu ochrany řepy cukrové, a to směrem k rapidnímu navýšení počtu aplikací a dávek alternativních insekticidů. Alternativní insekticidy v mnoha případech ale nedosahovaly dostatečné účinnosti k širokému spektru škůdců v řepě cukrové oproti již zakázaným neonikotinoidnímu moření. Mezi alternativní přípravky se řadí například pyretroidy, vůči kterým jsou však někteří škůdci ve značné míře rezistentní (Chochola 2018), navíc v registru přípravků na ochranu rostlin nejsou registrovány účinné látky, které by byly vůči mšicím dostatečně účinné. Jejich počet je také dost omezený, což znesnadňuje dodržování antirezistentní strategie (Maňasová et al. 2023).

V současné době jsou podporovány výzkumy, které by měly zajistit, najít a rozšířit dostatečnou alternativní ochranu pro řepu cukrovou, mimo jiné i přechod na ekologickou produkci cukrové řepy, či pěstování rezistentních odrůd (Verheggen et al. 2022). V následujících kapitolách jsou charakterizovány účinné látky insekticidů, které by mohly být potenciálně využity v ochraně řepy cukrové proti mšici broskvoňové.

3.4 Potencionální insekticidy v ochraně řepy cukrové vůči mšici broskvoňové

3.4.1 Diamidy

Ve dvacátém století byl jako insekticidní přípravek využíván výtažek z rostliny *Ryania speciosa* ryanidin. Tento výtažek byl velmi efektivní proti škůdcům z řádu motýlů, ovšem studie ukázaly, že je vysoce toxický i pro necílové organismy a to i pro savce a člověka (Nauen 2006). Z tohoto důvodu se výzkum zaměřil na vývoj insekticidu s podobným mechanismem účinku, jaký byl objeven u ryanidinu, ovšem za předpokladu, aby jeho toxicita byla cílena na hmyzí zástupce. Tyto kritéria daly za vznik amidovým insekticidům (Du & Fu 2023).

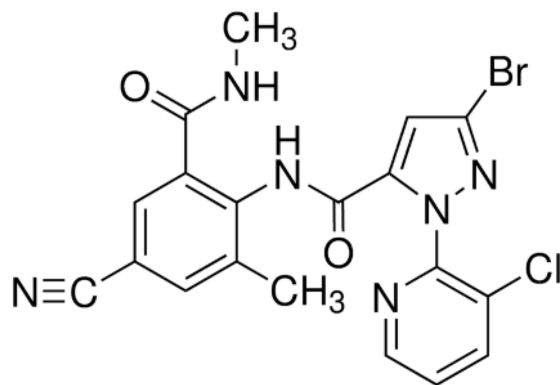
Z hlediska chemické struktury mají všechny diamidové insekticidy aromatické jádro s dvěma amidovými vazbami (Du & Fu 2023) a dle struktury a se dělí do dvou základních skupin: anthranilamidy a ftaldiamidy (diamidy kyseliny ftalové) (Casida 2015).

Prvním komerčně dostupným anthranilamidem se stal roku 2008 chlorantraniliprol, který má vysokou účinnost převážně proti škůdcům z řádu motýli (Lepidoptera). Druhým produktem byl cyantraniliprol, který účinkuje na rozmanitější skupinu škůdců, a to zejména z řádů motýli a polokřídlí (Hemiptera) (Selby et al. 2017). Všeobecně se dá považovat spektrum účinnosti celé diamidové skupiny za široké, jelikož včetně již výše uvedených skupin škůdců, účinkují i na zástupce z řádů brouci, dvoukřídlí a třásnokřídlí (Teixeira & Andaloro 2013).

V České republice jsou registrovány dvě účinné látky z diamidových insekticidů, a to ze skupiny anthranilamidů. Jedná se již o výše zmíněný o cyantraniliprol a chlorantraniliprol, které jsou komerčně dostupné v šesti přípravcích pro ochranu rostlin (Ministerstvo zemědělství 2024).

3.4.1.1 Cyantraniliprol

Cyantraniliprol je anthranilový diamid se sumárním vzorcem $C_{19}H_{14}BrClN_6O_2$ a jehož chemický název dle IUPAC zní 5-bromo-2-(3-chloropyridin-2-yl)-N-[4-cyano-2-methyl-6-(methylcarbamoyl)phenyl]pyrazole-3-carboxamide (PubChem 2024) (Obrázek č. 2). Poprvé byl registrován roku 2014 (EPA 2023) a je prvním diamidem, který dokáže regulovat hmyz, který poškozují rostlinu jak žírem, tak i sáním (Barry et al. 2015).



Obrázek č. 2: Strukturální vzorec cyantraniliprolu
Zdroj: www.sigmaaldrich.cn

V České republice jsou s cyantranilipolem komerčně dostupné tři insekticidy, a to Benevia, Exirel a Fortenza 600FS (Agromanuál 2020).

3.4.1.1.1 Mechanismus účinku, registrace cyantraniliprolu v České republice a jeho rezistence

Cílovým místem k navázání cyantraniliprolu je ryanodinový receptor. Jedná se o kalciový receptor v sarkoplazmatickém retikulu (hladké endoplazmatické retikulum ve svalových vláknech), jehož funkcí je regulovat a uvolňovat vápník z vnitřních zásob buňky (Coronado et al. 1994). Navázání cyantraniliprolu na tyto receptory způsobí nekontrolovatelné uvolňování a následné vyčerpání zásob vápníku ze svalových buněk, což vede k letargii, paralýze a smrti hmyzího jedince (Lahm et al. 2005).

V České republice je tato účinná látka registrována do brambor, kukuřice, zeleniny, vinné révy, ovocných sadů a chmelnic. Lze ji využít vůči širokému spektru škůdců, a to z řádů dvoukřídlí (vrtalky, vrtule), polokřídlí (mšice, molice), třásnokřídlí (třásněnky), motýli (obaleči, zápředníček polní, bělásek zelný a housenky dalších druhů motýlů) i brouci (mandelinka bramborová, lalokonosec libečkový (Ministerstvo zemědělství 2009).

Mechanismus rezistence vůči cyantraniliprolu byl popsán u molice bavlníkové, u které dochází ke zvýšené expresi genu CYP6CX3, díky kterému je hmyzí organismus schopen cyantraniliprol metabolizovat a tudíž snižovat jeho toxické účinky (Wen et al. 2024).

Na území České republiky byla sledována případná rezistence pro mandelinku bramborovou, avšak rezistence ani nízká citlivost pro ni nebyla potvrzena (Kocourek & Stará 2022). Dalším sledovaným škůdcem byla mšice broskvoňová. Její populace na řepce olejné vykazovaly různé hodnoty úmrtnosti v závislosti na konkrétní lokalitě. Na západě Čech a na

severní Moravě vykazovaly mortalitu 95 – 80 %, ovšem v západní části republiky byla mortalita stanovena na 60% (Hovorka & Stará 2020). Je však nutné dodržovat antirezistentní strategii, jako u ostatních insekticidů a střídát cyantraniliprol s jinými účinnými látkami s rozdílným mechanismem účinku, aby nedošlo k vytvoření populací s malou citlivostí a následnou zvyšující se rezistencí vůči tomuto insekticidu (Kocourek & Stará 2022).

3.4.1.1.2 Účinky na necílové organismy

Cyantraniliprol je pro opylovače za určitých podmínek toxický. Při jeho aplikaci na kvetoucí řepku byla zaznamenána vysoká úmrtnost včel medonosných po jejich přímém styku s touto chemikálií. Prokázalo se však, že po uplynutí tří hodin od aplikace této účinné látky na rostlinu nebyla zaznamenána žádná smrtelná nebo toxická reakce včel po jejich přímém styku s ošetřenou rostlinou. Proto je důležité ošetřovat plodiny pouze po denní letové aktivitě včel a tudíž lze říci, že cyantraniliprol je pro včely při správně zemědělské praxi málo rizikový (Dinter & Samel 2015).

Je však vhodné zmínit, že rezidua cyantraniliprolu se kvůli jeho systémovému účinku vyskytují v pylu i nektaru. Jsou zde přítomna ovšem v tak malém množství, že při orálním užití nepředstavují pro včely zdravotní riziko (Dinter & Samel 2015). Nutno podotknout, že dle studie Kim et al. (2022) vykazoval cyantraniliprol v laboratorních podmínkách vysokou akutní i chronickou toxicitu pro larvy včely medonosné. Dle výsledků této studie by toxické účinky mohly nastávat za klasických polních podmínek pouze v důsledku kumulace reziduí cyantraniliprolu v přinesené potravě do úlu dospělci (Kim et al. 2022).

Aplikace cyantraniliprolu se s ohledem na přirozené nepřátele dá považovat za téměř bezpečnou. V experimentech v parcelních pokusech s touto látkou nebyly prokázány velké rozdíly v počtech jedinců predátorů mezi neošetřenou kontrolou a ošetřenými parcelami. Jednalo se o zástupce z řádů síťokřídlých (Neuroptera), pavouků (Araneae) a brouků z čeledi sluněčkovitých (Bojan 2021). Nízká škodlivost a vliv na životní cyklus byl prokázán i pro parazitické vosičky, např. pro rod *Trichogramma* (Westwood, 1833) (Mansour et al. 2023).

Ze studií lze vyvodit, že díky nízké toxicitě vůči užitečným organismům a absenci křížové rezistence s jinými insekticidy je cyantraniliprol vhodnou volbou do programů integrované ochrany rostlin a antirezistentních strategií (Lahm et al. 2007).

Z hlediska savců nebyla za klasických polních podmínek zaznamenána významná toxicita při orální, kontaktní či inhalační expozici cyantraniliprolu (EPA 2018). Oxidační stres a negativní změny v morfologii pohlavních orgánů potkanů byly prokázány při orálním podávání cyantraniliprolu po dobu několika dnů (Scarton et al. 2022).

3.4.1.1.3 Perzistence, pohyb a charakter v životním prostředí

Zdokumentovaný poločas rozpadu cyantraniliprolu v půdě s aerobními podmínkami se pohybuje mezi 16–89 dny v závislosti na fyzikálně-chemických podmínkách prostředí (EPA 2014). Mezi faktory, které podporují rychlejší degradaci cyantraniliprolu v půdě, patří vysoký obsah mikrobiální biomasy; vyšší teplota prostředí (Kumar & Gupta 2020); vlhčí půda a působení slunečního záření (Sharma et al. 2014; Kumar & Gupta 2020).

Cyantraniliprol se primárně rozkládá na metabolit J9Z38, který je v půdě více perzistentní nežli výchozí látka (Kumar & Gupta 2020). Dle výsledků studie Zhang et al. 2020 vyšlo najevo, že rezidua cyantraniliprolu a jeho metabolit J9Z38 mohou u půdních organismů, přesněji u žížal hnojných, vyvolat oxidační stres a následně poškodit jejich buňky. Větší stupeň poškození byl vyvolán samotným cyantranilipolem než jeho metabolitem (Zhang et al. 2020).

Cyantraniliprol a jeho metabolit J9Z38 jsou ve vodě považovány za velmi stabilní a mají tendenci se akumulovat do vodního sedimentu a vodních organismů. V sedimentu byly zpozorovány inhibiční účinky na diverzitu mikrobiálního společenstva (Yan et al. 2023).

V České republice jsou insekticidy s obsahem cyantraniliprolu označovány jako vysoce toxické pro vodní organismy (Agromanuál 2020). Ze zahraničních studií byla prokázána kumulace a negativní vliv na antioxidační a detoxikační systém vůči rybě dánío pruhované (Yan et al. 2023), nebo i pro raka červeného (Liao et al. 2023).

3.4.2 Neonikotinoidy

Neonikotinoidy jsou systémové insekticidy podobající se svou chemickou strukturou nikotinu, které se během posledního desetiletí používají především k regulaci hmyzu z řádů polokřídli (Hemiptera) a to především mšic, třásnokřídli (Thysanoptera), brouci (Coleoptera) a motýli (Lepidoptera), a to nejen na zemědělských plochách, ale i v soukromých sektorech (zahradách, parcích, apod.) (Anadón et al. 2020). Patří do skupiny insekticidů druhé generace, kam se řadí syntetické insekticidy, které byly vyráběny od 40. let 20. století (Matthews 2018). V roce 1991 byl uveden na trh první neonikotinoid, imidaklopid (Bass & Field 2018). Ve srovnání s ostatními insekticidy jsou neonikotinoidy snadno absorbovány rostlinami a rychle reagují již při nízkých koncentracích (Zuščíková et al. 2023).

Neonikotinoidy působí jako neurotoxikanty. Blokují acetylcholinové nikotinové receptory (nAChR) v postsynaptické membráně nervového systému hmyzích škůdců, což má za následek jejich ochrnutí a úhyn (Zhang et al. 2000). Tyto cílové receptory zprostředkovávají rychlý synaptický přenos vzruchů. Základní strukturou receptorů je centrální iontový kanál, kolem kterého je uspořádáno pět podjednotek, jejichž kompozice určuje funkční vlastnosti receptoru. Analýzy sekvenací genů ukázaly, že skupiny genů nAChR se vyskytují u různých druhů hmyzu v podobném množství, oproti obratlovcům, u kterých je počet těchto genů rozmanitější a vyskytuje se ve větších počtech (Jones & Sattelle 2010). Tato skutečnost vysvětluje silnější navazování neonikotinoidů k receptorům hmyzu nežli k receptorům savců či jiných obratlovců, tudíž je toxicita pro savce nižší a návratnost intoxikace vyšší (Jeschke et al. 2011). Navíc se u každého druhu hmyzu vyskytuje alespoň jedna rozdílná podjednotka genu nAChR. Tato skutečnost vytváří možnost vytvoření specifických insekticidů pro určité hmyzí škůdce, čímž je možné zabránit toxicitě vůči necílovým a prospěšným druhům hmyzu (Jones & Sattelle 2010).

3.4.2.1 Důvody omezení neonikotinoidů, jejich negativní účinky pro ekosystém

Mezi dříve používanými neonikotinoidy patřily např. imidakloprid, clothaindin a thiamethoxam, které byly využívány k moření osiva řepky olejné a cukrové řepy. Mezi důvody, kvůli kterým byly neonikotinoidy zakázány, patřily negativní účinky pro necílové organismy, a to nejen kvůli přímému kontaktu insekticidu s organismem, ale i z důsledku reziduí a kumulace insekticidů v půdě (Pisa et al. 2015). Kupříkladu z přirozených nepřátel škůdců se prokázaly negativní účinky pro některé druhy z řádu brouků a to z čeledí slunéčkovitých (Papachristos & Milonas 2008) anebo střevlíkovitých (Mullin et al. 2010). Negativní vliv byl potvrzen i pro opylovače. U včel samotárek (druhy z rodu Hymenoptera, nadčeleď Apoidea) a čmeláka zemního bylo zaznamenáno snížení hustoty včelích hnízd a čmeláčích kolonií v polních oblastech (Rundlöf et al. 2015).

Bylo publikováno mnoho studií, které potvrdily negativní vliv neonikotinoidů pro opylovače, např. u účinné látky imidakloprid, a to zejména pro včelu medonosnou (*Apis mellifera* (Linnaeus, 1758)) (Henry et al. 2012). Tento neonikotinoid se šíří cévními svazky po celé rostlině, čímž se dostává i do pylu, nektaru a do gutačních kapek (Jeschke et al. 2011). V reálných polních podmínkách není tato účinná látka pro včely medonosné bezprostředně smrtelná (Dively et al. 2015), ale měla za následek změny v jejich chování, a to zhoršení schopnosti orientace (Henry et al. 2012), imunokompetence (schopnost imunitních mechanismů organismu odpovědět na antigenní podnět) (Brandt et al. 2016) a zvýšenou náchylnost k infekci vnitrobuněčným parazitem z rodu *Nosema* (Zander 1909) (Microsporidia: Nosematidae) (Alaux et al. 2010). Navíc včely preferovaly potravu, která tuto účinnou látku, či jiné neonikotinoidy, obsahovala (Kessler et al. 2015). Je však dobré si uvědomit, že tyto negativní účinky byly rozhodující pro zákaz využití tohoto insekticidu u řepky olejné (Herbertsson et al. 2022), ale ne například pro moření řepy cukrové, na kterou je zaměřena experimentální část této diplomové práce, jelikož je řepa dvouletou rostlinou, která před sklizní nekvete, a tudíž není pro opylovače atraktivní (Bass et al. 2014).

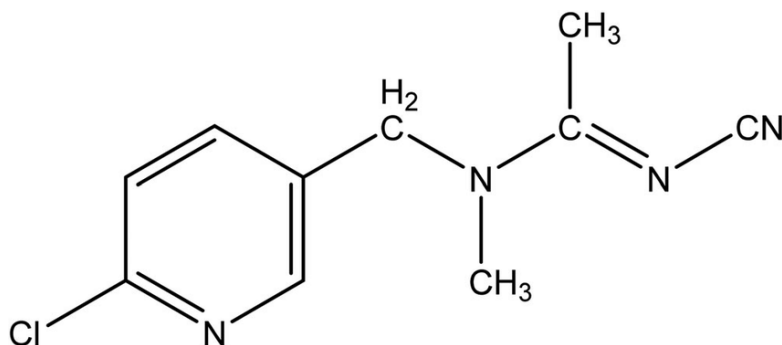
Negativní vlivy neonikotinoidů byly také prokázány pro edafon, například pro kroužkovce (Annelida) (Volkov et al. 2007), a také pro bakteriální půdní společenstva, kdy došlo k poklesu prospěšných bakterií z rodu *Rhizobium* (Parizadeh et al. 2021). Negativní vlivy byly také prokázány u vodních organismů (Pisa et al. 2015) a ptáků, u kterých hrozí pozření mořeného osiva (Gibbons et al. 2015).

Nadruhou stranu jiné zdroje uvádějí, že moření za pomoci neonikotinoidů bylo velmi šetrné k životnímu prostředí, jelikož bylo aplikováno pouze pár gramů účinné látky, čímž se ošetřil celý porost ošetřen celý porost (Maňasová et al. 2023).

3.4.2.2 Acetamiprid

Účinná látka acetamiprid se sumárním vzorcem $C_{10}H_{11}ClN_4$ a celým chemickým názvem dle IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry, česky Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii) (E)-N-[(6-chlor-3-pyridinyl) methyl]-N-kyano-N-methyl-ethanimidamid (Obrázek č. 3), se řadí mezi neonikotinoidy pyridinového typu (EPA 2002). Acetamiprid

byl poprvé syntetizován roku 1984, avšak přípravky s jeho obsahem byly poprvé registrovány až na počátku 21. století (Zuščíková et al. 2023).



Obrázek č.3: Strukturální vzorec acetamipridu

(Zdroj: <https://www.researchgate.net/profile/Hua-Kuang-3/publication/315956001/figure/fig1/AS:566014392967168@1511959755462/Chemical-structure-of-acetamidrid.png>)

V České republice je registrováno 12 přípravků s obsahem acetamipridu s obchodními názvy Mospilan, Autentic, Gazelle, Assail aj., které se od sebe mohou lišit procentuálním obsahem acetamipridu (Agromanuál 2023).

3.4.2.2.1 Využití acetamipridu a rezistence

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, působení acetamipridu způsobuje změnu membránového potenciálu a narušuje tak nervový systém hmyzu, kdy dochází k hyperexcitaci neuronů, což vede k paralýze a následně smrti jedince (Zuščíková et al. 2023). Na hmyz má acetamiprid kontaktní a systémový účinek a je využíván k regulaci škůdců ze zástupců polokřídlelých (mšice, klopušky), brouků (mandelinka bramborová, blýskáček řepkový, krytonosci, dřepčici), dvoukřídlelých (vrtule třešňová, bejlmorka kapustová), motýlů (obaleč jablečný) anebo blanokřídlelých (pilatky) (Agromanuál 2023). V České republice je registrován do brambor, řepky olejné, obilovin, zeleniny, luskovin, chmelnic, sadů ovocných dřevin ale i do nezemědělských půd – zahrad, trávníků a parků (UKZÚZ 2023).

V rámci České republiky se vyskytují určité populace hmyzích škůdců, které vykazují nízkou mortalitu při použití registrované dávky insekticidu (42 g / ha), a to u druhů blýskáček řepkový, krytonosec šesulový, dřepčík olejkový a mandelinka bramborová (Kocourek et al. 2021). Pro populace mšice broskvoňové v porostech řepky ozimé nebyla rezistence k acetamipridu zpozorována (Kocourek 2023). Rezistence a malá citlivost škůdců je zapříčiněna zvýšenou produkcí enzymů, které acetamiprid metabolizují, a tudíž není pro hmyzí organismus nebezpečný (Wu et al. 2022).

3.4.2.2 Účinky acetamipridu na necílové organismy a jeho perzistence v životním prostředí

Za klasických polních podmínek a při používání doporučené dávky nebyl acetamiprid pro opylovače shledán toxickým. Jedná se například o čmeláky (Varga-Szilay & Tóth 2022) a včely medonosné (Iwasa et al. 2004). Oproti tomu výsledky dle Hodiankové (2023) prokázaly vysokou mortalitu včel při orálních testech s umělou potravou, která obsahovala předpokládanou koncentraci acetamipridu, která se může vyskytovat v nektaru.

Do kontaktu s acetamipridem mohou přijít taktéž larvy včel medonosných, a to prostřednictvím dospělců (Yang et al. 2020), pro které je potrava s obsahem acetamipridu atraktivní (Kazda et al. 2022). Dospělci tak mohou do včelstva přinést pyl a nektar s vyšším množstvím reziduí tohoto insekticidu. Avšak koncentrace v úlech nebyly pro larvy shledány toxické (Yang et al. 2020).

Oproti tomu dle studie Naranjo & Akey 2005, acetamiprid snižuje počty populací přirozených nepřátel z řad predátorů, a to například slunéček, zlatooček či hladěnek z rodu *Orius*. Negativní účinky na životní cyklus byly také popsány u parazitických vosiček (Stanley & Preetha 2016).

Negativní účinky pro savce a jiné obratlovce může acetamiprid vykazovat pouze při vysokých dávkách a vést například k oxidačnímu stresu (Wang et al. 2018), degradaci spermií, narušení funkce pohlavních žláz u samců (Mosbah et al. 2018) či narušení vývoje embrya samic hlodavců (Babel'ová et al. 2017). Za normálních podmínek ovšem pro savce nebyl shledán nebezpečným, jelikož jeho chemické struktury nemají vysokou afinitu (přitažlivost) k savcím nikotin-acetylcholinovým receptorům (Zuščíková et al. 2023).

Z hlediska pohybu v půdě se považuje acetamiprid za mobilní, avšak rychle biologicky odbouratelný ve většině typů půd. Primárně se rozkládá díky aerobním mechanismům. V polních podmínkách může jeho poločas rozpadu činit pouhé dva dny. Díky jeho rychlému rozkladu nemá acetamiprid velký potenciál ke kontaminaci povrchových a podzemních vod, ani k akumulaci v rybách a v sedimentech. Ovšem vůči hydrolýze je poměrně odolný a ve vodě se pomalu fotodegraduje (Wallace 2014).

3.4.3 Pyrethroidy

Pyrethroidy zaznamenaly rozmach po celém světě od 80. let 20. století, a to především díky jejich vysoké účinnosti a nízké toxicitě v porovnání s jinými, v té době soudobými, insekticidy (organofosfáty, karmabáty apod.) (Yoo et al. 2016).

Jedná se o syntetické insekticidy, které byly vytvořeny jako obdoba přírodních, přirozeně se vyskytujících, pyrethrinů. Pyrethriny jsou organické sloučeniny, které se získávají z květů kopretiny starčkolisté (*Chrysanthemum cinerariifolium*) (Casida & Quistad 1998). Tyto přírodní insekticidy jsou využívány již po staletí ve formě prášku (získaného z nadrcených květů) proti širokému spektru škůdců. Vyznačují se svými vynikajícími insekticidními vlastnostmi a nízkou toxicitou pro savce, avšak jejich účinky jsou vysoce neselektivní z hlediska hmyzích zástupců a jejich použití je omezené, a to kvůli krátkému poločas rozpadu. Ve vodě a na povrchu půdy se může jednat o pouhých 12 hodin (Ensley 2018). Syntetické

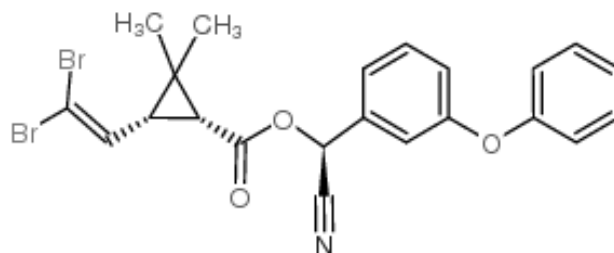
pyrethroidy byly vyvinuty za účelem zlepšení vlastností pyrethrinů, a to především zvýšení insekticidní aktivity a stability v prostředí (Gosselin et al. 1984).

Z hlediska struktury se jedná o deriváty pyrethrinu a dělí se na skupinu esterickou a etherickou. Esterické pyrethroidy obsahují esterickou vazbu s molekulou alkoholu a patří sem všechny látky uvedené na českém trhu (vyjma etofenproxu) a to například deltamethrin, gamma-cyhalotrin aj. Etherická skupina má podobnou strukturu avšak s etherickou vazbou (Hassman & Belchim 2023).

V České republice je celkově registrováno 8 druhů pyrethroidů (Ministerstvo zemědělství 2024). Pyrethroidy mají vůči hmyzu pouze kontaktní účinek, tudíž mohou mít nižší dlouhodobou účinnost vůči škůdcům s bodavě savým ústrojím. K výhodám pyrethroidů patří jejich vysoká insekticidní aktivita i při nízkých dávkách; schopnost biologické degradace; dále jsou odolné vůči smyvu deště, jelikož mají lipofilní charakter, tudíž se snadněji absorbují na voskové vrstvy na povrchu rostlin (Rehman et al. 2014). Je dobré zmínit, že různé druhy pyrethroidů mají odlišné vlastnosti vůči necílovým organismům a životnímu prostředí. Některé pyrethroidy jsou toxické pro vodní organismy (Antwi & Reddy 2015), opylovače (Johnson et al. 2006), necílové členovce (Bellows & Morse 1993), savce i pro člověka. Dlouhodobé působení a expozice i nízkých dávek pyrethroidů může vést k chronickým onemocněním a k toxickým účinkům na nervovou, imunitní a kardiovaskulární (Ma 2009) a rozmnožovací soustavu (Koureas et al. 2012).

3.4.3.1 Deltamethrin

Deltamethrin se sumárním vzorcem $C_{22}H_{19}Br_2NO_3$ se řadí mezi esterické pyrethroidy a jeho celý název zní (S)-[(3-fenoxyfenyl)kyanmethyl]-(1R,3R)-3-(2,2-dibromvinyl)-2,2-dimethylcyklopropan-1-karboxylát (Obrázek č. 4.) (National Library of Medicine 2024). Na trh byl uveden roku 1978 (Johnson et al. 2010).



Obrázek č. 4: Strukturální vzorec deltamethrinu

(Zdroj: <https://www.chemsrc.coms>)

Deltamethrin je v České republice obsažen v 15 registrovaných přípravcích na ochranu rostlin, které se od sebe liší odlišnou koncentrací deltamethrinu, anebo je s ním v přípravku obsažena jiná účinná látka (Agromanuál 2020). V rámci České republiky je deltamethrin registrován do olejnin (řepka olejná, slunečnice), luskovin (hrách, bob, aj.), okopanin (brambory, cukrovka), obilnin, zeleniny, ovocných sadů, okrasných rostlin, školek a je

používán i v lesnictví a ve skladech proti skladištním škůdcům. Tato účinná látka lze použít vůči škůdcům z řádů brouci (krytonosci, pilousi, zrnokazi, dřepčící, kohoutci, bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera* (LeConte, 1868))), dvoukřídli (bejlomorcky, vrtule), polokřídli (mšice, molice), třásnokřídli (třásněnky), motýli (černopáska bavlníková (*Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808))), zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis* (Hübner, 1796)), obaleči) a blanokřídli (pilatky) (Ministerstvo zemědělství 2024).

3.4.3.1.1 Mechanismus účinku a rezistence

Deltamethrin se, stejně jako ostatní pyrethroidy, váže v nervové soustavě na sodíkové kanály buněk. Tyto kanály zprostředkovávají přenos nervových impulzů, a to díky střídání neaktivovaného a aktivovaného stavu (zapříčiněné uzavíráním a otevíráním sodíkových kanálů) a následného proudu sodíkových iontů, čímž se změní elektrický membránový potenciál buněk. Navázáním deltmethrinu na tyto kanály se zabrání přechodu z aktivovaného do jejich neaktivovaného stavu (Davies et al. 2007) což má za následek trvalé depolarizace (změny elektrického potenciálu) buněčných membrán. Hmyz je tak paralyzován, velmi rychle umírá a projevuje se tak zvaná „knock down“ reakce (Field et al. 2017).

Rezistence vůči tomuto pyrethroidu je dosahována mutacemi v místech jeho navázání na sodíkové kanály (Field et al. 2017) a také díky jeho metabolizaci, což bylo popsáno u blýskáčků řepkových (Zimmer & Nauen 2011). Na území České republiky byla vůči zmíněným blýskáčkům prokázána velmi nízká účinnost deltamethrinu (pouhých 20-40 %), což platí i pro ostatní esterické pyrethroidy s výjimkou tau-fluvanilátu. V tomto případě lze tedy hovořit o křížové rezistenci esterových pyrethroidů (Seidenglanz 2019).

Křížová rezistence mezi pyrethroidy, jmenovitě deltamethrinu, lambda-cyhalotrinu, cypermethrinu a cyfluthrinu, byla experimentálně dokázána vůči komárům (Flores et al. 2013). Další křížová rezistence mezi pyrethroidy byla dokázána v Egyptě vůči blýskavce bavlníkové, jež se vyskytuje v Africe či Jižní Evropě a která škodí na bavlně, kukuřici, rajčatech či další zelenině (Riskallah et al. 1983). Je dobré zmínit, že pyrethroidy nevykazují křížovou rezistenci vůči odlišným insekticidům s odlišným mechanismem účinku, jmenovitě spinosadu a indoxacaru (insekticid ze skupiny karbamátů) (Sayyed et al. 2005).

Rezistence se netýká pouze škůdců. Na území Pákistánu bylo vybráno a testováno několik populací zlatoočky obecné kterých byly prokázány různé míry rezistence a citlivosti vůči této účinné látce (Sayyed et al. 2010).

3.4.3.1.2 Vliv na necílové organismy

V laboratorních a poloprovozních podmínkách při přímém kontaktu s deltamethrinem, a to ve formě postřiku anebo jeho obsahu v umělé potravě, byly prokázány letální účinky jak pro včely medonosné (Decourtye et al. 2004), tak pro včely samotářky, jmenovitě čalounici vojtěškovou (*Megachile rotundata* (Fabricius, 1784)) (Piccolomini et al. 2018). V dalších studiích zaměřených na včelu medonosnou, která byla vystavena potravě obsahující deltamethrin, byly pozorovány negativní účinky pro její orientaci v terénu (Thompson 2003),

změnu činnosti vyhledávání potravy, snížení paměti (Ramirez-Romero et al. 2005), plodnost a rychlost vývoje larev (Dai et al. 2010). Ovšem v polních podmínkách, pokud byl deltamethrin aplikován po denní letové aktivitě včel v doporučené dávce, nebyly pro tyto opylovače zpozorovány letální účinky (INCHEM 1990).

Studie, které zjišťovaly vliv deltamethrinu na určité přirozené nepřátele, popsaly negativní účinky na růst, vývoj a reprodukci slunéčka bodlákového (Skouras et al. 2021) a také pro larvy z čeledě zlatoočkovití (De Armas et al. 2020). U určitých parazitoidů byl taktéž zjištěn negativní vliv a to na jejich vývoj a plodnost (Pereira Costa et al. 2020). Letální i subletální účinky byly popsány i u dalších necílových hmyzích organismů a to pro čeleď mravencovití (Formicidae (Latreille, 1809)) (Svoboda et al. 2023) anebo kněžice (Pentatomidae (Leach, 1815)) (de Castro et al. 2013).

Dle studie Wiles & Jepson 1992 vyšlo najevo, že zástupci z řádu pavoukovci a brouci byli citlivější na deltamethrin nežli škůdci z řádu polokřídílí. Z této studie se dá taktéž vyvodit, že hmyz s většími rozměry těla byl odolnější vůči deltamethrinu nežli drobnější druhy (Wiles & Jepson 1992).

Pro ptáky je deltamethrin netoxický, dokonce bývá používán jako antiparazitikum v chovech kura domácího (Liu et al. 2022). Pro savce a člověka může být při přímém kontaktu málo až středně toxický, mohl by způsobovat různé podráždění kůže a jiné alergické reakce, avšak v laboratorních podmínkách nebyly zjištěny případné karcinogenní účinky (Johnson et al. 2010).

3.4.3.1.3 Deltamethrin v životním prostředí

Deltamethrin se považuje za perzistentní druh pyrethroidu s poločasem rozpadu mezi 11 až 72 dny. Větší perzistenci vykazuje zejména v půdě obsahující vysoký podíl organických látek, ke které se snadněji sorbuje. Rychleji se rozkládá v půdě bohaté na mikroorganismy, za aerobních podmínek, v teplejším, vlhčím prostředí a s dostatkem slunečního záření (INCHEM 1990). Při jeho opakované aplikaci se může deltamethrin kumulovat v půdě ve vyšších koncentracích (Mueller-Beilschmidt 1990). S ohledem na edafon, byly dle studie Song et al. (2015) popsány zanedbatelné toxické účinky pro žížalu hnojní v nízkých standardních a krátkodobých koncentracích deltamethrinu v půdě.

Deltamethrin se stejně jako ostatní pyrethroidy dobře váže na pevnou složku půdy, což zajišťuje jeho velmi nízkou pohyblivost v půdním profilu a tím pádem tato látka nemá potenciál ke neznečišťování podzemních vod (Mokry & Hoagland 1990). V případě, že se tato látka dostane do vodního prostředí, kupříkladu erozí kontaminované půdy, tak byla potvrzena jeho nízká rozpustnost ve vodě (Farghaly et al. 2013) a střední až vysoká toxicita pro vodní organismy i ryby (Salako et al. 2020).

3.4.4 Biopesticidy

Trendem posledních let je preference biologické ochrany rostlin, vývoj a používání přípravků přírodního původu, biopesticidů s vidinou vyšší ochrany a ohleduplnosti k životnímu prostředí, necílovým organismům a s minimem reziduí v produktech a potravinách (Walia et al. 2017). Pod pojmem biopesticidy se rozumí přípravky odvozené z živých organismů (živočichů, hmyzu, hádčátek, rostlin, bakterií anebo virů) (Kuthan 2017). Mnoho biopesticidů je šetrnější k životnímu prostředí, jelikož má menší negativní účinky pro savce a necílové užitečné organismy (Walia et al. 2017). Je vhodné si uvědomit, že některé přírodní přípravky jsou toxičtější a méně selektivní nežli syntetizované insekticidy (Thompson et al. 2000). Kupříkladu přírodní pyrethrin jsou méně selektivní vůči přirozeným nepřítelům v porovnání s účinky chemicky vyvinutého cyantraniliprolu.

Biopesticidy bývají používány především v ekologickém zemědělství; integrované produkci ovoce, révy a v okrasném zahradnictvím včetně údržby veřejné zeleně. V polních plodinách (obilninách, olejninách) je jejich využití limitováno vyšší cenou, avšak existují produkty, které jsou uplatňovány v zemědělské praxi (Kuthan 2017).

3.4.4.1 Spinosad

Jedná se o světle šedo-bílou krystalickou pevnou látku se zemitým zápachem, který se podobá mírně zatuchlé vodě. Spinosad je složen ze spinosynu A a spinosynu D, což jsou dva vedlejší metabolity vyprodukované aerobní fermentací půdní bakterie *Saccharopolyspora spinosa*. Díky tomu je spinosad zařazen mezi biopesticidy (Thompson et al. 2000). V osmdesátých letech 20. století byla tato aktinobakterie izolována z půdního vzorku odebraného na Panenských ostrovech v Karibském moři, v oblasti v cukrovaru a palírně rumu z cukrové třtiny. Tato aktinobakterie byla studována a výzkumy následně odhalily toxické účinky produktů její fermentace na larvy komára tropického (*Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762)) (Kirst et al. 1992), což vedlo k dalšímu výzkumu jejích insekticidních účinků. Vývoj výsledného spinosadu trval více než 12 let (Thompson et al. 2000) a komerčně dostupný insekticid s jeho obsahem byl poprvé uveden na trh roku 1997 (Salgado & Sparks 2010). V České republice je s touto účinnou látkou registrován pouze jeden přípravek, Spintor, který je povolen i v ekologickém zemědělství (Agromanuál 2020).

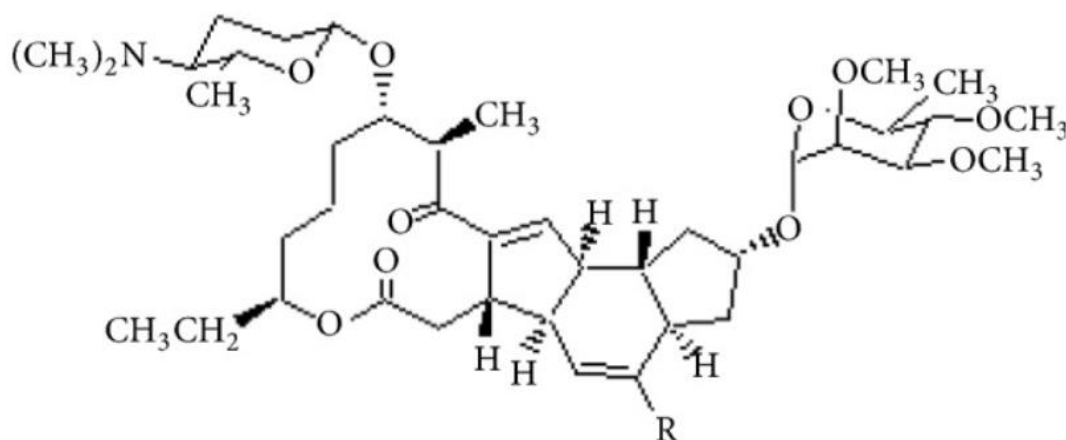
Z hlediska strukturního vzorce se jedná o makrolidy s tetracyklickým kruhovým systémem, na který jsou navázány dva různé sacharidy (Obrázek č. 5) (Salgado 1998). Celý chemický název spinosadu se skládá z názvů obou výše zmíněných metabolitů, spinosynu A:

(2R,3aS,5aR,5bS,9S,13S,14R,16aS,16bR) -2-[(6-deoxy-2,3,4-tri-O-methyl-?-L-mannopyranosyl)oxy]-13-[[4-(dimethylamino)-2,3,4,6-tetraoxy-β-D-erythro-pyranosyl]oxy]-9-ethyl-14-methyl-2,3,3a,5a,5b,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16a,16b-hexadekahydro-1H-8-oxacyklododeka[b]as-indacen-7,15-dion

a spinosynu D:

(2S,3aR,5aS,5bS,9S,13S,14R,16aS,16bS) -2-(6-deoxy-2,3,4-tri-O-methyl-L-mannopyranosyloxy)-13-(4-dimethylamino-2,3,4,6-tetraoxy-β-D-erythro-pyranosyloxy)-9-

ethyl-4,14- dimethyl- 2,3,3a,5a,5b,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16a,16b-hexadekahydro-1H-8-oxacyclododeka[b]as-indacen-7,15- dion (Agromanuál 2020).



Spinosy A, R = H-
Spinosyn D, R = CH₃-

Obrázek č. 5: Stukturní vzorec spinosynu A a D

(Zdroj: Mossa A-TH, Mohafrash SMM, Chandrasekaran N. 2018. Safety of Natural Insecticides: Toxic Effects on Experimental Animals. BioMed Research International (e4308054) DOI: 10.1155/2018/4308054.)

3.4.4.1.1 Cíloví škůdci, mechanismus účinku a rezistence vůči spinosadu

Spinosad se charakterizuje jako kontaktní a požerový insekticid, který je v České republice registrován do brambor, zeleniny, ovocných sadů velkých dřevin, keřového drobného ovoce, pěstnic a okrasných rostlin. Lze ho využít na škůdce z řádů motýli (můra zelná a další škodící housenky na zelenině, obaleči), dvoukřídlí (květilky), třásnokřídlí (třásněnky), brouci (mandelinka bramborová, malinovník plstnatý a polokřídlí (mšice, mery) (Agromanuál 2020).

Tento biopesticid cílí na specifická místa v nervovém systému, a to na nikotinové acetylcholinové receptory (nAChR), čímž narušuje přenos nervových vzruchů. Je však důležité podotknout, že jeho interakce a místa působnosti na nAChR jsou rozdílné oproti mechanismu účinku neonikotinoidů (Orr et al. 2009). Spinosad dále také působí antagonisticky na gamaaminomáselnou kyselinu (GABA). Tato kyselina je neurotransmiterem (látka, která slouží k přenosu vzruchů v nervové soustavě), který u hmyzu zprostředkovává aktivaci svalů na synapsích mezi nervy a svalovými buňkami. Tyto účinky mají za následek hyperexcitaci a narušení centrálního nervového systému cílového hmyzu, což se projevuje třesem celého těla, následnou paralýzou a smrtí (Sparks et al. 2001).

Případná rezistence škůdců proti spinosadu je založena na mutacích cílového místa účinku, u některých druhů hmyzu se může vyskytnout i vyšší produkce detoxikačních látek (Watson et al. 2010). Na území České republiky byla zjišťována rezistence u mandelinky bramborové, u které však nebyla potvrzena (Kocourek & Stará 2022).

3.4.4.1.2 Spinosad v půdě a vodě

Rozklad spinosadu urychluje působení půdních mikroorganismů a sluneční záření. Poločas rozkladu v půdě za normálních polních podmínek se pohybuje mezi 9–10 dny a na povrchu rostliny může jednat až o 1,6–16 dní (Kollman 2002). Při doporučené dávce spinosadu v polních podmínkách nebyl zjištěn negativní vliv na půdní mikroorganismy (Telesiński et al. 2015) a edafon. Bylo zjištěno, že přítomnost žížal vedlo k rychlejší degradaci spinosadu v půdě, a to díky provzdušnění půdy, aniž by účinná látka měla významný vliv na zdravý žížal (De Bernardi et al. 2022).

Jelikož má spinosad silnou absorpci k půdě, má velmi nízký potenciál se v ní pohybovat, což snižuje riziko kontaminace podzemních vod (Kollman 2002). V případě, že se dostane do vodního prostředí, tak bývá rychle fotodegradován díky slunečnímu záření s poločasem rozpadu méně než jeden den. Spinosad nemá tendenci se akumulovat ve vodním sedimentu (Cleveland et al. 2002) ale pro vodní organismy je mírně až středně toxický (Thompson et al. 2000).

3.4.4.1.3 Účinky na necílové organismy

Pro včely medonosné je prokázána vysoká toxicita při přímém kontaktu se spinosadem během jeho aplikace nebo skrze potravu. Nicméně po uplynutí tří hodin od aplikace (po zaschnutí spinosadu na listech) a následném kontaktu včel s ošetřenými rostlinami nebyly pro tyto opylovače pozorovány akutní toxické účinky. Shrnutí této studie taktéž naznačuje, že nebezpečí spinosadu pro chování včel a vývoj larev je v polních podmínkách zanedbatelné po uplynutí tříhodinového období. Proto je vhodné spinosad aplikovat mimo denní letovou aktivitu včel (Mayes et al. 2003). Za normálních polních podmínek byly prokázány minimální negativní účinky i pro další opylovače, čmeláky (Morandin et al. 2005).

Z hlediska prospěšného hmyzu bylo zjištěno, že parazitoidi z řádu blanokřídlí jsou na spinosad výrazně citlivější nežli predátoři (Williams et al. 2003). U parazitoidů se často prokazovaly subletální účinky, včetně ztráty reprodukční schopnosti, zkrácení délky života aj. (Cònsoli et al. 2001), avšak u predátorů, jmenovitě u zástupců z řádů brouci a síťokřídlí, nebyly pozorovány žádné závažné negativní účinky (Cisneros et al. 2002; Medina et al. 2003).

Pro ptáky a savce spinosad obecně vykazuje relativně nízkou toxicitu (Breslin et al. 2000), navíc chronické toxikologické testy na savcích prokázaly, že spinosad není karcinogenní, teratogenní, mutagenní ani neurotoxický (Thompson et al. 2024).

4 Metodika

4.1 Vyšetření rostlin řepy obecné (*Beta vulgaris*)

Ve skleníku při teplotě 20 °C a za přirozeného světelného režimu bylo do 100 květináčů vyseto osivo řepy obecné v termínech 22. 3. a 22. 4. 2023. Tyto květináče byly vloženy do prostorné síťované klece, aby při růstu rostlin nedošlo k nežádoucímu napadení škůdci či patogeny z okolního prostředí. Rostliny byly denně zalévány. Tyto předpěstované rostliny byly použity v následujících experimentech.

4.2 Založení chovu mšic broskvoňových (*Myzus persicae*)

Chov mšic broskvoňových byl zprostředkován Ing. Jibanem Kumarem, Ph.D. z Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Ruzyni. Chov probíhal v laboratorních podmínkách v síťovaných boxech na rostlinách řepy, za světelného režimu 14 hodin světla a 10 hodin tmy, při teplotách 26 °C ve dne a 22 °C v noci a při vlhkosti vzduchu 60 %.

4.3 Průběh experimentu

V pokusném skleníku bylo dvacet zkumavek typu Eppendorf 1,5 mm naplněno vodou a umístěno do stojánku z molitanu. Zkumavky byly od sebe vzdáleny 7 cm. Z předpěstovaných rostlin řep bylo nůžkami odstriženo dvacet mladších listů, které vyrůstaly nejbližší od středu srdéčka rostliny. Listy byly vybírány s podobnými rozměry a plochou čepele okolo 14 cm². Odstrižené listy byly ihned jednotlivě vkládány do připravených zkumavek a obtočeny kouskem vaty, aby se zajistila jejich stabilita.

Na každý list bylo tenkým štětcem přeneseno 15 mšic. Mšice byly přenášeny ze založeného chovu mšic z rostlin řepy. Velikost mšic, které byly k experimentům vybrány, se pohybovala mezi 2 až 3 mm.

Po nanesení mšic a po následných 15 minutách klidového režimu byl na listy nanesen postřik. Časový interval byl zvolen k účelu přirozenému osídlení listů mšicemi.

Dávka insekticidu byla upravena tak, aby v použitý postřik odpovídal její doporučené koncentraci. Postřik byl nanášen ze vzdálenosti 20 cm na přední i zadní stranu listů pomocí rozprašovače. Aplikace probíhala do skanutí. Druhy postřiků jsou vypsány v Tabulce č. 1 v dalším bodě metodiky.

Po nanesení postřiku byly stojánky s listy přeneseny do síťového boxu, který byl v laboratorních podmínkách za světelného režimu 14 hodin světla při 26 °C a 10 hodin tmy při 22 °C s vlhkostí vzduchu 60 % ponechán v klidovém stavu.

Vyhodnocení pokusu proběhlo po 24 hodinách. Na každém listu byly spočítány přeživší mšice a jejich počet byl zaznamenán do tabulky programu Microsoft Excel.

4.4 Použité insekticidy

Postup, který byl popsán v předchozím bodu metodiky, byl opakován celkem 10krát. Byly použity čtyři insekticidy a voda, jako negativní kontrola, po dvou opakováních. Použité insekticidy shrnuje Tabulka č. 1.

Tabulka č. 1: Výpis insekticidů vyžitých v experimentů

Insekticid	Účinná látka	Obsah účinné látky v insekticidu	Koncentrace účinné látky v postřiku (ml/l)
Sanium Ultra (pozitivní kontrola)	Deltamethrin	1,5 %	0,4
Benevia	Cyantraniliprole	10 %	0,94
Spintor	Spinosad	24 %	0,3
Mospilan 20 SP	Acetamiprid	20 %	0,2
Voda (negativní kontrola)	x	x	x

4.5 Statistické zpracování dat

Byla vytvořena základní nulová a alternativní hypotéza:

H₀: Neexistuje statisticky významný rozdíl mezi účinností insekticidu I a insekticidu II.

H_a: Existuje statisticky významný rozdíl mezi účinností insekticidu I a insekticidu II.

Hypotézy byly vytvořeny způsobem, že za pojmy „insekticid I“ a „insekticid II“ byly postupně doplňovány insekticidy z tabulky č. X a to tak, aby všechny insekticidy byly v hypotézách porovnávány mezi sebou. Celkově bylo vytvořeno 10 dvojic nulových a alternativních hypotéz.

Data byla zpracována ve statistickém programu R 3.6.3 (The R Foundation for Statistical Computing 2023). Před ověřením, zda existuje statisticky významný rozdíl v účinnosti vybraných postřiků, který byl měřen počtem přeživších mšic na každém listu, byly naměřené hodnoty transformovány pomocí odmocnění, aby bylo dosaženo normálního rozdělení. Poté byly provedeny analýzy pomocí lineárních modelů a následně bylo provedeno porovnání všech přípravků pomocí kontrastů mezi jednotlivými úrovněmi faktoru.

Program Statistica 12 byl použit na vytvoření boxplotového grafu.

5 Výsledky

5.1 Mortalita mšic broskvoňových

Při vyhodnocení experimentu byly spočítány mšice, které nebyly usmrceny insekticidem. Tabulka č. 2 vyjadřuje shrnutí použitých insekticidů a jejich průměrné výsledné mortality.

Tabulka č. 2: Průměrný počet přeživších mšic v ohledu na použitém insekticidu

Insekticid	Koncentrace účinné látky v postřiku (ml/l)	Průměrná hodnota mortality (%)
Mospilan	0,4	90,7
Benevia	0,94	47,3
Spintor	0,3	22,7
Sanium (pozitivní kontrola)	0,2	20,7
Voda (negativní kontrola)	x	2,7

5.2 Výstupy z programu R a Statistica

Základní nulová a alternativní hypotéza:

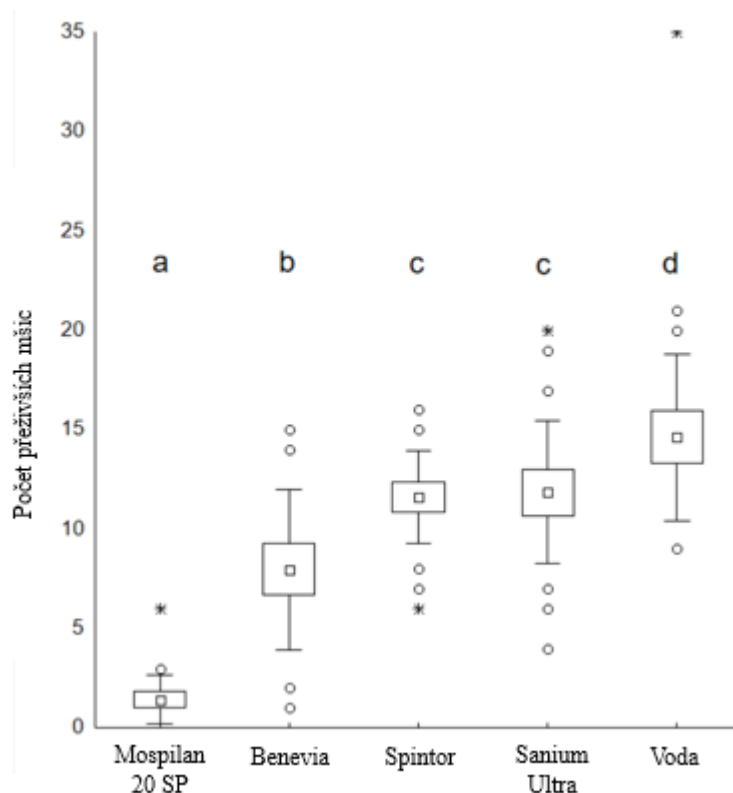
H_0 : Neexistuje statisticky významný rozdíl mezi účinností insekticidu I a insekticidu II.

H_a : Existuje statisticky významný rozdíl mezi účinností insekticidu I a insekticidu II.

Statistický program R vypočítal p hodnoty ke každé nulové hypotéze. Ty to p hodnoty jsou zaznamenány v Tabulce č. 3.

Tabulka č. X: Výsledné p hodnoty párových srovnání efektivity jednotlivých pesticidů vůči mšicím

	Voda	Benevia	Mospilan	Sanium	Spintor
Benevia	0,0001	x	x	x	x
Mospilan	0,0001	0,0001	x	x	x
Sanium	0,00234	0,0001	0,0001	x	x
Spintor	0,0017	0,0001	0,0001	0,92	x



Graf č. 1: Porovnání účinnosti insekticidů z hlediska počtu přeživších mšic

Z Grafu č. 1 lze vyčíst porovnání účinnosti jednotlivých insekticidů a jejich odlehlé hodnoty a extrémy. V boxplotech se nachází interval spolehlivosti (průměr \pm 0,95 interval spolehlivosti), a ve svorkách se nachází směrodatná odchylka (průměr \pm směrodatná odchylka).

Shrnutí výsledků

Insekticid Mospilan byl ze všech pesticidů nejvíce účinný ($p < 0,001$), mortalita dosahovala 90,7 % .

Mortalita mšic u přípravku Benevia dosahovala 47,3 %. Tento insekticid byl méně účinný, než Mospilan ($p < 0,0001$). Ovšem Benevia byla účinnější nežli Sanium, Spintor a negativní kontrola ($p < 0,0001$).

Mortalita přípravku Spintor dosahovala 22,7 %. Tento insekticid byl více účinný než negativní kontrola ($p < 0,0017$), avšak vykazoval menší účinnost než Benevia a Mospilan ($p < 0,004$).

Sanium (pozitivní kontrola), které vykazovalo mortalitu 20,7 % , bylo méně účinné nežli Mospilan a Benevia ($p < 0,0001$), ale vykazovalo lepší účinnost než negativní kontrola ($p = 0,0023$).

Dále lze z výsledků vyčíst, že mezi účinností Spintoru a Sania neexistuje statisticky významný rozdíl ($p = 0,92$).

6 Diskuze

Tato diplomová práce si kladla za cíl ověřit za laboratorních podmínek účinnost insekticidů Mospilan 20 SP, Benevia, Spintor a Sanium Ultra vůči mšici broskvoňové s vidinou rozšíření vhodných přípravků do insekticidní ochrany řepy cukrové. Jako kontrolní hledisko sledovala procentuální mortalitu mšic a dávky byly upraveny tak, aby odpovídaly jejich standardním polním koncentracím.

Analýza výsledných dat a statistického zpracování prokázaly, že insekticid Mospilan 20 SP, způsobil mortalitu přibližně 90 % celkové populace mšic. Tato hodnota tak byla nejvyšší ze všech zkoumaných insekticidů. Benevia dosáhla téměř poloviční účinnosti jako Mospilan 20 SP a způsobilá tak 47 % mortalitu mšic. Spintor, jakožto biologický přípravek, dosahoval téměř čtvrtinové účinnosti Mospilanu 20 SP. Sanium Ultra, které bylo stanoveno jako pozitivní kontrola, překvapivě dosahovalo poměrně nízkého účinku a vykázalo téměř podobný výsledek jako Spintor.

6.1 Sanium Ultra

Sanium Ultra, s obsahem účinné látky deltamethrin, bylo zvoleno za pozitivní kontrolu, jelikož ve studiích dle Al-Hassan et al. (2022) a Rabea (2009) byla potvrzena vysoká toxicita této látky jak v laboratorních kontaktních experimentech tak i v polních podmínkách. Bylo proto velmi překvapivé, že mortalita populace mšic dosahovala v experimentech této diplomové práce, v porovnání s jinými studii, poměrně nízkých hodnot. Míra mortality škůdců způsobená insekticidy může být ovlivněna hned několika faktory vnějšího prostředí, ale i fyziologickými a genetickými vlastnostmi mšic.

Jedním z vnějších vlivů na funkčnost Sania Ultra mohla být teplota prostředí. Aplikace insekticidu probíhala při teplotě nad 25 °C a ošetřené listy byly uchovávány za stálých laboratorních podmínek s denními teplotami 26 °C. Nicméně teplota pro aplikaci všech pyretroidů není doporučena nad 25 °C, a to z důvodu potenciálního snížení jejich účinnosti a zvýšení odpařování účinné látky z povrchu rostliny (Běhal 2023). Jeden stupeň celsia není moc rozdílná hodnota, ale i tak mohl mít vliv na snížení účinnosti tohoto insekticidu. Na druhou stranu Silva et al. (2024) ve své studii zaměřené na deltamethrin popsali pozitivní účinek vyšších teplot (28 °C) na mortalitu vůči mšici broskvoňové.

Dalším možným důvodem, proč účinnost Sania Ultra dosahovala v experimentech pouze téměř čtvrtinového snížení celkového počtu mšic, je rezistence. Mnoho populací mšice broskvoňové po celém světě vykazují rezistenci vůči četným třídám insekticidů s různými mechanismy účinku, včetně pyretroidů (Anstead et al. 2007). Vůči pyretroidům byly již prokázány rezistentní populace i na území České republiky (Stará et al. 2024), tudíž je možné, že experiment probíhal právě s rezistentní populací.

Z důvodu výskytu rezistentních populací není tedy příliš vhodné přípravek Sanium Ultra, s účinnou látkou deltamethrin, využívat v rámci ochrany řepy cukrové, navíc by i svým neselektivním působením mohl ohrozit necílové organismy (Pereira Costa et al. 2020; Svoboda et al. 2023), taktéž by mohl zvyšovat podíl rezistence mšic případně i jiných hmyzích škůdců a neposlední řadě by jeho účinnost mohla být ovlivněna nutností přímého kontaktu se mšicemi.

6.2 Spintor

Dalším faktorem, který může ovlivnit účinnost insekticidu, je jeho způsob účinku - myšleno systémový, kontaktní anebo požerový, což se mohlo projevit na hodnotě průměrné mortality Spintoru (22,7 %), který vykazoval podobné výsledky, jako tomu bylo u přípravku Sanium ultra. Tyto výsledky s nízkou mírou účinnosti vůči mšicím, se shodovaly i se studiemi dalších autorů, které potvrzovaly nízkou účinnost všeobecně vůči savým škůdcům (Thompson et al. 2000; Rabea 2009; Latorre et al. 2022). Z nízké úmrtnosti mšic lze odvodit, že Spintor, s účinnou látkou spinosad, se neosvědčil jakožto kontaktní insekticid, ale naopak vykazuje vysokou účinnost jako požerový insekticid vůči housenkám motýlů (Wanner et al. 2000; Brickle et al. 2001). Jedinými zástupci z čeledě motýli, kteří na řepě cukrové mohou vytvářet výrazné škody, je rod *Scrobipalpa*, jejichž housenky požírají listy poblíž srdéčka a zavrtávají se do bulev, což může vést k hrozbě sekundárních napadení chorobami (Awadall et al. 2020). Účinky spinosadu na tyto housenky však nejsou prozkoumané.

V kontrastu s nízkou účinností spinosadu vůči mšici broskvoňové byly ovšem zjištěny toxické a subletální účinky vůči rýhonosci řepnému, který škodí žírem především na vzcházejících a malých rostlinách (Bažok et al. 2016). Zmiňovaný výzkum, společně s výsledky studie Slavica et al. (2014), navrhuje využívat vůči rýhonosci buď spinosad samotný, nebo jako mix společně s pyretroidem.

Z těchto poznatků lze tedy navrhnout zařazení spinosadu na ochranu řepy cukrové, ovšem ne k regulaci mšici broskvoňové, ale k ochraně vůči rýhonosci řepnému. Je ale dobré si uvědomit, že aplikace spinosadu by mohla snížit přirozenou regulaci populací mšic broskvoňových, jelikož byly potvrzeny mírně nebezpečné až rizikové vlivy na mnoho druhů přirozených parazitoidů mšic (kupříkladu *Aphidius colemani* (Stara et al. 2011)). Na druhou stranu vůči predátorům byly ve většině případech potvrzeny mírně škodlivé vlivy anebo vlivy neutrální (Williams et al. 2003). Otázkou zůstává, do jaké míry by se díky použití Spintoru snížila početnost mšic ale i parazitoidů, což by mohlo mít za následek menší míru parazitace a tudíž opětovný nárůst populace mšic, kterou by ale mohly snižovat případně pouze mírně ovlivněné populace predátorů.

6.3 Benevia

Způsob účinku insekticidu se také mohl projevit u přípravku Benevia, s obsahem účinné látky cyantraniliprol, jehož účinnost v experimentu této diplomové práce dosahoval téměř polovičního snížení populace mšic. Důvod byl vysvětlen ve studii dle Ahumada et al. (2019), kde bylo experimentálně zjištěno, že při kontaktní aplikaci pesticidu byla účinnost cyantraniliprolu nižší, nežli při aplikaci na celou rostlinu, kdy se v průběhu času mohly plně rozvinout jeho systémové účinky. Z toho vyplývá, že v pokusech s celými rostlinami, anebo v polních podmínkách, by měl cyantraniliprol vykazovat vyšší účinky, než tomu bylo v experimentu této diplomové práce. V jiných studiích byla srovnávána účinnost cyantraniliprolu s dalšími účinnými látkami. Za zmínku stojí spirotentramat, který dosahoval podobné toxicity vůči mšicím jako cyantraniliprol (De Little & Umina 2017), což z něj dělá další předmět

výzkumu jakožto potenciální přípravek na ochranu proti mšici broskvoňové v porostech cukrové řepy.

Pokud by se v porostech cukrové řepy mělo brát na zřetel vlivy na přirozené nepřátele mšic, tak u Benevie byly vůči těmto organismům pozorovány pouze mírné či nulové negativní účinky (Kim et al. 2018; Ahumada et al. 2019; Jiang et al. 2020), což z Benevie dělá ohleduplnější insekticid vůči necílovým organismům, nežli je to mu u Spintoru.

6.4 Mospilan 20 SP

Nejúčinnějším insekticidem experimentu této diplomové práce byl jednoznačně Mospilan 20 SP s účinnou látkou acetamiprid, s 90% mortalitou populací mšice broskvoňové, kdy jeho vysokou toxicitu vůči mšicím potvrzují i další studie (Nidhi et al. 2013; Gavkare et al. 2013). Nižší míra mortality mohla být způsobena i různým typem a podmínkami experimentů. Také v nich mohla hrát roli rezistence, jejíž míra se projevila na různých sledovaných lokalitách populací mšic broskvoňových v ovocných sadech zaznamenaných ve studii dle Mezei et al. (2022), kde byly zjištěny kolísavé hodnoty mortality acetamipridu (mezi 50-96 %). Rezistence mšic vůči acetamipridu může být budoucím problémem, jelikož jsou známy rezistentní populace na území Evropy (Slater et al. 2012) i České republiky (Kocourek 2022).

Účinnost acetamipridu byla zkoumána i u jiných škůdců z čeledě mšicovití. V polních podmínkách byla potvrzena účinnost vůči mšici trýzelové, přenašeče virových chorob řepky olejné (Ahmad et al. 2017), mšici bavlníkové LATINA (Lebrun-Destombes et al. 2005) anebo mšici makové (Bucurean et al. 2014). Shafiei et al. (2018) potvrdil mortalitu u mšice zelné, škůdce brukvovité zeleniny, ve skleníkových pokusech s rostlinami řepky olejné. Po aplikaci tohoto insekticidu se rychle projevily jeho systémové účinky a populace mšic se snižovala s každou jeho aplikací. To mohlo být způsobeno stabilitou acetamipridu v rostlinné šťávě (Shafiei et al. 2018), čímž mohou být vysvětleny velmi dobré účinky vůči savým škůdcům. Acetamiprid je sice účinný vůči mšicosavým ale byly u něj prokázány středně škodlivé až škodlivé účinky na jejich přirozené nepřátele (Nashreen et al. 2005; Stara et al. 2011), což může mít podobně jako u spinosadu negativní vliv na přirozený vývoj populací mšic a jejich přirozených nepřátel. Výzkum dokázal účinnost acetamipridu i vůči dalšímu škůdci řepy cukrové a to dřepčíkům rodu *Chaetocnema* (YuPing & PoHung 2019). Bylo by ovšem vhodné rozšířit další znalosti s ohledem letálních účinků na další škůdce řepy cukrové.

7 Závěr

Insekticidy Sanium Ultra a Spintor nejsou příliš vhodnými kandidáty k regulaci mšice broskvoňové, a to z důvodu nízké účinnosti obou dvou insekticidů a také riziku podpoření rozšíření rezistence vůči pyretroidům u přípravku Sanium Ultra. Přípravek Spintor by ale mohl mít potenciální využití vůči rýhonosci řepnému a zároveň by měl pouze mírné negativní účinky na přirozené nepřátele mšic a jiný necílový hmyz.

Vhodnými insekticidy k ochraně řepy cukrové vůči mšici broskvoňové, jakožto přenašeče významných virových chorob, se projevil Mospilan 20 SP a Benevia, které vykazovaly vyšší hodnoty mortalit populací mšic. U Mospilanu 20 SP je dobré dodat, že by mohl nastat problém s rozšířením rezistentních populací mšice broskvoňové vůči jeho účinné látce, acetamipridu, a to v rámci celé Evropy. Jeho další nevýhodou je nižší selektivita k přirozeným nepřítelům mšic, kdežto Benevia vykazuje větší selektivní účinky na necílové organismy a nebyla u ní zjištěna velká míra rezistence.

Při výběru insekticidu k regulaci mšice broskvoňové v porostech cukrové řepy je dobré zohlednit všechny aspekty a vlastnosti obsažených účinných látek, a především klást důraz na jejich střídání, což by vedlo k dodržování antirezistentní strategie, která by se díky této diplomové práci mohla potenciálně rozšířit o další dva insekticidy, Mospilan 20 SP a Benevia.

8 Literatura

Ackermann P. 2013. Metodická příručka integrované ochrany rostlin proti chorobám, škůdcům a plevelům. Polní plodiny. Česká společnost rostlinolékařská, Praha.

Agromanuál. 2020a. Výkladový slovník. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/atlas/vykladovy-slovník/perzistentni-prenos-viru&asort=S> (accessed March 22, 2024).

Agromanuál. 2020b. Cyantraniliprole. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/ucinne-latky/ucinna-latka/cyantraniliprole> (accessed January 22, 2024).

Agromanuál. 2020c. BENEVIA. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/insekticidy/insekticid/benevia> (accessed January 23, 2024).

Agromanuál. 2020d. Registranti přípravků. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/vlastnosti/registrant/koppert-b-v-218> (accessed April 10, 2022).

Agromanuál. 2020e. Deltamethrin. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/ucinne-latky/ucinna-latka/deltamethrin> (accessed February 10, 2024).

Agromanuál. 2023. MOSPILAN 20 SP. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/insekticidy/insekticid/mospilan-20-sp> (accessed January 15, 2024).

Ahmad S, Aftab A, Sabri MA, Gahzal A, Ullah Z, Ahmad MI, Bilal H, Mohsin M, Naz SI. 2017. Efficacy of four different insecticides with different mode of action against canola aphid (*Lipaphis erysimi*) under field condition. Journal of Entomology and Zoology Studies **5**:626–629.

Ahumada MI, Chorbadjian RA, Ahumada MI, Chorbadjian RA. 2019. Laboratory assays of the insecticidal activity of cyantraniliprole and imidacloprid on *Brevicoryne brassicae*, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) pests species and a biological control agent *Chrysoperla defreitasi* (Neuroptera: Chrysopidae). Chilean journal of agricultural research **79**:658–663.

Alaux C, Brunet J-L, Dussaubat C, Mondet F, Tchamitchan S, Cousin M, Brillard J, Baldy A, Belzunces LP, Le Conte Y. 2010. Interactions between *Nosema microspores* and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). Environmental Microbiology **12**:774–782.

Al-Hassan M, Ahmed Z, Ibade WK. 2022. The efficiency of salicylic acid with deltamethrin and flupyradifurone insecticides for the control of myzus persica (sulzer) on broccoli. International Journal of Agricultural **17**:2213–2219.

Worldometer. 2019. Czechia Food & Agriculture. Available from <https://www.worldometers.info/food-agriculture/czechia-food-agriculture/#pest> (accessed January 15, 2024)

Amanatidis G, Curmei MM. 2023. Chemické látky a pesticidy. Available from <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/78/chemicke-latky-a-pesticidy> (accessed April 10, 2024).

Amaral AF. 2014. Pesticides and Asthma: Challenges for Epidemiology. *Frontiers in Public Health* 2. *Frontiers*. Available from <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2014.00006/full> (accessed April 9, 2024).

Anadón A, Ares I, Martínez M, Martínez-Larrañaga M-R, Martínez M-A. 2020. Chapter Four - Neurotoxicity of Neonicotinoids. Pages 167–207 in Aschner M, Costa LG, editors. *Advances in Neurotoxicology*. Academic Press. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468748019300153> (accessed December 6, 2023).

Anstead JA, Mallet J, Denholm I. 2007. Temporal and spatial incidence of alleles conferring knockdown resistance to pyrethroids in the peach–potato aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), and their association with other insecticide resistance mechanisms. *Bulletin of Entomological Research* 97:243–252.

Antwi FB, Reddy GVP. 2015. Toxicological effects of pyrethroids on non-target aquatic insects. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 40:915–923.

Awadall S, Bayoumy M, Allah F, Hawila H. 2020. Effect of Different Sugar Beet Plantations on the Sugar Beet Moth, *Scrobipalpa ocellatella* Boyd. and its Insect Parasitoids in Kafr El-Sheikh Governorate. *Journal of Plant Protection and Pathology* 11:567–569.

Babeřová J, Šefčíková Z, Čikoš Š, Špírková A, Kovaříková V, Koppel J, Makarevich AV, Chrenek P, Fabian D. 2017. Exposure to neonicotinoid insecticides induces embryotoxicity in mice and rabbits. *Toxicology* 392:71–80.

Barbagallo S, Cocuzza G, Cravedi P, Komazaki S. 2007. IPM case studies: deciduous fruit trees. Aphids as crop pests. Digital Library.

Barry JD et al. 2015. Movement of cyantraniliprole in plants after foliar applications and its impact on the control of sucking and chewing insects. *Pest Management Science* 71:395–403.

Bass C et al. 2011. Mutation of a nicotinic acetylcholine receptor β subunit is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. *BMC Neuroscience* 12:51.

Bass C, Denholm I, Williamson MS, Nauen R. 2015. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121:78–87.

Bass C, Field LM. 2018. Quick guide Neonicotinoids. *Current Biology* 28:761–783.

Bass C, Puinean AM, Zimmer CT, Denholm I, Field LM, Foster SP, Gutbrod O, Nauen R, Slater R, Williamson MS. 2014. The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, *Myzus persicae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 51:41–51.

Bažok R, Šatvar M, Radoš I, Drmic Z, Lemic D, Čačija M, Gašparic V. 2016. Comparative Efficacy of Classical and Biorational Insecticides on Sugar Beet Weevil,

Bothynoderes punctiventris Germar (Coleoptera: Curculionidae). Plant Protection Science **52**:134–141.

Běhal M. 2023. Systém podpory a prodloužení účinnosti pyrethroidů = SPPP. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/system-podpory-a-prodlouzeni-ucinnosti-pyrethroidu-sppp> (accessed April 19, 2024).

Bellows TS, Morse JG. 1993. Toxicity of insecticides used in citrus to aphytis melinus debach (hymenoptera: aphelinidae) and rhizobius lophanthae (blaisd.) (coleoptera: coccinellidae). The Canadian Entomologist **125**:987–994.

Beránková J, Kocourek F. 1989. Životní cyklus mšice broskvoňové, *Myzus persicae*. Ochrana rostlin **25**:279–288.

Bernardes MFF, Pazin M, Dorta DJ, Pereira LC. 2015. Impact of pesticides on environmental and human health. Pages 195–233 in Andrezza AC, Scola G, editors. Toxicology Studies: Cells, Drugs and Environment. BoD – Books on Demand, London.

Bittner V. 2012. Virové žloutenky na cukrovce. Listy cukrovarnické a řepařské **128**:136–138.

Blackman RL. 1972. The inheritance of life-cycle differences in *Myzus persicae* (Sulz.) (Hem., Aphididae). Bulletin of Entomological Research **62**:281–294.

Blackman RL, Eastop VF. 2000. Aphids on the World's Crops: An Identification and Information Guide 2nd edition. Wiley, Chichester.

Bojan V. 2021. Bioefficacy, phytotoxicity, safety to natural enemies and residues of cyantraniliprole 10 OD on potato (*Solanum tuberosum* L.) under open field condition. Crop Protection **142**:105505.

Brandt A, Gorenflo A, Siede R, Meixner M, Büchler R. 2016. The neonicotinoids thiacloprid, imidacloprid, and clothianidin affect the immunocompetence of honey bees (*Apis mellifera* L.). Journal of Insect Physiology **86**:40–47.

Brickle DS, Turnipseed SG, Sullivan MJ. 2001. Efficacy of insecticides of different chemistries against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in transgenic *Bacillus thuringiensis* and conventional cotton. Journal of Economic Entomology **94**:86–92.

Bucurean E, Marnea IA, Stanciu AS. 2014. Contributions regarding the evolution and fighting of field crop pests in bihor county. Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului **23**:37–42.

CABI. 2021. *Myzus persicae* (green peach aphid). CABI Compendium CABI Compendium:35642. CABI.

Capinera JL. 2001. Order Homoptera—Aphids, Leaf- and Planthoppers, Psyllids and Whiteflies. Pages 279–346 in Capinera JL, editor. Handbook of Vegetable Pests. Academic Press, San Diego.

Casida JE. 2015. Golden age of RyR and GABA-R diamide and isoxazoline insecticides: common genesis, serendipity, surprises, selectivity, and safety. Chemical Research in Toxicology **28**:560–566.

Casida JE, Quistad GB. 1998. Golden age of insecticide research: past, present, or future? *Annual Review of Entomology* **43**:1–16.

Český statistický úřad. 2024. Veřejná databáze Českého statistického úřadu. Available from https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02G&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&evo=v1442_!_ZEM02G-celek_1#w= (accessed April 2, 2024).

Chochola J. 2018. Restrikce přípravků na ochranu rostlin do cukrové řepy. *Listy cukrovarnické a řepářské* **134**:296–298.

Chochola J. 2021. Proč bojujeme za neonikotinoidy. *Listy cukrovarnické a řepářské* **137**:180–182.

Cooper J, Dobson H. 2007. The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Protection* **26**:1337–1348.

Coronado R, Morrissette J, Sukhareva M, Vaughan DM. 1994. Structure and function of ryanodine receptors. *American Journal of Physiology - Cell Physiology* **266**:C1485–C1504.

Dai P-L, Wang Q, Sun J-H, Liu F, Wang X, Wu Y-Y, Zhou T. 2010. Effects of sublethal concentrations of bifenthrin and deltamethrin on fecundity, growth, and development of the honeybee *Apis mellifera ligustica*. *Environmental Toxicology and Chemistry* **29**:644–649.

Davies TGE, Field LM, Usherwood PNR, Williamson MS. 2007. DDT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels. *IUBMB Life* **59**:151–162.

De Armas FS, Dionei Grutzmacher A, Edson Nava D, Antonio Pasini R, Rakes M, De Bastos Pazini J. 2020. Non-target toxicity of nine agrochemicals toward larvae and adults of two generalist predators active in peach orchards. *Ecotoxicology* **29**:327–339.

de Castro AA, Corrêa AS, Legaspi JC, Guedes RNC, Serrão JE, Zanuncio JC. 2013. Survival and behavior of the insecticide-exposed predators *Podisus nigrispinus* and *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae). *Chemosphere* **93**:1043–1050.

De Little SC, Umina PA. 2017. Susceptibility of Australian *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) to Three Recently Registered Insecticides: Spirotetramat, Cyantraniliprole, and Sulfoxaflor. *Journal of Economic Entomology* **110**:1764–1769.

Decourtye A, Devillers J, Cluzeau S, Charreton M, Pham-Delègue M-H. 2004. Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in honeybees under semi-field and laboratory conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **57**:410–419.

Dedryver C-A, Hullé M, Le Gallic J-F, Caillaud MC, Simon J-C. 2001. Coexistence in space and time of sexual and asexual populations of the cereal aphid *Sitobion avenae*. *Oecologia* **128**:379–388.

Delmotte F, Leterme N, Gauthier J-P, Rispe C, Simon J-C. 2002. Genetic architecture of sexual and asexual populations of the aphid *Rhopalosiphum padi* based on allozyme and microsatellite markers. *Molecular Ecology* **11**:711–723.

Dewar AM, Qi A. 2021. The Virus Yellow's Epidemic in Sugar Beet in the UK in 2020 and the Adverse Effect of the EU Ban on Neonicotinoids on Sugar Beet Production. *Outlooks on Pest Management* **32**:53–59.

Dinter A, Samel A. 2015. Cyantraniliprole: Pollinator profile of the novel insecticides under laboratory, semi-field and field conditions. Pages 28–49 in Pieter A, Pistorious J, editors. *Hazards of pesticides to bees*. Arno Brynda GmbH, Berlin.

Divekar PAD, Patel SK, Manimurugan C, Kushwaha M, Singh V. 2023. Bio-efficacy of newer insecticides cyantraniliprole and flonicamid for the management of mustard aphid *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) in cabbage. *The Pharma Innovation Journal* **12**:2805–2809.

Dively GP, Embrey MS, Kamel A, Hawthorne DJ, Pettis JS. 2015. Assessment of Chronic Sublethal Effects of Imidacloprid on Honey Bee Colony Health. *PLOS ONE* **10**:e0118748.

Du J, Fu Y. 2023. Diamide insecticides targeting insect ryanodine receptors: Mechanism and application prospect. *Biochemical and Biophysical Research Communications* **670**:19–26.

EFSA. 2019. Updated statement on the available outcomes of the human health assessment in the context of the pesticides peer review of the active substance chlorpyrifos-methyl. *EFSA Journal* **17**:e05908.

Ensley SM. 2018. Chapter 39 - Pyrethrins and Pyrethroids. Pages 515–520 in Gupta RC, editor. *Veterinary Toxicology*, Academic Press.

EPA. 2014. Cyantraniliprole. Available from <https://www.mda.state.mn.us/sites/default/files/inline-files/nair-cyantraniliprole.pdf> (accessed January 23, 2024).

EPA. 2018, November 13. Cyantraniliprole. Available from <https://www.federalregister.gov/documents/2018/11/13/2018-24379/cyantraniliprole-pesticide-tolerances> (accessed January 23, 2024).

EPA. 2023, September 28. EPA Approves New Labels for Cyantraniliprole to Better Protect Endangered Species. Available from <https://www.epa.gov/pesticides/epa-approves-new-labels-cyantraniliprole-better-protect-endangered-species> (accessed January 21, 2024).

European Commission. 2024. Neonicotinoids. Available from https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/approval-active-substances/renewal-approval/neonicotinoids_en (accessed April 12, 2024).

FAO. 2019. Top countries for Sugar Beet Production - Source FAO. Available from <https://www.nationmaster.com/nmx/ranking/sugar-beet-production> (accessed April 2, 2024).

FAO. 2023. Pesticides use and trade, 1990-2021. FAOSTAT Analytical Briefs Series.

Farghaly MFM, Zayed SMAD, Soliman SM. 2013. Deltamethrin degradation and effects on soil microbial activity. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* **48**:575–581.

- Fennell JT, Wilby A, Sobeih W, Paul ND. 2020. New understanding of the direct effects of spectral balance on behaviour in *Myzus persicae*. *Journal of Insect Physiology* **126**:104096.
- Field LM, Emyr Davies TG, O'Reilly AO, Williamson MS, Wallace BA. 2017. Voltage-gated sodium channels as targets for pyrethroid insecticides. *European Biophysics Journal* **46**:675–679.
- Flores AE, Ponce G, Silva BG, Gutierrez SM, Bobadilla C, Lopez B, Mercado R, Black WC IV. 2013. Wide Spread Cross Resistance to Pyrethroids in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) From Veracruz State Mexico. *Journal of Economic Entomology* **106**:959–969.
- Fray LM, Leather SR, Powell G, Slater R, McIndoe E, Lind RJ. 2014. Behavioural avoidance and enhanced dispersal in neonicotinoid-resistant *Myzus persicae* (Sulzer). *Pest Management Science* **70**:88–96.
- Fryč D, Rychlý S. 2014. Mšice: Malý atlas do ruky, 1. díl. UKZÚZ, Praha.
- Fryč D, Rychlý S. 2018. Mšice, Malý atlas do ruky, 5. díl. UKZÚZ, Praha.
- Gavkare O, Kumar S, Sharma N, Sharma P L. 2013. Evaluation of some novel insecticides against *Myzus persicae* (sulzer). *The Bioscan* **8**:1119–1121.
- Gibbons D, Morrissey C, Mineau P. 2015. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research* **22**:103–118.
- Gosselin RE, Smith RP, Hodge HC, Braddock J. 1984. *Clinical Toxicology of Commercial Products* 5th edition. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Guillemaud T, Mieuze L, Simon J-C. 2003. Spatial and temporal genetic variability in French populations of the peach–potato aphid, *Myzus persicae*. *Heredity* **91**:143–152.
- Hassman P, Belchim C. 2023. Volba vhodného insekticidu na jarní ošetření řepky. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/volba-vhodneho-insekticidu-na-jarni-osestreni-repky> (accessed February 8, 2024).
- Hausvater E, Doležal P, Baštová P. 2014. Mšice – přenašeči virových chorob brambor a ochrana proti nim. Výzkumný ústav Bramborářský Havlíčkův Brod, Havlíčkův Brod.
- Hejný S, Slavík B. 2003. Květena České republiky 2. Academia, Praha. Available from <https://www.kosmas.cz/knihy/106589/kvetena-ceske-republiky-2/> (accessed April 10, 2022).
- Henry M, Béguin M, Requier F, Rollin O, Odoux J-F, Aupinel P, Aptel J, Tchamitchian S, Decourtye A. 2012. A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science* **336**:348–350.
- Herbertsson L, Klatt BK, Blasi M, Rundlöf M, Smith HG. 2022. Seed-coating of rapeseed (*Brassica napus*) with the neonicotinoid clothianidin affects behaviour of red mason bees (*Osmia bicornis*) and pollination of strawberry flowers (*Fragaria* × *ananassa*). *PLOS ONE* **17**:e0273851.
- Hodianková. 2023.

Hossain R, Menzel W, Lachmann C, Varrelmann M. 2021. New insights into virus yellows distribution in Europe and effects of beet yellows virus, beet mild yellowing virus, and beet chlorosis virus on sugar beet yield following field inoculation. *Plant Pathology* **70**:584–593.

Hovorka IT, Stará IJ. 2020. Rezistence škůdců k insekticidům: narůstající ekonomický problém. Available from https://www.ctpz.cz/media/upload/1604415643_rezistence-skudcu-k-insekticidum.pdf (accessed January 23, 2024).

INCHEM. 1990. Deltamethrin. Available from <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc97.htm> (accessed February 16, 2024).

Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT, Roe RM. 2004. Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Protection* **23**:371–378.

Jeschke P, Nauen R, Schindler M, Elbert A. 2011. Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **59**:2897–2908.

Jiang J, Wang Y, Mu W, Zhang Z. 2020. Sublethal effects of anthranilic diamide insecticides on the demographic fitness and consumption rates of the *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis craccivora*. *Environmental Science and Pollution Research* **27**:4178–4189.

Johnson, Luukinen B, Buhl K, Stone D. 2010. Deltamethrin General Fact Sheet. Available from <http://npic.orst.edu/factsheets/DeltaGen.html> (accessed February 10, 2024).

Johnson RM, Wen Z, Schuler MA, Berenbaum MR. 2006. Mediation of Pyrethroid Insecticide Toxicity to Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) by Cytochrome P450 Monooxygenases. *Journal of Economic Entomology* **99**:1046–1050.

Jones AK, Sattelle DB. 2010. Diversity of insect nicotinic acetylcholine receptor subunits. *Advances in Experimental Medicine and Biology* **683**:25–43.

Kathage J, Castañera P, Alonso-Prados JL, Gómez-Barbero M, Rodríguez-Cerezo E. 2018. The impact of restrictions on neonicotinoid and fipronil insecticides on pest management in maize, oilseed rape and sunflower in eight European Union regions. *Pest Management Science* **74**:88–99.

Kazda J, Bokšová A, Stejskalová M. 2022. Vlastnosti ovlivňující včely u pesticidů aplikovaných v období květu řepky. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/vlastnosti-ovlivnujici-vcely-u-pesticidu-aplikovanych-v-obdobi-kvetu-repky> (accessed January 15, 2024).

Kessler SC, Tiedeken EJ, Simcock KL, Derveau S, Mitchell J, Softley S, Radcliffe A, Stout JC, Wright GA. 2015. Bees prefer foods containing neonicotinoid pesticides. *Nature* **521**:74–76.

Kiefer K, Bader T, Minas N, Salhi E, Janssen EM-L, von Gunten U, Hollender J. 2020. Chlorothalonil transformation products in drinking water resources: Widespread and challenging to abate. *Water Research* **183**:116066.

Kim J, Chon K, Kim B-S, Oh J-A, Yoon C-Y, Park H-H. 2022. Assessment of acute and chronic toxicity of cyantraniliprole and sulfoxaflor on honey bee (*Apis mellifera*) larvae. *Pest Management Science* **78**:5402–5412.

Kim SY, Ahn HG, Ha PJ, Lim UT, Lee J-H. 2018. Toxicities of 26 pesticides against 10 biological control species. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **21**:1–8.

Kloutvorová J. 2018. Neonikotinoidy a ochrana včel. Available from <http://www.rostlinyprobudoucnost.eu/ctprb/novinky/zajimavosti/79-neonikotinoidy-ochrana-vcel.html> (accessed December 12, 2023).

Kocourek F. 2022. Rezistence a citlivost mšice broskvoňové k insekticidům a možnosti ochrany. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/rezistence-a-citlivost-msice-broskvonove-k-insekticidum-a-moznosti-ochrany> (accessed March 26, 2024).

Kocourek F. 2023, May 3. Monitoring rezistence mšice broskvoňové k insekticidům a možnosti ochrany. Available from <https://uroda.cz/monitoring-rezistence-msice-broskvonove-k-insekticidum-a-moznosti-ochrany/> (accessed January 14, 2024).

Kocourek F, Stará J. 2022. Možnosti v ochraně proti rezistentním populacím mandelinky bramborové. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/moznosti-v-ochrane-proti-rezistentnim-populacim-mandelinky-bramborove> (accessed January 22, 2024).

Kocourek F, Stará J, Holý K, Vincíková J, Seidenglanz M, Kolařík P, Havel J, Hrudová E. 2021. Závěrečná zpráva za Plošný monitoring rezistence vybraných škůdců vůči účinným látkám pesticidů na území ČR. VÚRV Praha.

Koureas M, Tsakalof A, Tsatsakis A, Hadjichristodoulou C. 2012. Systematic review of biomonitoring studies to determine the association between exposure to organophosphorus and pyrethroid insecticides and human health outcomes. *Toxicology Letters* **210**:155–168.

Kudsk P, Mathiassen SK. 2020. Pesticide regulation in the European Union and the glyphosate controversy. *Weed Science* **68**:214–222.

Kumar N, Gupta S. 2020. Persistence and degradation of cyantraniliprole in soil under the influence of varying light sources, temperatures, moisture regimes and carbon dioxide levels. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* **55**:1032–1040.

Lahm GP, Selby TP, Freudenberger JH, Stevenson TM, Myers BJ, Seburyamo G, Smith BK, Flexner L, Clark CE, Cordova D. 2005. Insecticidal anthranilic diamides: A new class of potent ryanodine receptor activators. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* **15**:4898–4906.

Latorre G, García-Martínez MM, Martín-Bejerano M, Julio LF, Zalacain A, Carrión ME, Carmona M. 2022. Biopesticide Activity of Guayule Resin. *Plants* **11**:1169.

Lebrun-Destombes M, Hulin L, Rouas G, Buschhaus H. 2005. Acetamiprid, a new insecticide for the control of aphids and white flies on vegetables. *Journal of Pest Science* **74**(74):52-56

- Lennefors BL. 2021. Virové žloutenky cukrové řepy – co je nového? Listy cukrovarnické a řepářské **137**:240–244.
- Liao M, Liang Z, Wu R, Xiao J, Gao Q, Cao H. 2023. Residue behavior of cyantraniliprole and its ecological effects on *Procambarus clarkii* associated with the rice–crayfish integrated system. *Pest Management Science* **79**:1868–1875.
- Liu Y, Han M, Liu C, Tang Y, Jia M, Chen X, Liang H, Gao Y, Gu X. 2022. Subchronic toxicity of oral deltamethrin in laying chickens. *Frontiers in Veterinary Science* **9**. Available from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2022.1079580> (accessed February 18, 2024).
- Ma X. 2009. Research progress on analytical technique of pyrethroid pesticide residue. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* **41**:1076-1078
- Mahmood I, Imadi SR, Shazadi K, Gul A, Hakeem KR. 2016. Effects of Pesticides on Environment. Pages 253–269 in Hakeem KR, Akhtar MS, Abdullah SNA, editors. *Plant, Soil and Microbes*. Springer International Publishing, Cham.
- Mahr S. 2024. Aphids, in-depth. Available from <https://hort.extension.wisc.edu/articles/aphids-2/> (accessed March 13, 2024).
- Maňasová M et al. 2023. Viry žloutenek řepy cukrové a dopad na její pěstování. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/viry-zloutenek-repy-cukrove-a-dopad-na-jeji-pestovani> (accessed April 3, 2024).
- Mansour R, Bauer AL, Goodarzi M, Hoffmann C. 2023. Toxicity of Pesticides Applied in European Vineyards on *Anagyrus vladimiri* and *Trichogramma evanescens*, Parasitoids of *Planococcus ficus* and *Lobesia botrana*. *Insects* **14**:907.
- Matthews GA. 2018. *A history of pesticides*. CABI, Wallingford.
- Mezei I, Valverde-Garcia P, Siebert MW, Gomez LE, Torne M, Watson GB, Raquel AM, Fereres A, Sparks TC. 2022. Impact of the nicotinic acetylcholine receptor mutation R81T on the response of European *Myzus persicae* populations to imidacloprid and sulfoxaflor in laboratory and in the field. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **187**:105187.
- Ministerstvo zemědělství. 2024. Registr přípravků na ochranu rostlin. Available from <https://eagri.cz/public/app/eagriapp/POR/Vyhledavani.aspx?type=0&vyhledat=A&stamp=1698792529106> (accessed October 31, 2023).
- Mokry LE, Hoagland KD. 1990. Acute toxicities of five synthetic pyrethroid insecticides to *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia dubia*. *Environmental Toxicology and Chemistry* **9**:1045–1051.
- Mosbah R, Djerrou Z, Mantovani A. 2018. Protective effect of *Nigella sativa* oil against acetamiprid induced reproductive toxicity in male rats. *Drug and Chemical Toxicology* **41**:206–212.
- Moss S, Ulber L, Hoed I den. 2019. A herbicide resistance risk matrix. *Crop Protection* **115**:13–19.

- Movahedi A, Aghaei-Dargiri S, Li H, Zhuge Q, Sun W. 2023. CRISPR Variants for Gene Editing in Plants: Biosafety Risks and Future Directions. *International Journal of Molecular Sciences* **24**:16241.
- Mróz E, Kertowska D, Nowińska A, Baran B, Węgierek P, Depa Ł. 2016. Morphological description of the alimentary tract of *Geocautricularia* (Passerini, 1856) (Insecta, Hemiptera, Eriosomatinae). *Zoomorphology* **135**:305–312.
- Mueller-Beilschmidt D. 1990. Toxicology and Environmental Fate of Synthetic Pyrethroids. *Journal of pesticide reform* **10**:32–37.
- Mullin CA, Frazier M, Frazier JL, Ashcraft S, Simonds R, vanEngelsdorp D, Pettis JS. 2010. High Levels of Miticides and Agrochemicals in North American Apiaries: Implications for Honey Bee Health. *PLOS ONE* **5**:e9754.
- Naranjo SE, Akey DH. 2005. Conservation of natural enemies in cotton: comparative selectivity of acetamiprid in the management of *Bemisia tabaci*. *Pest Management Science* **61**:555–566.
- Nashreen A, Mustafa G, Ashfaq M. 2005. Mortality of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) after exposure to some insecticides; laboratory studies. *South Pacific Studies* **26**:1153–1159.
- National Library of Medicine. 2024. Deltamethrin. Available from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/40585> (accessed February 10, 2024).
- Nauen R. 2006. Insecticide mode of action: return of the ryanodine receptor. *Pest Management Science* **62**:690–692.
- Nidhi R, Rajpal S, Sharma PL. 2013. Evaluation of some insecticides against the green peach aphid, *Myzus persicae* (sulzer) (hemiptera: Aphididae). *Indian Journal of Entomology* **75**:113–117.
- Normark BB, Moran NA. 2000. Testing for the accumulation of deleterious mutations in asexual eukaryote genomes using molecular sequences. *Journal of Natural History* **34**:1719–1729.
- Pančíková J. 2019, March 19. Vývoj a současný stav pěstování cukrové řepy v České republice. Available from <https://uroda.cz/vyvoj-a-soucasny-stav-pestovani-cukrove-repy-v-ceske-republice/> (accessed April 2, 2024).
- Papachristos DP, Milonas PG. 2008. Adverse effects of soil applied insecticides on the predatory coccinellid *Hippodamia undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control* **47**:77–81.
- Parizadeh M, Mimee B, Kembel SW. 2021. Neonicotinoid Seed Treatments Have Significant Non-target Effects on Phyllosphere and Soil Bacterial Communities. *Frontiers in Microbiology* **11**. Available from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.619827> (accessed December 13, 2023).
- Pereira Costa ES, Soares MA, Caldeira ZV, Von dos Santos Veloso R, da Silva LA, da Silva DJH, de Lima Santos IC, de Castro e Castro BM, Zanuncio JC, Legaspi JC. 2020.

Selectivity of deltamethrin doses on *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Reports* **10**:12395.

Piccolomini AM, Whiten SR, Flenniken ML, O'Neill KM, Peterson RKD. 2018. Acute Toxicity of Permethrin, Deltamethrin, and Etofenprox to the Alfalfa Leafcutting Bee. *Journal of Economic Entomology* **111**:1001–1005.

Pisa LW et al. 2015. Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environmental Science and Pollution Research* **22**:68–102.

PubChem. 2024. Cyantraniliprole. Available from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11578610> (accessed January 21, 2024).

Rabea IE. 2009. Comparative Toxicity of Five Pesticides Against *Tetranychus urticae* (Koch), *Myzus persicae* (Sulzer) and *Aphis nerii* (Boyer de Fonscolombe). *Alexandria Science Exchange Journal* **30**:412–418.

Ramirez-Romero R, Chaufaux J, Pham-Delègue M-H. 2005. Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honeybee *Apis mellifera*, a comparative approach. *Apidologie* **36**:601–611.

Rehman H, Aziz AT, Saggi S, Abbas ZK, Mohan A, Ansari AA. 2014. Systematic review on pyrethroid toxicity with special reference to deltamethrin. *Journal of Entomology and Zoology Studies* **2**:60–70.

Riskallah MR, Abd-Elghafar SF, Abo-Elghar MR, Nassar ME. 1983. Development of resistance and cross-resistance in fenvalerate and deltamethrin selected strains of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Pesticide Science* **14**:508–512.

Rod J. 2017. Choroby a škůdci na zahradě, identifikace, prevence a ochrana. Grava Publishing a.s., Praha.

Rundlöf M et al. 2015. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature* **521**:77–80.

Rychlý S. 2021. Prognóza výskytu mšic na jaře 2021. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/prognoza-vyskytu-msic-na-jare-2021> (accessed March 18, 2024).

Ryšánek P, Maňasová M, Chochola J, Zouhar M. 2021. Hrozí nám návrat virových žloutenek řepy? *Listy cukrovarnické a řepařské* **137**:411–416.

SAFE. 2023. European Court of Justice bans use of bee-toxic pesticides. Available from <https://www.safefoodadvocacy.eu/european-court-of-justice-bans-use-of-bee-toxic-pesticides/> (accessed December 12, 2023).

Salako AF, Amaeze NH, Shobajo HM, Osuala FI. 2020. Comparative acute toxicity of three pyrethroids (Deltamethrin, cypermethrin and lambda-cyhalothrin) on guppy fish (*Poecilia reticulata* peters, 1859). *Scientific African* **9**:e00504.

Sayyed AH, Attique MNR, Khaliq A, Wright DJ. 2005. Inheritance of resistance and cross-resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. *Pest Management Science* **61**:636–642.

- Sayed AH, Pathan AK, Faheem U. 2010. Cross-resistance, genetics and stability of resistance to deltamethrin in a population of *Chrysoperla carnea* from Multan, Pakistan. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **98**:325–332.
- Scarton SR, Tsuzuki F, Guerra MT, dos Santos DP, dos Santos AC, Guimarães ATB, Simão ANC, Beu CCL, Fernandes GSA. 2022. Cyantraniliprole impairs reproductive parameters by inducing oxidative stress in adult female wistar rats. *Reproductive Toxicology* **107**:166–174.
- Scott C, Billsborrow PE. 2019. The impact of the EU neonicotinoid seed-dressing ban on oilseed rape production in England. *Pest Management Science* **75**:125–133.
- Šefrová H. 2014. Mšice broskvoňová – *Myzus persicae*. *Listy cukrovarnické a řepářské* **130**:394–397.
- Seidenglanz M. 2019. Rezistence řepkových škůdců proti různým druhům insekticidů. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/rezistence-repkovych-skudcu-proti-ruznym-druhum-insekticidu> (accessed February 15, 2024).
- Selby TP, Lahm GP, Stevenson TM. 2017. A retrospective look at anthranilic diamide insecticides: discovery and lead optimization to chlorantraniliprole and cyantraniliprole. *Pest Management Science* **73**:658–665.
- Sexton DL, Wyman J, Radcliffe EB, Hoy CJ, Ragsdale DW, Dively GP. 2005. *Vegetable Insect Management*. Meister Publishing, Willoughby.
- Shafiei F, Ahmadi K, Asadi M. 2018. Evaluation of systemic effects of four plant extracts compared with two systemic pesticides, acetamiprid and pirimicarb through leaf spraying against *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Plant Protection Research* **58**:257–264.
- Shah M, Kumar R, Sharma S, Dua V. 2022. Thermal requirement and temperature thresholds for development of peach-potato aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) on potato in the subtropical plains of India. *International Journal of Tropical Insect Science* **42**:1–8.
- Sharma AK, Zimmerman WT, Singles SK, Malekani K, Swain S, Ryan D, Mcquorcodale G, Wardrope L. 2014. Photolysis of Chlorantraniliprole and Cyantraniliprole in Water and Soil: Verification of Degradation Pathways via Kinetics Modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **62**:6577–6584.
- Silva APN, Chagas CF, de Andrade Alves EL, de Castro Carvalho V, Haddi K. 2024. Temperature effects on the hormetic response of *Myzus persicae* after sublethal exposure to insecticides. *CABI Agriculture and Bioscience* **5**:5.
- Simon J-C, Rispe C, Sunnucks P. 2002. Ecology and evolution of sex in aphids. *Trends in Ecology & Evolution* **17**:34–39.
- Skouras PJ, Darras AI, Mprokaki M, Demopoulos V, Margaritopoulos JT, Delis C, Stathas GJ. 2021. Toxicity, Sublethal and Low Dose Effects of Imidacloprid and Deltamethrin on the Aphidophagous Predator *Ceratomegilla undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Insects* **12**:696.

- Slater R, Paul VL, Andrews M, Garbay M, Camblin P. 2012. Identifying the presence of neonicotinoid-resistant peach-potato aphid (*Myzus persicae*) in the peach-growing regions of southern France and northern Spain. *Pest Management Science* **68**:634–638.
- Slavica V, Inđić D, Gvozdenac S, Grahovac M, Marinković B, Keresi T, Tanasković S. 2014. Comparative evaluation of insecticides in control of *Bothynoderes punctiventris* Germ. under laboratory and field conditions. *Romanian agricultural research* **31**:2014–273.
- Song Y, Kai J, Song X, Zhang W, Li L. 2015. Long-term toxic effects of deltamethrin and fenvalerate in soil. *Journal of Hazardous Materials* **289**:158–164.
- Stanley J, Preetha G. 2016. *Pesticide Toxicity to Non-target Organisms*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Stará J, Hovorka T, Horská T, Zusková E, Kocourek F. 2024. Pyrethroid and carbamate resistance in Czech populations of *Myzus persicae* (Sulzer) from oilseed rape. *Pest Management Science* **80**:2342–2352.
- Stara J, Ourednickova J, Kocourek F. 2011. Laboratory evaluation of the side effects of insecticides on *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae), *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae), and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Pest Science* **84**:25–31.
- Statista. 2021. Leading countries in agricultural consumption of pesticides worldwide in 2021. Available from <https://www.statista.com/statistics/1263069/global-pesticide-use-by-country/> (accessed April 21, 2024).
- Statista. 2024. Global sugar beet cane production 2022. Available from <https://www.statista.com/statistics/249609/sugar-beet-production-worldwide/> (accessed April 2, 2024).
- Svoboda J, Pech P, Heneberg P. 2023. Low concentrations of acetamiprid, deltamethrin, and sulfoxaflor, three commonly used insecticides, adversely affect ant queen survival and egg laying. *Scientific Reports* **13**:14893.
- Teixeira LA, Andaloro JT. 2013. Diamide insecticides: Global efforts to address insect resistance stewardship challenges. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **106**:76–78.
- Thompson GD, Dutton R, Sparks TC. 2000. Spinosad – a case study: an example from a natural products discovery programme. *Pest Management Science* **56**:696–702.
- Thompson HM. 2003. Behavioural Effects of Pesticides in Bees—Their Potential for Use in Risk Assessment. *Ecotoxicology* **12**:317–330.
- UKZÚZ. 2014, 2023. Rostlinolékařský portál. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|domu|uvod (accessed October 31, 2023).
- UKZÚZ. 2024a. Mšice broskvoňová. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c2c8c33%22#rlp|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c2c8c33|popis (accessed March 12, 2024).

UKZÚZ. 2024b. Mšice broskvoňová. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c2c8c33%22#r1p|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c2c8c33|popis (accessed March 12, 2024).

UKZÚZ. 2024c. Řepa obecná. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%223e159e204fce3e4630fcf881cb0057db%22#r1p|plodiny|detail:3e159e204fce3e4630fcf881cb0057db|popis (accessed April 4, 2024).

UKZÚZ. 2024d. Aphid Bulletin. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c2c8c33%22#r1p|so|aphb|uvod (accessed March 24, 2024).

Varga-Szilay Z, Tóth Z. 2022. Is acetamiprid really not that harmful to bumblebees (Apidae: *Bombus* spp.)? *Apidologie* 53:2.

Venclová B, Holý K, Chochola J. 2023, May 31. Cukrová řepa bez neonikotinoidních mořidel – ano, nebo ne? Available from <https://uroda.cz/cukrova-repa-bez-neonikotinoidnich-moridel-ano-nebo-ne/> (accessed December 13, 2023).

Verheggen F, Barrès B, Bonafos R, Desneux N, Escobar-Gutiérrez AJ, Gachet E, Laville J, Siegwart M, Thiéry D, Jactel H. 2022. Producing sugar beets without neonicotinoids: An evaluation of alternatives for the management of viruses-transmitting aphids. *Entomologia Generalis* 42:491–498.

Víchová J. 2021. Virové choroby řepy (II.). Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/choroby-repy-2-virove-choroby-repy-ii> (accessed April 13, 2024).

Volkov EM, Nurullin LF, Nikolsky E, Vyskocil F. 2007. Miniature excitatory synaptic ion currents in the earthworm *Lumbricus terrestris* body wall muscles. *Physiological Research* 56:655–658.

Wallace DR. 2014. Acetamiprid. Pages 30–32 in Wexler P, editor. *Encyclopedia of Toxicology* (Third Edition). Academic Press, Oxford.

Wang X, Anadón A, Wu Q, Qiao F, Ares I, Martínez-Larrañaga M-R, Yuan Z, Martínez M-A. 2018. Mechanism of Neonicotinoid Toxicity: Impact on Oxidative Stress and Metabolism. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 58:471–507.

Wanner KW, Helson BV, Harris BJ. 2000. Laboratory and field evaluation of spinosad against the gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Pest Management Science* 56:855–860.

Wen Z, Li K, Xu W, Zhang Z, Liang N, Chen M, Guo L. 2024. Role of miR-276-3p in the cyantraniliprole resistance mechanism of *Bemisia tabaci* via CYP6CX3 targeting. *International Journal of Biological Macromolecules* 254:127830.

Wiles JA, Jepson PC. 1992. The susceptibility of a cereal aphid pest and its natural enemies to Deltamethrin. *Pesticide Science* 36:263–272.

Williams T, Valle J, Viñuela E. 2003. Is the Naturally Derived Insecticide Spinosad® Compatible with Insect Natural Enemies? *Biocontrol Science and Technology* 13:459–475.

Wu S, He M, Xia F, Zhao X, Liao X, Li R, Li M. 2022. The Cross-Resistance Pattern and the Metabolic Resistance Mechanism of Acetamiprid in the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *International Journal of Molecular Sciences* **23**:9429.

Yan S, Ren X, Zheng L, Wang X, Liu T. 2023. A systematic analysis of residue and risk of cyantraniliprole in the water-sediment system: Does metabolism reduce its environmental risk? *Environment International* **179**:108185.

Yang Y et al. 2020. Acute and chronic toxicity of acetamiprid, carbaryl, cypermethrin and deltamethrin to *Apis mellifera* larvae reared in vitro. *Pest Management Science* **76**:978–985.

Yoo M, Lim Y-H, Kim T, Lee D, Hong Y-C. 2016. Association between urinary 3-phenoxybenzoic acid and body mass index in Korean adults: 1(st) Korean National Environmental Health Survey. *Annals of Occupational and Environmental Medicine* **28**:2.

YuPing L, PoHung C. 2019. A preliminary study on control efficacy of chemical insecticides and colored sticky cards against the sweet potato flea beetle (*Chaetocnema confinis* Crotch). *Journal of Taiwan Agriculture Research* **68**:78–89.

Zhang A, Kaiser H, Maienfisch P, Casida JE. 2000. Insect Nicotinic Acetylcholine Receptor: Conserved Neonicotinoid Specificity of [3 H]Imidacloprid Binding Site: Conserved Neonicotinoid Specificity of [3 H]Imidacloprid Binding Site. *Journal of Neurochemistry* **75**:1294–1303.

Zhang D-W, Dai C-C, Ali A, Liu Y-Q, Pan Y, Desneux N, Lu Y-H. 2022. Lethal and sublethal effects of chlorantraniliprole on the migratory moths *Agrotis ipsilon* and *A. segetum*: New perspectives for pest management strategies. *Pest Management Science* **78**:4105–4113.

Zhang X, Wang X, Liu Y, Fang K, Liu T. 2020. Residue and toxicity of cyantraniliprole and its main metabolite J9Z38 in soil-earthworm microcosms. *Chemosphere* **249**:126479.

Zimmer CT, Nauen R. 2011. Cytochrome P450 mediated pyrethroid resistance in European populations of *Meligethes aeneus* (Coleoptera: Nitidulidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* **100**:264–272.

Zuščíková L, Bažány D, Greifová H, Knížatová N, Kováčik A, Lukáč N, Jambor T. 2023. Screening of Toxic Effects of Neonicotinoid Insecticides with a Focus on Acetamiprid: A Review. *Toxics* **11**:598.