

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra ochrany rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv letálních a subletálních dávek esenciálních olejů na
vybrané charakteristiky hmyzu**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Matěj Novák

Obor studia: Rostlinolékařství

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Ryšánek, CSc.

Konzultant: doc. Ing. Roman Pavela, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Vliv letálních a subletálních dávek esenciálních olejů na vybrané charakteristiky hmyzu" jsem vypracoval 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 autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. Ing. Pavlu Ryšánkovi, CSc. za vedení mé práce. Velký dík patří také panu doc. Ing. Romanu Pavelovi, Ph.D. a jeho týmu za četné konzultace, odbornou pomoc, rady a trpělivost. Dále děkuji své přítelkyni Anetě a celé svojí rodině za podporu.

Vliv letálních a subletálních dávek esenciálních olejů na vybrané charakteristiky hmyzu

Souhrn

V této práci byl studován vliv letálních nebo subletálních dávek esenciálního oleje (EO) z *Foeniculum vulgare* na dva druhy škůdců, *Metopolophium dirhodum* Walker, 1849 a *Plutella xylostella* Linnaeus, 1758. Dále byl studován vliv tohoto EO na slunéčko *Harmonia axyridis* Pallas, 1773, jako zástupce necílových organismů. Všechny experimenty probíhaly v laboratorních podmínkách.

U *M. dirhodum* byly při testech na akutní toxicitu odhadnuty subletální (LC₃₀) a letální (LC₅₀ a LC₉₀) koncentrace pro bezkřídlé dospělé. LC₃₀ byla pomocí probitové analýzy odhadnuta na 0,11 ml/l, LC₅₀ na 0,29 ml/l a LC₉₀ na 2,79 ml/l. S odhadnutými koncentracemi pro LC₃₀ a LC₅₀ byl poté proveden experiment zkoumající vliv tohoto esenciálního oleje na fertilitu *M. dirhodum*. Při tomto pokusu bylo během deseti dnů sledováno denní množství čerstvě narozených nymf. Sledovaná inhibice natality byla u LC₃₀ stanovena na 50,7 % a u LC₅₀ na 63,2 %.

U *P. xylostella* byly provedeny testy na akutní toxicitu u larev 3. instaru. Následně byla pomocí probitové analýzy odhadnuta LC₅₀ na 4,46 ml/l a LC₉₀ na 4,99 ml/l.

Jako necílové organismy byly vybrány larvy 3. instaru *Harmonia axyridis*. Tyto larvy byly vystaveny koncentracím, které byly rovny odhadnutým LC₅₀ a LC₉₀ pro *M. dirhodum*. Po 24 hodinách od ošetření byla u larev ošetřených koncentrací 0,29 ml/l pozorována mortalita 10,0 % a u larev ošetřených koncentrací 2,79 ml/l byla pozorována mortalita v hodnotě 10,3 %. V poslední den pokusu byla absolutní mortalita larev ošetřených koncentrací 0,29 ml/l stanovena na 10,4 % a u larev ošetřených koncentrací 2,79 ml/l absolutní mortalita dosáhla hodnoty 14 %. Následně bylo sledováno, zda se ošetření esenciálním olejem projeví na vývoji ošetřených jedinců, respektive, zda jedinci vývoj dokončí. Tento experiment ukázal, že EO z *F. vulgare* nemá na vývoj *H. axyridis* žádný vliv, všichni jedinci se byli schopni bez komplikací vylíhnout do stádia dospělého.

Klíčová slova: esenciální oleje, mortalita, fertilita, mšice, Lepidoptera.

Effect of lethal and sublethal doses of essential oils on certain characteristics of insects

Summary

This thesis studies the effect of lethal or sublethal doses of essential oil from *Foeniculum vulgare* on 2 species of pests, *Metopolophium dirhodum* Walker, 1849 and *Plutella xylostella* Linnaeus, 1758. The effect of this EO on one species of non-target insect, *Harmonia axyridis* Pallas, 1773 was further studied. All experiments were performed in laboratory conditions.

During the tests on acute toxicity on apterous adults of *M. dirhodum* were estimated sublethal (LC₃₀) and lethal (LC₅₀ a LC₉₀) concentrations. LC₃₀ was by the probit analysis estimated as 0.11 mL L⁻¹, LC₅₀ as 0.29 mL L⁻¹ and LC₉₀ as 2.79 mL L⁻¹. Then, using these estimated concentrations for LC₃₀ and LC₅₀, an experiment was performed to examine the effect of this essential oil on *M. dirhodum*'s fertility. In this experiment, the daily number of newborn nymphs was monitored for 10 days. The observed inhibition of natality was set at 50.7 % for LC₃₀ and 63.2 % for LC₅₀.

In the case of *P. xylostella* the experiment was performed on acute toxicity on 3. instar larvae. Subsequently, using the probit analysis, the LC₅₀ was estimated as 4.46 mL L⁻¹ and LC₉₀ was estimated as 4.99 mL L⁻¹.

The 3rd instar larvae of *H. axyridis* were chosen as a non-target organism. These larvae were exposed to concentrations of EO, which were equal to concentrations estimated as LC₃₀ and LC₅₀ for adults of *M. dirhodum*. After 24 hours from the treatment the observed mortality of larvae, caused by concentration 0.29 mL L⁻¹ was 10.0 %. The mortality caused by concentration of 2.79 mL L⁻¹ was 10.3 %. In the last day of the experiment, the absolute mortality of larvae treated by concentration of 0.29 mL L⁻¹ was 10.4 % and the absolute mortality of those treated by concentration of 2.79 mL L⁻¹ was 14.0 %. Subsequently it was observed, if the treatment by the EO has some effect on the development of these individuals and if they are able to finish their development. This experiment proved that EO from *F. vulgare* have zero influence on development of *H. axyridis*. All individuals reached adult stadium without any complications.

Keywords: essential oils, mortality, fertility, aphids, Lepidoptera.

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Botanické pesticidy.....	12
3.2 Esenciální oleje	14
3.3 Vybraná rostlina.....	16
3.3.1 Fenykl obecný (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.).....	16
3.4 Škodlivé organismy	18
3.4.1 Kyjatka travní (<i>Metopolophium dirhodum</i> Walker 1849).....	18
3.4.2 Zápředníček polní (<i>Plutella xylostella</i> Linnaeus, 1758).....	20
3.5 Necílové organismy	22
3.5.1 Slunéčko východní (<i>Harmonia axyridis</i> Pallas, 1773).....	22
3.6 Vybrané plodiny	24
3.6.1 Pšenice setá (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	24
3.6.2 Kedluben (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>gongylodes</i> L.).....	27
3.7 Přípravky použité jako kontrola.....	28
3.7.1 Rock Effect New.....	29
3.7.2 SpinTor	29
4 Metodika	30
4.1 Testy na <i>M. dirhodum</i>	30
4.1.1 Testovaný hmyz.....	30
4.1.2 Použitý rostlinný materiál.....	31
4.1.3 Vlastní biologické testy	31
4.1.3.1 Test akutní toxicity	31
4.1.3.2 Test vlivu EO na fertilitu.....	32
4.2 Testy na <i>P. xylostella</i>	33
4.2.1 Testovaný hmyz.....	33
4.2.2 Použitý rostlinný materiál.....	33
4.2.3 Vlastní biologické testy	33
4.2.3.1 Testy na akutní toxicitu	34
4.2.3.2 Vizuální ukázka účinku EO na zápředníčky	35
4.3 Testy na <i>H. axyridis</i>	35
4.3.1 Testovaný hmyz.....	35
4.3.2 Použitý rostlinný materiál.....	36
4.3.3 Vlastní biologické testy	36
4.3.3.1 Testy na akutní toxicitu a následný vývoj přeživších jedinců.....	36

4.4	Statistické metody	37
5	Výsledky.....	38
5.1	Výsledky testů na <i>M. dirhodum</i>.....	38
5.1.1	Výsledky testů na akutní toxicitu	38
5.1.2	Výsledky testů na fertilitu.....	40
5.2	Výsledky testů na <i>P. xylostella</i>	40
5.2.1	Výsledky testů na akutní toxicitu	40
5.2.2	Vizuální ukázka účinku EO na záředníčky	42
5.3	Výsledky testů na <i>H. axyridis</i>	44
5.3.1	Výsledky testů na akutní toxicitu a následný vývoj přeživších jedinců ...	44
6	Diskuze.....	45
6.1	Testy na <i>M. dirhodum</i>	45
6.1.1	Test na akutní toxicitu	45
6.1.2	Test vlivu na fertilitu	46
6.2	Testy na <i>P. xylostella</i>	46
6.2.1	Test na akutní toxicitu	46
6.3	Testy na <i>H. axyridis</i>	47
6.3.1	Testy na akutní toxicitu a následný vývoj přeživších larev	47
6.4	Předpokládaný vliv na životní prostředí.....	49
6.4.1	Vliv na cílové organismy	49
6.4.2	Pěstování rostlin vhodných k tvorbě botanických pesticidů.....	50
6.4.3	Potenciál EO jako insekticidů.....	51
7	Závěr	52
8	Literatura.....	53

1 Úvod

V posledních letech stále více stoupá tlak na snižování pesticidů v rostlinné produkci v rámci snížení enviromentálních rizik. Mezi tato rizika patří negativní vliv pesticidů na necílové organismy, zdraví člověka a také vznikající rezistence proti účinným látkám u škodlivých organismů. Tento tlak je vytvářen ze strany laické a odborné veřejnosti, opravdu důležitý je však tlak ze strany Evropské Unie. Zemědělci a výzkumníci jsou tedy nuceni se poohlédnout i po jiných možnostech ochrany rostlin, než jsou syntetické pesticidy. Kvůli současným postojům EU je jisté, že alternativou k pesticidům rozhodně nebudou v následujících pár letech geneticky modifikované rostliny. V úvahu jako alternativa k syntetickým pesticidům tedy přichází hlavně bioagens, biologické pesticidy a botanické pesticidy.

Botanické pesticidy fungují na bázi sekundárních metabolitů, jsou tedy zcela přírodního původu a na rozdíl od syntetických pesticidů jsou v přírodě lehce degradovatelné. Jednou z hlavních výhod biologických pesticidů je, že obsahují několik účinných látek a mechanismy účinku se vzájemně doplňují. Díky tomu se předpokládá, že u škodlivých organismů nehrozí vznik rezistence proti těmto přípravkům (Pavela 2020). U syntetických pesticidů, kde bývá často jediná účinná látka, je problém vzniku rezistence škodlivých organismů stále aktuálnější. V našich podmínkách se například často mluví o vzniku rezistence vůči insekticidům u škůdců řepky (Seidenglanz et al. 2018).

Podle Sharmy et al. (2017) se odhaduje, že hmyzí škůdci každoročně způsobují ztráty na výnosech v hodnotě 18-20 % celosvětové produkce plodin, což činí finanční škodu asi 470 miliard USD. S klimatickou změnou a dalšími faktory se mění spektrum škůdců na určitém území. Například západníček polní (*Plutella xylostella* Linnaeus, 1758) se během posledních deseti let stal škůdcem, který rozhodně stojí za pozornost, mimo jiné i kvůli tomu, že zrovna tento druh hmyzu je v současnosti rezistentní vůči skoro všem používaným skupinám účinných látek obsažených v syntetických pesticidech (Pavela 2012). Rezistence byla prokázána také u kyjatky travní (*Metopolophium dirhodum* Walker, 1849), a to k několika účinným látkám ze skupin pyrethroidů, organofosfátu, avermektinů a neonikotinoidů (Gong et al. 2021)

Jako botanické insekticidy mohou být využity esenciální oleje, jejichž vlivem na některé charakteristiky hmyzu se zabývá tato práce. Pro provedené pokusy byl využit esenciální olej z *Foeniculum vulgare* Mill., který byl aplikován na jedince kyjatky travní a západníčka polního, jako na zástupce škůdců polních, respektive zahradních plodin. Dále byl tento esenciální olej

aplikován na jedince sluněčka východního (*Harmonia axyridis* Pallas, 1773), jako na zástupce přirozených predátorů mšic.

I přes mnoho výhod botanických pesticidů, které budou probrány v následujících kapitolách, je nutno si uvědomit, že ne všechny přírodní látky jsou pro přírodu bezpečnější než látky syntetické obsažené v pesticidech (Pavela 2020). U veřejnosti často převládá pocit, že co je přírodní, je samozřejmě lepší než tzv. chemie. Je však nutné se zabírat nejen tím, zda je určitý přípravek přírodní či syntetický, ale také jestli je selektivní (působí jen na některé druhy hmyzu) či neselektivní (působí na všechny druhy hmyzu). Je důležité si uvědomit, že právě neselektivní pesticidy ohrožují biodiverzitu a nezáleží na tom, jestli jsou přírodního či syntetického původu.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotézy:

1. Esenciální olej z *Foeniculum vulgare* aplikovaný v letálních nebo subletálních koncentracích vykazuje významný vliv na mortalitu a plodnost kyjatky travní (*Metopolophium dirhodum*).
2. Esenciální olej z *Foeniculum vulgare* aplikovaný v letálních nebo subletálních koncentracích vykazuje významný vliv na mortalitu larev zápředníčka polního (*Plutella xylostella*).
3. Esenciální olej z *Foeniculum vulgare* nevykazuje významný vliv na mortalitu a vývoj larev slunéčka východního (*Harmonia axyridis*).

Cílem DP je zjistit vliv letálních nebo subletálních koncentrací EO z *Foeniculum vulgare* na výše zmíněné charakteristiky druhů *Metopolophium dirhodum* a *Plutella xylostella*. Současně bude studován vliv EO na vývoj larev *Harmonia axyridis*, jakožto zástupce necílových organismů a zároveň přirozeného predátora kyjatek. Diskutována bude environmentální bezpečnost v rámci potenciálního využití vybraného EO jakožto účinné látky botanických insekticidů.

3 Literární rešerše

3.1 Botanické pesticidy

Jako botanické pesticidy se definují látky rostlinného původu, které mohou mít insekticidní, fungicidní či baktericidní účinky (Pavela 2011). Pokud mluvíme o využití rostlinných látek v ochraně rostlin, tak se setkáváme se dvěma možnostmi dělení, podle kterých můžeme botanické pesticidy (dále jen BP) členit.

První možností je dělení do skupin podle historického vývoje do 3 generací. Pavela (2020) udává, že některé BP, jako například Pyrethrin I a II z *Chrysanthemum cinerariifolium* (Trevir.) a *Chrysanthemim coccineum* (Willd.), jsou lidstvu známé už po staletí. Například již 470 let př. n.l. se extrakty z chryzantém využívaly jako insekticid proti vším a blechám. Tento a některé další insekticidní extrakty, které většinou fungují jako neselektivní insekticidy, se řadí mezi botanické pesticidy první generace. Do druhé generace těchto přípravků se řadí kromě insekticidů také akaricidy, fungicidy, baktericidy a herbicidy. Tyto přípravky vznikaly zhruba od druhé poloviny 20. století a vyznačují se kromě selektivity také enviromentální a zdravotní bezpečností. Botanickými pesticidy třetí generace rozumíme přípravky, které vznikly v posledních několika desetiletích. Tyto přípravky nemají přímé pesticidní účinky, ale mohou inhibovat růst rostlinných patogenů či zvyšovat přirozenou obranyschopnost rostlin tím, že indukují částečnou rezistenci. Na hmyz pak tyto přípravky mohou působit antiovipozičně (zabraňují kladení vajíček), antifidantně (zabraňují žíru) či repelentně (odpuzují hmyz).

Podle druhého typu dělení jsou BP děleny na přípravky komerční, farmářské a tzv. základní látky. Komerční přípravky jsou, jak již název napovídá, komerčně vyráběné a prodávané. Přípravky farmářské si každý zemědělec může v mnoha případech vyrábět sám pomocí macerace, ovšem za předpokladu, že má na to obstarán vhodný rostlinný materiál (Pavela 2020). Poslední skupinou tohoto typu dělení jsou základní látky. Základní látku podle nařízení článku 23 nařízení ES lze definovat jako látku, která není látkou vzbuzující obavy, nemůže svými vlastnostmi způsobit narušení činnosti žláz s vnitřní sekrecí a ani nemá neurotoxické či imunotoxické účinky. Hlavním využitím této látky není použití v přípravcích na ochranu rostlin, ale lze ji nicméně použít pro ochranu rostlin, a to buď přímo, nebo v přípravku složeném z dané látky a obyčejného ředidla (vody). Tato látka není uváděna na trh jako přípravek na ochranu rostlin (ÚKZUZ 2021).

První základní látky by registrovány v roce 2013. Do roku 2021 jich je registrováno 20. Z těchto dvaceti látek jsou pouze 3 vyráběny z rostlin. Jedná se o extrakty z kopřiv, vrby a

přesličky rolní. Zbytek jsou různé potravinářské ingredience, jako například syrovátka, fruktóza, slunečnicový olej, cukr atd. (Pavela 2020).

Hlavní výhodou botanických pesticidů a základních látek je fakt, že nejsou ve většině případů toxické. Rezidua jsou většinou pro lidi a další obratlovce neškodná. Existují však i výjimky, například flavonoid rotenon obsažen v extraktech kožnatců (*Derris* spp.) a lonchokarpů (*Lonchocarpus* spp.) nebo alkaloid nikotin obsažen v extraktu tabáku (*Nicotiana* spp.). Kromě nikotinu však existují i další pro obratlovce toxické alkaloidy, které jsou obsaženy v některých BP (Lengai et al. 2020).

Další velkou výhodou je fakt, že každý rostlinný extrakt obsahuje celý komplex účinných látek, takže by neměl hrozit vznik rezistence škodlivých organismů (ŠO) proti těmto přípravkům. Kromě toho toto množství účinných látek zabírá na velké spektrum ŠO. Díky faktu, že mechanismus účinku BP se často dá popsat jako antifidantní či antioviipoziční (nikoliv insekticidní) tak nepůsobí na necílové organismy (Isman 2006; Pavela 2020). V závislosti na použitém druhu rostliny či na použité koncentraci mají BP jen minimální či dokonce žádné alelopatické účinky na plodiny (Lengai et al. 2020).

Nevýhody těchto přípravků většinou souvisí s jejich výrobou či s nutností opakované aplikace. Sama výroba těchto přípravků je velice pracná. Rostliny se musí vypěstovat, sklídit, usušit a správně vyextrahovat. Toto pocítí hlavně zájemci o výrobu farmářských přípravků (Pavela 2020). S výrobou také souvisí nutnost mít dostatek kvalitního rostlinného materiálu. Obecně pěstování rostlin pro produkci BP může vyžadovat velké plochy, na kterých se pěstitel bude muset vzdát pěstování výnosnějších nebo potřebných plodin. V důsledku toho by dostupnost orné půdy pro produkci požadovaného množství botanických pesticidů byla hlavním limitujícím faktorem. Dalším spíše negativním faktorem by byla nutnost vytváření skladovacích a zpracovatelských zařízení, která by vyžadovala rozsáhlé investice do skladů, konzervačních technologie a techniky (Lengai et al. 2020).

Komplikovanou vlastností je rychlé rozkládání reziduí BP v životním prostředí. Tato rezidua jsou velmi rychle odbourávána vlivem teploty, slunečního záření, vzduchu, vlhkosti či mikroorganismy. Právě půdní mikroorganismy produkují enzymy, které modifikují BP na rozložitelné látky, které jsou lépe degradovatelné než původní produkt. Tyto metabolity se poté stávají biologicky nedostupnými a již nejsou toxické (Lengai et al. 2020). Na jednu stranu je to výhoda, například při pěstování plodové zeleniny, kdy se spotřebitel nemusí bát, že v produktu budou rezidua pesticidů. Na druhou stranu tato vlastnost přináší i určitá negativa. Hlavním problémem je možná nízká perzistence účinnosti těchto přípravků. Firmy vyrábějící komerční přípravky se tomu snaží zamezit pomocí různých stabilizátorů, které mohou

prodloužit trvání účinku určitého produktu. Bohužel, u farmářských přípravků tyto stabilizátory nejsou, a tak se musí v době tlaku škodlivých organismů aplikovat častěji. Také se musí dbát na včasnou aplikaci prováděnou na základě prognózy a signalizace (Pavela 2020). Kromě toho aplikace BP je také závislá na počasí, hlavně pokud jsou aplikovány extrakty bez stabilizátorů (Lengai et al. 2020).

Obecně platí, že botanické pesticidy i základní látky se využívají hlavně ve sklenících, na zahradách či v ekologickém zemědělství.

3.2 Esenciální oleje

Esenciální oleje (též silice, aromatické či éterické oleje) jsou přírodní látky syntetizované aromatickými rostlinami. Co se fyzikálně-chemických vlastností týče, tak se jedná o látky čiré, zřídka barevné, tekuté, těkavé, rozpustné v tucích a organických rozpouštědlech s nižší hustotou, než má voda. Aromatické rostliny vytvářejí tyto látky jako svoje sekundární metabolity ve všech svých orgánech a částech, přesněji řečeno v pupenech, květech, listech, stoncích, větvích, semenech, plodech, kořenech, dřevě či kůře. Rostliny poté tyto silice skladují v sekrečních buňkách, kanálcích, buňkách epidermis či glandulárních trichomech (Bakkali et al. 2008).

Esenciální oleje (dále pouze EO) řadíme z chemického hlediska mezi aromatické uhlovodíky. Silice jsou díky svým baktericidním, fungicidním a virocidním vlastnostem využívány v potravinářství při konzervování potravin nebo v lékařství, kde nachází využití díky svým analgetickým, sedativním, antimikrobiálním či protizánětlivým účinkům (Bakkali et al. 2008; Pavela 2020). Kromě toho jsou EO využívány také v parfumerii či drogerii. Z aromatických rostlin se EO získávají procedurami jako je vodní destilace, parní destilace či pomocí oxidu uhličitého při tzv. superkritické reakci (Pavela 2020).

Silice byly úspěšně extrahovány z více jak 3 000 druhů rostlin, komerční uplatnění však zatím našlo pouze něco kolem 300 druhů (Bakkali et al. 2008). Nejčastěji pěstované rostliny pro získávání EO patří do čeledí jako *Lamiaceae*, *Asteraceae* a *Apiaceae* (Pavela 2020).

Chemické složení EO zahrnuje mix monoterpenů, diterpenů a seskviterpenů. Dále je v silicích obsažena řada dalších molekul, mimo jiné kyseliny, alkoholy, aldehydy, alifatické uhlovodíky, acyklické estery nebo laktony, kumariny a homologická řada fenyylpropanoidů (Nazzaro et al. 2013).

Ze všech látek, které se v EO nacházejí, mají nejvyšší význam látky obsažené v majoritním množství, kterých v jednom druhu silice bývá 1-5. Tyto majoritní látky jsou často v synergii s dalšími látkami, ať už majoritního nebo minoritního zastoupení. Tento synergický vztah zvyšuje biologickou účinnost komplexu (Pavela 2020).

Esenciální oleje vykazují fungicidní, baktericidní a inhibiční účinky vůči řadě patogenů (Bakkali et al. 2008). Na škůdce fungují jako fumigační nebo kontaktní insekticidy. Rychlý účinek proti některým druhům škůdců poukazuje na neurotoxické působení. Některé oleje fungují na bázi interference s neuromodulátorem zvaným oktopamin. Jiné EO fungují na bázi interference s chloridovými kanály, jejíž propustnost zvyšuje neurotransmitter GABA. Další mechanismy účinku různých individuálních látek však dodnes nejsou známy (Pavela 2020). Kromě přímo insekticidního účinku byly u mnoha silic pozorovány účinky antifidantní, antivivoziční, či repelentní. Tyto účinky se nazývají jako subletální (Isman 2000).

Výhod využívání EO jako pesticidů je hned několik. Z ekologického hlediska je hlavní výhodou bezpečnost pro necílové organismy. Až na několik výjimek nejsou tyto látky toxické pro teplokrevné živočichy, ale také nepředstavují nebezpečí pro opylovače, přirozené predátory a další necílové organismy. Krom toho se rezidua silic relativně rychle rozkládají, což je dáno těkavostí těchto látek. Z ekonomického hlediska ve prospěch EO jako pesticidů hovoří relativně nízké náklady na aktivní složky, což je dáno využitím EO v různých průmyslových odvětvích (již zmiňované parfumerie, drogerie, kosmetika). Konkurenční prostředí tak stlačuje ceny dolů. I univerzálnost vůči různým druhům škodlivých organismů (od hub přes bakterie až po hmyz) může být ekonomickou výhodou, protože zemědělec by nemusel kupovat zvlášť fungicidy a zvlášť různé druhy jiných pesticidů (Pavela 2020).

Podle Ismana (2006) je nevýhodou některých esenciálních olejů obsah problémových terpenoidních složek. Tyto problémové terpenoidní složky jsou středně toxické pro savce, ale až na těchto pár výjimek jsou EO či produkty z nich vytvářené většinou pro savce, ptáky a ryby netoxické.

Perzistence EO v polních podmínkách je díky volatilitě omezená. Isman (2006) dodává, že i když je tedy přímý kontakt pro přirozené nepřátelé škůdců letální, tak nově přicestovalým predátorům a parazitoidům, kteří dorazí po jednom či více dní od aplikace, již nebezpečí nehrozí.

Na trhu jsou některé biopesticidy na bázi esenciálních olejů k dostání i v EU. V České republice se můžeme setkat například s přípravkem HF Mykol, který obsahuje 23,8 % fenyklového oleje. Přípravek je doporučován na posílení obranyschopnosti rostlin proti houbovým patogenům, jako padlí či plíseň šedá. Dále je zde k dostání přípravek obsahující

výtažek ze šalvěže lékařské zvaný Myco-Sin Vin. Tento produkt posiluje obranyschopnost ovocných plodin proti chorobám jako monilióza či strupovitost. Funguje však i u zeleniny, a to například proti plísni okurkové (Pavela 2020).

3.3 Vybraná rostlina

3.3.1 Fenykl obecný (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Třída: Rosopsida (Vyšší dvouděložné rostliny), Řád: *Apiales* (miříkotvaré), Čeleď: *Apiaceae* (miříkovité)

Popis

Fenykl je dvouletá až vytrvalá bylina pocházející pravděpodobně ze Středozeří. Lodyha je vzpřímená, větvená, oblá, 500-2000 mm vysoká a s podélně světlým proužkováním. Listy jsou podlouhlé, trojúhelníkovité, 3-4x peřenosečné. Listy jsou děleny v úzké úkrojky dlouhé 5-50 mm a jsou silně aromatické. Řapík je dlouhý 30-600 mm. Květenství je okolíčnaté, s průmětem až 150 mm a obsahuje 4-30 okolíčků. Květy jsou oboupohlavné a chybí na nich obaly a obalíčky. Korunní plátky o délce 1-2 mm jsou žluté, podlouhlé a mělce vykrojené. Kalich chybí.

Rostlina kvete od července do září, plodem jsou podlouhle oválně pětižeborné dvounažky o délce až 8 mm a šířce 3 mm. Plody mají silně aromatickou vůni a nasládlou chuť (Kocourková et al. 2015).

Využití

Díky svému typickému oděru (způsobeným esenciálními oleji) je fenykl skvělým kořením využívaným v gastronomii k ochucení masa, ryb či pečiva. Své uplatnění *F. vulgare* nachází i v likérnictví, kde je významnou složkou absintu (Pavela et al. 2016).

Krom gastronomie je fenykl využíván i ve farmacii. Ve formě esenciálních olejů či rostlinné drogy se využívají jeho antispasmodické, antiflogistické, diuretické, analgetické či antioxidantní účinky. U volatilního oleje byly prokázány antioxidantní, antimikrobiální a hepatoprotektivní vlastnosti (Aprotosoie et al. 2010).

Esenciální olej

Složení esenciálního oleje záleží na externích a interních faktorech, jako jsou enviromentální a klimatické podmínky, čas sklizně, fáze zrání plodů a věk rostliny. Dále také záleží na genetických faktorech (Aprotosoie et al. 2010).

V esenciálním oleji z fenyklu jsou obsaženy látky jako trans-anethol, fenchon, estragol, methylchavicol, eugenol, limonen, *p*-anisaldehyd, α -phellandren, α -pinen, 1,8-cineol, γ -terpinen a *p*-cymen. V nižší koncentraci byly nalezeny také 3-methylbutanol, linalool, β -pinen, myceren, δ -careen, kafr, α -terpinol, *cis*-anethol a také thymol. Tyto těkavé sloučeniny se nacházejí ve všech částech rostliny (Pavela et al. 2016).

Nejvíce obsažené sloučeniny v esenciálním oleji jsou fenchon (16,9–34,7 %), estragol (2,5–66,0 %) a trans-anethol (7,9–77,7 %) (Mota et al. 2015).

Esenciální olej z fenyklu má insekticidní, fungicidní a baktericidní účinky.

Antifungální aktivita byla prokázána například proti *Aspergillus niger*, *A. japonicus*, *A. oryzae*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizopus oryzae* a *R. stolonifer*. Antibakteriální působení bylo pozorováno například proti bakteriím jako *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *S. aureus* ATCC 28213, *Escherichia coli* ATCC 25922; *Morganella morganii* LFG 08; *Proteus mirabilis* LFG 04; *Salmonella enteritidis* LFG 05; *S. enteritidis* serovar *typhimurium* LFG 06 a *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (Mota et al. 2015).

Velmi dobré insekticidní účinky byly prokázány například proti larvám komára tropického (*Aedes aegypti* Linnaeus, 1762) (Rocha et al. 2015) nebo larvám komára *Culex quinquefasciatus* (Say, 1823) (Pavela et al. 2016). Dále byl prokázán insekticidní vliv na mšiči broskvoňovou (*Myzus persicae* Sulzer, 1776) a kyjatku hrachovou (*Acyrtosiphon pisum* Harris, 1776), a to už při nízké koncentraci (0,5 ml/l) esenciálního oleje v emulzi (Digilio et al. 2008). Pavela et al. (2016) prokázali insekticidní aktivitu EO na dospělce mouchy domácí (*Musca domestica* Linnaeus, 1758) a housenky můry *Spodoptera littoralis* Boisduval, 1833. Možnost využití esenciálního oleje z *F. vulgare* byla testována také proti skladištním škůdcům. Byla prokázána insekticidní a fumigantní aktivita proti červotoči tabákovému (*Lasioderma serricorne* Fabricius, 1792), pilousi růžovému (*Sitophilus oryzae* Linnaeus, 1763) zrnokazovi čínskému (*Callosobruchus chinensis* Linnaeus, 1758) (Kim & Ahn 2001). Z motýlích škůdců byla výzkumu podrobena blýskavka kukuřičná (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith, 1797), u které byl zaznamenán značný antiovipoziční efekt způsobený tímto esenciálním olejem (Cruz et al. 2016).

3.4 Škodlivé organismy

3.4.1 Kyjatka travní (*Metopolophium dirhodum* Walker 1849)

Třída: Insecta (Hmyz), Řád: Lepidoptera (Motýli), Čeleď: Aphididae (Mšicovití)

Popis

Nymfy jsou zbarvené zeleně s tmavším pruhem na dorsální straně těla. Jejich velikost se pohybuje v rozmezí 2,8-3 mm. Bezkrídle samičky jsou stejně zbarvené jako nymfy, okřídlené samičky mají tmavou hlavu a hrud' (Kazda et al. 2003). Sifunkuly jsou zelené (ÚKZÚZ 2021a).

Příznaky poškození

Primárním hostitelem kyjatky travní jsou růže. Sekundárními hostiteli jsou obilniny, trávy a kukuřice. Na těchto hostitelích se objevuje v dubnu až květnu. Kyjatka způsobuje přímé škody sáním od metání do mléčné zralosti (Kazda et al. 2010). Místa, kde došlo k sání, žloutnou, listy se kroutí a zasychají. Krom toho na místech, kde byla vylučována medovice, se objevují černě. Na rozdíl od kyjatky osenní (*Sitobion avenae* Fabricius, 1775) ji nenajdeme sít v klasech (Kazda 2014).

Při vyšším počtu mšic na rostlině dochází díky odběru asimilátů ke snížení hmotnosti a jakosti zrna. U potravinářské pšenice pak klesá pekařská kvalita zrna, u sladovnického ječmene dochází k degradaci kvality sladu a u osivářských porostů se zhoršuje kvalita osiva. Významnější než škody způsobené sáním je však nepřímé poškození způsobené přenosem virů, především viru žluté zakrslosti ječmene (BYDV) (ÚKZÚZ 2021a).

Životní cyklus

M. dirhodum přezimuje jako vajíčko, tento vývoj se označuje jako holocyklický. Vajíčka přezimují na růžích. Na jaře se líhnou zakladatelky (fundatrix), které dávají vzniknout několika partenogenetickým generacím zvaným fundatrigenie. Od dubna do května přelétávají okřídlené samičky (migrantes) na sekundární hostitele, kde dochází k vývoji 3-5 překrývajících se nepohlavních generací. Když se hostitelská rostlina dostane do fáze voskové zralosti, odlétávají samičky na trávy, kukuřici či výdrol obilnin. Na podzim pak dochází k zpětné migraci na primárního hostitele (Šefrová 2006, ÚKZÚZ 2021a).

Ekologie

Pro vývoj kyjatyky travní je vhodná teplota 20 °C, ale je schopna vývoje i za nižších teplot. Kolonie této kyjatyky jsou malé a mají vysokou frekvenci okřídlených jedinců. Mezi její přirozené nepřátele patří sluněčka, pestřenky, zlatoočka, ale i entomopatogenní houby. Kromě zástupců *Poaceae* mohou jako sekundární hostitelé posloužit také jahodník (*Fragaria* spp.), řepík (*Agrimonia* spp.) či kosatec (*Iris* spp.) (Fryč & Rychlý 2014).

Škodlivost

Podle Watta & Wrattena (1984) byla při různých pozorování vypočítána ztráta na výnosech pšenice v rozmezí 1-30 %. Významné ztráty jsou způsobené virem žluté zakrslosti ječmene. Tento virus je přenášen perzistentně a napadá pšenici, ječmen, žito, oves, kukuřici a jílky. Rezervoárem jsou trávy a obilné výdrolky. Onemocnění je velmi hospodářsky významné, v některých letech a lokalitách může dojít k až 80% ztrátám (Kazda et al. 2010). Perzistentně přenosné viry setrvávají v těle hmyzu dlouhodobě až celoživotně. Do těla kyjatyky se virus BYDV dostává při sání šťáv z nakažené rostliny a po několika hodinách či dnech je při dlouhodobějším sáním přenáší na další hostitelskou rostlinu (Gryndler et al. 2013).

Podle pokusů, které provedli Nancarrow et al. (2021), mohou ztráty na výnosech pšenice způsobené BYDV překonat 84 %. Ve stejné studii se uvádí, že ztráty na výnosech ječmene na pozorovaných pozemcích byly stanoveny na 64 %.

Signalizace a ochrana

Signalizace je prováděna ÚKZÚZem pomocí systému Johnson-Taylor nasávacích pastí. Práh škodlivosti se pro pšenici na poli určuje počtem 25 a více mšic průměrně na jednu odnož (Kazda 2014).

Preventivní ochrana řádnou agrotechnikou spočívá v optimálně založeném porostu s rovnoměrně vyvinutými, nepřehnojovanými rostlinami. Mšice více lákají porosty stresované špatnou výživou anebo suchem. Dále je dobrá podpora přirozených nepřátel. V ochraně proti BYDV se využívají odrůdy s vyšší úrovní rezistence. Kromě toho se doporučuje pozdější termín setí. Vhodná je i likvidace výdrolu a trávovitých plevelů na orné půdě (ÚKZÚZ 2021a).

Jako nástroje chemické ochrany se uplatňuje řada látek, jako alfa-cypermethrin, zeta-cypermethrin, cypermethrin, beta-cifluthrin, deltamethrin, lambda-cyhalothrin, gamma-cyhalothrin, esfenvalerát, acetamiprid, pirimikarb, sulfoxaflor (ÚKZÚZ 2021b). Gong et al. (2021) prokázali při svých pokusech v Číně rezistenci *M. dirhodum* proti insekticidům ze čtyř různých skupin. Jmenovitě se jednalo o skupiny pyrethroidů, organofosfátů, avermektinů a

neonikotinoidů. Při pokusech byly objeveny dvě populace kyjatek silně rezistentních vůči účinné látce thiamethoxan. Dále byla u testovaných populací prokázána mírná rezistence proti imidaclopridu, abamektinu a ometoátu. Nízké stupně rezistence byly při těchto pokusech pozorovány také proti bifenthrinu a chlorpyrifosu.

3.4.2 Zápředníček polní (*Plutella xylostella* Linnaeus, 1758)

Třída: Insecta (Hmyz), Řád: Lepidoptera (Motýli), Čeleď: Plutellidae (Zápředníčkovití)

Popis

Housenky jsou zelenožluté, dosahují délky maximálně 7 mm. Tělo je porostlé krátkými černými chloupky, které vyrůstají z drobných světlých plošek. V pozdějších instarech se na těle vytváří řídký zápredek (Rod et al. 2005).

Dospělci mívají rozpětí křídel 14-16 mm a tělo dlouhé 6-7 mm. Barva křídel je šedavě hnědá. Typický pro ně je krémový nebo světle hnědý pás na zadním okraji předních křídel. Na zadních křídlech se nacházejí dlouhé trásně. Zápředníček je špatný letec, který létá jen v noci, a to maximálně 2 metry nad zemí. Samička klade žlutá vajíčka, která však později tmavnou (ÚKZÚZ 2021c).

Příznaky poškození

Zápředníček polní je škůdcem řepky a brukvovité zeleniny. Na listech poškozených rostlin jsou pozorovány dlouhé miny na listech, později okénkování. Největší škody na řepce způsobuje 4. a 5. generace (ÚKZÚZ 2021c).

Životní cyklus

P. xylostella přezimuje ve stádiu kukly na zbytcích rostlin. V našich podmínkách mívá 4-5 generací za rok. První generace motýlů se objevuje v květnu, kdy samice kladou jednotlivě nebo v malých skupinkách vajíčka na spodní stranu listů (Rod et al. 2005). V létě dochází k vývoji jedné generace za měsíc. Housenky 1. instaru minují uvnitř listů, další instary se pak přesouvají na povrch spodní strany listů (ÚKZÚZ 2021c).

Ekologie

Druh má řadu přirozených nepřátel. Vajíčka jsou napadána některými druhy parazitoidních drobněnek (*Trichogramma* spp.). Housenky jsou napadány parazitoidy rodu

Diadegma či druhem *Cotesia plutellae* Kurdjumov, 1912 (obojí Hymenoptera). Mezi predátory zápředníčků patří dravé plošnice či zlatoočka (*Chrysopa spp.*). Housenky mohou být napadány i entomopatogeními viry či houbami rodu *Beauveria* (Rod et al. 2005).

Škodlivost

V Indii byly zaznamenány ztráty na výnosu zelí v hodnotě 52 % (Ayalew 2006) a v Keni v hodnotě 31 % (Macharia et al. 2005). Dále byly v Keni ztráty na brukvovitých plodinách mezi lety 2014-2015 odhadnuty na 31 %. V Botswaně se ukázalo, že pokud nedojde k žádným rostlinolékařským zásahům, je možná i 100% ztráta na výnosu (Machekano et al. 2017). Podle Verkerk & Wrighta (1996) zápředníček v jihovýchodní Asii některá období způsoboval i ztráty na výnosech vyšší než 90 %.

Podle Zaluckiho et al. (2012) ochrana (v rámci celého světa) proti zápředníčkovi polnímu mezi lety 1993 až 1995 stála každoročně 1 miliardu USD.

Signalizace a ochrana

Zápředníčky lze na řepce monitorovat pomocí feromonových lapačů (dospělce) nebo vizuálně (housenky). Práh škodlivosti pro feromonové lapače je stanoven na hodnotu 10 samců/den na jeden lapač. Pro housenky je práh škodlivosti stanoven na 5 housenek/rostlinu (ÚKZÚZ 2021c).

V současné době jsou dostupné přípravky na ochranu rostlin s účinnými látkami jako alfa-cypermethrin, cyantraniliprol, beta-cyfluthrin, chlorantraniliprol, deltamethrin, lambda-chothrin či indoxakarb (ÚKZÚZ 2021d).

Z biologických přípravků je k dostání přípravky s účinnou látkou spinosad či přípravky na bázi bakterie *Bacillus thuringiensis ssp. Kurstaki* (ÚKZÚZ 2020d).

Z botanických pesticidů se jako účinné ukázaly přípravky ze zederachu indického (*Azadirachta indica* A.Juss.). Jako preventivní postřiky s antifidantními a repelentními účinky lze využít přípravky z kaledy indické (*Pongamia pinnata* L.), šalvěže (*Salvia* sp.), routy vonné (*Ruta graveolens* L.), rozmarýnu lékařského (*Rosmarinus officinalis* Spenn.) dobromyslu (*Origanum* sp.) a tymiánu (*Thymus* sp.) (Pavela 2020).

Nevýhodou chemické ochrany proti *P. xylostella* je rychlý vznik rezistence proti skoro všem používaným skupinám účinných látek, jako jsou karbamáty, organofosfáty, organochlorové pesticidy, pyrethroidy, neonikotinoidy, oxadiazin, pyrazoly nebo abamektin. Byla prokázána i rezistence vůči bakterii *Bacillus thuringiensis* Berliner. Objevuje se však rezistence i proti novějším látkám, jmenovitě vůči spinosadu a indoxakardu (Pavela 2012).

Podle Yua a Nguyena (1992) široké spektrum rezistence těchto škůdců je způsobeno četnými mechanismy. Mezi tyto mechanismy patří například zvýšená detoxikace insekticidů mikrosomálními oxidázami, glutathion transferázami a reduktázami. Dalším příkladem je mechanismus tzv. knock-down resistance (kdr), díky kterému není pesticid schopen se navázat na cílové místo kvůli změně konformace onoho místa.

3.5 Necílové organismy

3.5.1 Slunéčko východní (*Harmonia axyridis* Pallas, 1773)

Třída: Insecta (Hmyz), Řád: Coleoptera (Brouci), Čeleď: Coccinellidae (Slunéčkovití)

Popis

Larva je sametově černá s oranžovými trny a bílými skvrnami po stranách prvních pěti článků abdomenu. *H. axyridis* má 4 larvální stádia (Skuhrovec et al. 2018).

Dospělec dosahuje délky 6-9 mm. Typický pro tento druh je jemný kýl v zadní pětince krovek. Zbarvení tohoto brouka je velice variabilní (polymorfní), je známo okolo 200 barevných forem, z nichž více jak 100 je pojmenováno (ÚKZÚZ 2021e). V České republice je nejčastější světlá forma zvaná *succinae*, která tvoří asi 89 % jedinců v populaci. Zbarvení krovek této formy je světle oranžové až červené s větším počtem malých černých teček (nejvíce však 9) na jedné krovce srovnaných ve čtyřech příčných řadách. Vzácnější jsou formy s černým zbarvením krovek. Z těchto forem je nejčastější *spectabilis* se dvěma červenými skvrnami na každé krovce (asi 9 % jedinců populace), dále pak forma *conspicua* s jedinou červenou skvrnou na krovce (asi 2 % jedinců populace). Vzácná je forma *axyridis* se šesti červenými tečkami na krovce (Skuhrovec et al. 2018).

Životní cyklus

Samička klade oválná žlutá vajíčka asi 1,2 mm dlouhá po 20-30členných skupinách na spodní stranu listů napadených mšicemi. Období kladení trvá asi 12–16 dní a samička za den naklade průměrně 25 vajíček. Během života naklade 522-1642 vajíček v závislosti na kvalitě potravy a dalších faktorů. Za vhodných teplotních podmínek dochází k líhnutí larev již za 3 dny (ÚKZÚZ 2021). Larvy nové generace dokončují vývoj asi za 3-4 týdny, následně se kuklí a dávají vznik dospělcům. Dospělci se při dostatku potravy dále rozmnožují (Skuhrovec et al. 2018).

Vajíčka jsou kladena až do poloviny září, vývoj však dokončí pouze vajíčka nakladená do poloviny srpna. Dospělci se přesouvají do zimovišť do začátku listopadu. *H. axyridis* přezimuje jako dospělec nejčastěji v budovách, hlavně tedy v sakrálních a dalších nevytápěných stavbách. Podmínky České republiky umožňují vývoj 3 generací/rok (Skuhrovec et al. 2018).

Ekologie

Slunéčko východní pochází z Asie, vyskytuje se na území Japonska, Číny, Mongolska, Koreji, Vietnamu či v oblasti ruské Sibiře. V České republice bylo poprvé zaznamenáno v roce 2006 a během tří let se stalo dominantním druhem slunéček. Žije především na stromech a keřích, méně často na bylinách a polních plodinách. Kromě mšic může konzumovat i další živočišné škůdce. Na rozdíl od ostatních slunéček požírá i mery. Dále konzumuje také třásněnky, molice a roztoče. Lze tedy konstatovat, že z pohledu pěstitelů se jedná o užitečného predátora škodlivých organismů. Bylo odhadnuto, že samice spořádá za den asi 45 mšic, samec 19 (Skuhrovec et al. 2018).

Negativní stránkou výskytu *H. axyridis* je fakt, že se jedná o invazivní druh, který při překročení počtu jedinců na určitém stanovišti snižuje biodiverzitu. Slunéčko východní totiž může požírat i vajíčka, larvy a kukly jiných druhů slunéček. V některých případech dokonce *H. axyridis* dává přednost této potravě před svou obvyklou kořistí. Tento jev, kdy predátor pravidelně požírá jiné druhy, které konzumují stejné živočichy jako on, se používá anglický pojem „intraguild predation“. Na území České republiky však signifikantní negativní vliv těchto slunéček na naše slunéčka původní nelze prokázat (naznačován je však u *Adalia decempunctata* Linnaeus, 1758) (Skuhrovec et al. 2018).

Kromě jiných druhů slunéček může být *H. axyridis* v případě konkurenčního boje o potravu hrozbou i pro mšicomorky. Podle Kocourka et al. (2015) dochází v této situaci ze strany slunéček východních k predaci larev mšicomorky *Aphidoletes aphidomyza* Rondani, 1847.

Stejně jako další druhy slunéček v případě ohrožení využívá *H. axyridis* obranného mechanismu zvaného reflexní krvácení. Princip této ochrany je založen na schopnosti larev a imag vyloučit kapku hemolymfy s hořkým alkaloidem ven z těla. Predátor tak při manipulaci s kořistí ochutná vzorek tkáně s tímto hořkým alkaloidem. Předpokládá se, že poté kořist nechá, slunéčko tedy vyvázne skoro nepoškozené. Kromě hořkého alkaloidu také tyto kapky obsahují páchnoucí látky zvané metoxy-pyraziny, které slouží jako varovný signál pro predátory. Nespotřebované kapky hemolymfy je pak slunéčko schopno nasát zpátky do těla. Bylo zjištěno, že larvy pravidelně obírané o tyto obranné kapky pomaleji rostou a také dosahují nižší hmotnosti a samičky mají nižší počet vajíček (Nedvěd & Veselý 2014).

Škodlivost

Slunéčko východní bývá uváděno jako škodlivý organismus v porostech révy vinné. Pokud se slunéčka omylem připlou do hroznů při lisování a jejich hemolymfa se dostane do moštu před kvašením, dochází k znehodnocení budoucího produktu (Nedvěd 2004). Jako chemická ochrana jsou proti *H. axyridis* registrovány přípravky s účinnou látkou deltamethrin. Z biologických přípravků jsou registrovány přípravky na bázi spinosadu, azadirachtinu či parazitická hlístice *Steinernema carpocapsae* (Weiser, 1955) (ÚKZÚZ 2021f).

3.6 Vybrané plodiny

3.6.1 Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.)

Třída: Liliopsida (rostliny jednoděložné), Řád: *Poales* (lipnicotvaré), Čeleď: *Poaceae* (lipnicovité)

Popis

Pšenice má svazčitou kořenovou soustavu se 3-6 zárodečnými kořínky. Počet kořínků se může u různých genotypů lišit, je také závislý na velikosti klíčícího zrna. Asi 1-2 cm pod povrchem se tvoří adventivní kořeny, které zabírají svrchní vrstvy půdy. Počet adventivních kořenů je závislý na schopnosti rostlin odnožovat. Hloubka pronikání kořenů se pohybuje nejčastěji mezi 30–60 cm (do hloubky 30 cm se nachází asi 70 % kořenového systému), avšak hloubka zakořenění může být i v hloubce vyšší než 100 cm (Gütner 2002).

Listy jsou čárkovité, jsou tvořeny z listové čepele a listové pochvy, která objímá stéblo. Po stranách listové pochvy jsou vytvořeny tzv. ouška. V místě, kde listová pochva přechází v čepel je vytvořen tenký blanitý výrůstek zvaný jazýček.

Stéblo je tvořeno dutými články a plnými kolénky, ze kterých vyrůstá list.

Květenstvím pšenice je klas. Osu klasu tvoří klasové vřetenko, na jehož člancích vyrůstají klásky. Klásek je ohraničen dvojicí plev, uvnitř kterých jsou tvořeny kvítky. Každý kvítek je chráněn hrubší pluchou a jemnější pluškou. Mezi těmito dvěma útvary se nachází semeník se dvěma pérovitými bliznami a třemi tyčinkami. Na bázi semeníku se nacházejí 2 plenky (Pazderů 2018).

Význam a pěstování

Pšenice setá se podle Českého statistického úřadu (2021) pěstovala v roce 2021 na 784 784 ha zemědělské půdy. Z této celkové plochy se pšenice jarní nacházela na 75 247 ha půdy a pšenice ozimá na ploše 709 537 ha.

Pšenice má široké využití pro výživu lidí i hospodářských zvířat. Zrno má význam ve výrobě škrobu, mouky etanolu atd. Chemické složení zrna kolísá v závislosti na oblasti pěstování, odrůdě, agrotechnice a průběhu počasí.

Pšenice se pěstuje ve všech výrobních oblastech ČR. Jedná o velmi náročnou plodinu na půdní podmínky a obsah živin v půdě. Nejvhodnější pro její pěstování jsou půdy střední až těžší s pH 6,2-7,0. Nevhodné jsou naopak půdy lehké, kyselé a zamokřené. Nejvhodnější předplodiny jsou jeteloviny, organicky hnojené okopaniny, luskoviny či řepka. Špatnou předplodinou jsou jiné obilniny (Šnobl & Pulkrábek 2005).

Výživa

Příjem živin je značně závislý na půdních a povětrnostních podmínkách, intenzitě růstu, dosaženém výnosu i pěstované odrůdě. Při výnosu kolem 6 tun zrna a přibližně stejném výnosu slámy tato plodina z půdy odčerpá okolo 144 kg dusíku, 30 kg fosforu, 108 kg draslíku, 24 kg vápníku a 12 kg hořčíku (Vaněk et al. 2016).

Choroby

U pšenice jsou nejčastějšími původci chorob kořenů houby jako *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & D.L. Olivier, *Typhula incarnata* Lasch a *Fusarium* spp. Choroby stébel způsobují původci jako *Tapesia yallundae* Wallwork & Spooner či *Typhula incarnata* Lasch. Listy sužují houby jako *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurbit.) Drechsler ex Dastur, *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. či *Phaeosphaeria nodorum* (E. Müll.) Hedjar., která napadá i klas. Klasy napadají například *Fusarium* spp. či *Tilletia* spp. (Prokinová 2014).

Škůdci

Ze škůdců s bodavě savým ústrojím na pšenici škodí křísek polní (*Psammotettix alienus* Dahlbom, 1850, mimo jiné přenašeč viru zakrslosti pšenice), mšice střemchová (*Rhopalosiphum padi* Linnaeus, 1758), kyjatka osenní (*Sitobion avenae* Fabricius, 1775), kyjatka travní (*Metopolophium dirhodum* Walker, 1849) třásněnka obilná (*Frankliniella*

tenuicornis Uzel, 1895), truběnka pšeničná (*Haplothrips tritici* Kurdjumanov), truběnka travní (*Haplothrips aculeatus* Fabricius, 1803). Škůdce s ústrojím kousacím zastupuje hrbáč osenní (*Zabrus tenebrioides* Goeze, 1777), kohoutek černý (*Oulema melanopus* Linnaeus, 1758), kohoutek modrý (*Oulema obscura* Stephens, 1831), obaleč obilní (*Cnephasia pumicana* Zeller, 1847). Z dvoukřídlých škůdců, jejichž larvy mají ústní ústrojí háčkovité, na pšenici škodí bzunka ječná, zelenuška žlutopasá (*Chlorops pumilionis* Bjerkander, 1778), bejlomorka sedlová (*Haplodiplosis marginata* von Roser, 1840), plodomorka plevová (*Sitodiplosis mosellana* Géhin, 1857), plodomorka pšeničná (*Contarinia tritici* Kirby, 1798). Mimo hmyzí škůdce stojí za zmínku ze savců hraboš polní (*Microtus arvalis* Pallas, 1778) a z háďátek h. ovesné (*Heterodera avenae* Wollenweber, 1924) (Kazda 2014).

Plevele

U ozimé pšenice se nejčastěji setkáváme s violkami (*Viola* spp.), heřmánkovitými plevele, rozrazilý (*Veronica* spp.) hluchavkami (*Lamium* spp.), svízelem přítulou (*Galium aparine* L.), chundelkou metlicí (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.), ptačincem prostředním (*Stellaria media* (L.) Vill.), kokoškou pastuší tobolkou (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), penízkem rolním (*Thlaspi arvense* L.) či mákem vlčím (*Papaver rhoeas* L.). Expanzivně se na našem území šíří kakost maličký (*Geranium pusillum* Burm. fil.), sveřep jalový (*Bromus sterilis* L.) a zemědělm lékařský (*Fumaria officinalis* L.).

Řídké či mezerovité porosty mohou být na jaře zaplevelovány časnými jarními druhy, jako oves hluchý (*Avena fatua* L.), opletka obecná (*Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve), konopice polní (*Galeopsis tetrahit* L.) či pozdně jarním merlíkem bílým (*Chenopodium album* L.). Zaplevelení ostatními pozdně jarními druhy je ojedinělé a vypovídá o nedostacích agrotechniky na zapleveleném pozemku.

Z vytrvalých plevelů se v porostech ozimé pšenice vyskytuje pcháč rolní (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) a pýr plazivý (*Elytrigia repens* (L.) Nevski). V případě, že předplodinou byla víceletá pícnina, může být porost zaplevelen také šťovíky (*Rumex* spp.), pampeliškou (*Taraxacum* spp.), případně pelyňkem černobýlem (*Artemisia vulgaris* L.).

U jarní pšenice se může uplatňovat řada ozimých plevelů, především violky (*Viola* spp.), hluchavky (*Lamium* spp.), heřmánkovité plevele, brukvovité plevele, svízel přítula (*Galium aparine* L.), ptačinec prostřední (*Stellaria media* L.) a další. Velmi dobře se prosazují časně jarní plevele jako oves hluchý (*Avena fatua*), opletka obecná (*Fallopia convolvulus*), hořčice polní (*Sinapis arvensis* L.) či pozdně jarní merlík bílý (*Chenopodium album*).

V porostech jarních obilnin se obecně velmi dobře prosazuje pýr plazivý (*Elytrigia repens*) a pcháč rolní (*Cirsium arvense*), případně některé víceleté plevele, jako pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris*), šťovíky (*Rumex* spp.) aj. (Jursík et al. 2018)

3.6.2 Kedluben (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* L.)

Třída: Rosopsida (vyšší dvouděložné rostliny) Řád: Brassicales (brukvotvaré), Čeleď: Brassicaceae (brukvovité)

Popis

Jedná se o dvouletou rostlinu původem ze Středomoří. V prvním roce tvoří pouze 5-12 cm dlouhý, silně dřevnatý košťál, na jehož konci spočívá stonková hlíza kulovitě až elipsoidního tvaru. Listy jsou řapíkaté, podlouhlé až okrouhlé, oviněné s okraji nepravidelně vykrajovaně zubatými až laločnatými. Druhý rok vegetace se objevují žluté květy, které jsou uspořádány v řídký hrozen. Plodem je šešule. Široce elipsoidní semena jsou zbarvením hnědá až hnědočerná (Hejný & Slavík 2003).

Význam a pěstování

Kedluben se podle Českého statistického úřadu (2021) pěstoval v roce 2021 na 222 ha zemědělské půdy.

Jedná se o plodinu nenáročnou na teplo, vyhovuje ji však vlhké klima a pravidelný přísun vody. Pro pěstování kedlubnu jsou vhodné střední až lehčí půdy s dostatkem humusu a lehce přístupných živin. Kedluben je typickou plodinou druhé tratě, před výsadbou se hnojí průmyslovými hnojivy v dávce 0,3-0,6 t/ha při poměru živin 1,5 N : 1 P₂O₅ : 2 K₂O. U pozdních odrůd a přímých výsevů se aplikuje jen polovina dusíkatých hnojiv, druhou polovinou se hnojí až během vegetace (Rod et al. 2005).

Výživa

Pro výnos kedlubnu 20 t/ha se udává následující celkový odběr živin: 100 kg N/ha, 20 kg P/ha a 108 kg K/ha, 64 kg Ca/ha, 12 kg Mg/ha (Vaněk et al. 2012). Přehnojení dusíkem může vést k praskání bulev kedlubnu (ÚKZÚZ 2021g).

Choroby

Z virových chorob se u kedlubnu můžeme setkat s virovou mozaikou brukvovitých (původcem je cauliflower mosaic virus, zkráceně CaMV) a virem nekrotické mozaiky

brukvovitých (turnip mosaic virus, zkráceně TuMV). Vektorem těchto virů je více než 50 druhů mšic, největší význam má mšice zelná (*Brevicoryne brassicae* Linnaeus, 1758) a mšice broskvoňová (*Myzus persicae*). Oba viry jsou přenosné osivem a TuMV je přenosný i mechanicky. Z bakterií na zelí škodí například *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel 1895) Dowson 1939, která způsobuje bakteriální černou žilkovitost brukvovitých. Ze zástupců hub na kedlubnu choroby způsobují *Alternaria* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, *Plasmodiophora brassicae* Woronin, 1877, *Hyaloperonospora parasitica* (Pers.) Constant. 2002, *Botrytis cinerea* Pers., *Pythium* spp., *Fusarium* spp. či *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc. (Rod et al. 2005).

Škůdci

Mezi časté škůdce z řádu Coleoptera patří dřepčici rodu *Phyllotreta*. Z motýlů na zelí škodí například bělásek zelný (*Pieris brassicae* Linnaeus, 1758), bělásek řepový (*Pieris rapae* Linnaeus, 1758), kovolesklec gamma (*Autographa gamma* Linnaeus, 1758), můra zelná (*Mamestra brassicae* Linnaeus, 1758), můra kapustová (*Lacanobia oleracea* Linnaeus, 1758), osenice černé C (*Xestia c-nigrum* Linnaeus, 1758), osenice vykřičníková (*Agrotis exclamationis* Linnaeus, 1758) či zápníček polní (*P. xylostella*). Z řádu Hemiptera škodí molice vlašovičnicková (*Aleyrodes proletella* Linnaeus, 1758) a mšice zelná (*Brevicoryne brassicae* Linnaeus, 1758). Ze zástupců řádu Diptera škodí larvy květilky všežravé (*Delia florilega* Zetterstedt, 1845) a květilky zelné (*Delia radicum* Linnaeus, 1758). Mimo hmyzí škůdce mají význam plzáci a slimáci (ÚKZUZ 2021h).

Plevel

Mezi nejčastější plevely v porostech kedlubnů patří laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus* L.), ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli* L.), merlík bílý (*Chenopodium album* L.), bažanka roční (*Mercurialis annua* L.) či penízek rolní (*Thlaspi arvense* L.) (Jursík et al. 2019).

3.7 Přípravky použité jako kontrola

Jako standard byly použity dva komerčně dostupné přírodní insekticidní přípravky. V případě pokusů s *M. dirhodum* byl použit přípravek Rock Effect. U pokusu s *P. xylostella* byl použit přípravek SpinTor.

3.7.1 Rock Effect New

Účinnou látkou tohoto přípravku je emulgovaný olej ze semen kaledy lysé (*Pongamia pinnata* (L.) Pierre). Samotný emulgovaný olej se používá proti savým i žravým škůdcům, jako jsou například mšice, svilušky a molice. Olej je možné využít i proti chorobám, jako například šedé hnilobě, padlí, či fusariozám.

Tento přípravek (stejně jako další přípravky na bázi oleje z *P. pinnata*) vytváří na povrchu rostlin ochranný film, který inhibuje klíčení a sporulaci hub. Tento ochranný film také odrazuje hmyzí škůdce, vykazuje na ně antifidantní či repelentní účinek.

Přípravek má spíše preventivní než kurativní účinek, avšak při správném a včasném použití vykazuje dobrou účinnost proti šíření škůdců a patogenů. Kurativní postřiky o 1-2% koncentraci jsou velmi účinné proti mšicím, sviluškám, molicím, malým housenkám i fytofágním larvám. Působí však kontaktně, proto je důležitá důkladná aplikace přímo na škůdce. Krom toho pongamový olej vykazuje synergický účinek vůči některým přírodním i syntetickým pesticidům, kdy významně zvyšuje jejich účinnost (Pavela 2020).

Pongamový olej je tvořen karboxylovými mastnými kyselinami, jako k. olejová (40-75 %), k. stearová (8-30 %) a k. palmitová (10-18 %). Dále jsou v oleji také zastoupeny polyfenolické látky, hlavně flavonoidy, především furanoflavonoidy jako karanjin, pingapin, ponton a pongamosidy A-C. V pongamovém oleji jsou ještě obsaženy další účinné látky, jako jsou chalcony, fytosteroly a také glabrin, pongamol a glabra I. ze skupiny miscellanů (Pavela 2020).

3.7.2 SpinTor

Jedná se o přípravek s účinnou látkou přírodního původu zvanou spinosad, který je směsí spinosynu A a spinosynu B. Spinosad je sekundární metabolit aktinomycet *Saccharopolyspora spinosa* Mertz & Yao, 1990. SpinTor zasahuje nervový systém hmyzu, kde vykazuje 2 mechanismy účinku. Jednak napadá acetylcholinový nikotinový receptor, kromě toho však zasahuje i GABA receptor (Liu et al. 1999).

Spinosad vykazuje slabší účinky proti dravým broukům, síťokřídlym, savému hmyzu a roztočům. Avšak účinek spinosadu proti zástupcům řádu Lepidoptera se vyrovná například cypermethrinu. Jedná se tedy o selektivní insekticidní účinnou látku, u které byla prokázána bezpečnost pro široké spektrum užitečného hmyzu a dalších organismů (Thompson et al. 2000). Výjimkou je ale řád Hymenoptera, u kterého byla prokázána na tuto látku citlivost. U

blanokřídých parazitoidů byla pozorována ztráta reprodukční kapacity, zkrácení doby života atd. Naproti tomu u dravého hmyzu byly pozorovány pouze bezvýznamné subletální efekty (Williams et al. 2003)

Spinosad je relativně málo toxický pro savce a ptáky. Pro vodní organismy vykazuje pouze mírnou toxicitu. Pro savce nebyly prokázány žádné karcinogenní, neurotoxické, teratogenní či mutagenní účinky. V prostředí je pak spinosad degradován kombinací různých tras, primárně fotodegradací a mikrobiální degradací. Poločas přeměny půdní fotolýzou je 9-10 dní, pro fotolýzu ve vodním prostředí méně než 1 den a na povrchu rostliny se udává hodnota 1,6-16 dní (Thompson et al. 2000). V polních podmínkách byla prokázána degradace spinosadu s nízkou reziduální toxicitou během 3-7 dní po aplikaci (Williams et al. 2003).

4 Metodika

Esenciální olej byl získán ze semen *F. vulgare* cv. Moravský hydrodestilací pomocí aparatury typu Clevenger. Proces hydrodestilace trval 3 hodiny. Následně byl EO vysušen bezvodým síranem sodným a uchováván v tmavé skleněné láhvi při teplotě 4 °C. Přípravu EO provedl doc. Ing. Roman Pavela, Ph.D. (konzultant této práce). EO byl testovaný na třech druzích hmyzu: *M. dirhodum*, *P. xylostella* a *H. axyridis*. Samotný esenciální olej byl dále emulgovaný Tweenem 85, takže EO určený k pokusům z 10 % tvořil Tween 85. Proto při testech na *M. dirhodum* a *H. axyridis* musela být výsledná emulze vždy doplněna Tweenem 85 tak, aby v ní byl Tween 85 obsažen v 0,5 % koncentraci, která funguje jako smáčedlo.

Chov hmyzu i všechny pokusy probíhaly v laboratořích VÚRV, v.v.i. při teplotě 21±3 °C, fotoperiodě 16 hodin světla /8 hodin tmy a 65±5% relativní vlhkosti (pokud není uvedeno jinak).

Všechny rostliny byly pěstovány ve skleníku VÚRV, v.v.i. při teplotě 21±3 °C, a 65±5% relativní vlhkosti.

4.1 Testy na *M. dirhodum*

4.1.1 Testovaný hmyz

Bezkrídli dospělci *M. dirhodum* byli získáni z laboratorních chovů VÚRV, v.v.i., kde byli chováni na *Triticum aestivum* pěstované v květináčích ve větraných klecích na hmyz o rozměrech 50 x 60 x 50 cm. Testovaní dospělci byli staří 1-2 dny.

4.1.2 Použitý rostlinný materiál

Pšenice setá byla pěstována v kruhových květináčích o průměru 9 cm. Jako pěstební substrát se používal Zahradnický univerzální substrát B od firmy Rašelina Soběslav. Do každého květináče bylo zaseto 10 semen a při pokusu byl počet vzešlých rostlin snížen na 5.

4.1.3 Vlastní biologické testy

Na kyjatce travní byly prováděny dva typy pokusů. V prvním případě se jednalo o pokusy, při kterých byla zjišťována akutní toxicita esenciálního oleje z *F. vulgare*, v případě druhém byly prováděny pokusy zjišťující vliv téhož esenciálního oleje aplikovaného v subletální a letální koncentraci na fertilitu. Oba typy pokusů probíhaly ve skleníku VÚRV, v.v.i. při teplotě 21 ± 3 °C, a $65\pm 5\%$ relativní vlhkosti.

4.1.3.1 Test akutní toxicity

Postup

Experiment byl proveden na bezkřídlých dospělých kyjatky travní, kteří byli přeneseni pomocí jemného štětečku na rostliny pšenice seté (BBCH 11), na kterých pak došlo k ošetření. Květináče s rostlinami byly individuálně izolovány plastovými kryty, aby nedošlo k úniku jedinců. V jednom květináči se nacházelo 5 rostlin a 15 dospělců kyjatky travní.

Emulze určené k ošetření rostlin byly připraveny v kádinkách, kde na 100 ml vody byly obsaženy emulze EO v koncentracích 2; 1,8; 1,25; 0,5; a 0,25 ml/l, tedy koncentrace, které byly odhadnuty dle předběžných testů. Do emulze byl dále přidán Tween 85 v takovém množství, aby finální koncentrace Tweenu 85 v emulzi byla dorovnána na 0,5 %. Po namíchání byly emulze homogenizovány na homogenizátoru Witeg HG15A.

Aplikace byla prováděna elektronickým rozprašovačem s objemem 50 ml. Na jedno opakování bylo použito 5 ml emulze. Experiment s každou koncentrací byl opakován 5krát.

Součástí testů také vždy byl standard a kontrola. Jako kontrola posloužil 0,5% vodný roztok Tweenu 85. Jako standard byla použita 1,5% emulze přípravku Rock Effect.

Květináče s pšenicí a mšicemi byly izolovány plastovými kelímky s odříznutým dnem, které bylo nahrazeno monofilem. Po 48 hodinách byli spočítáni zahubení jedinci a pokus byl zlikvidován. Následně byly pomocí probitové analýzy odhadnuty LC_{30} , LC_{50} a LC_{90} .



Obrázek 1: Zakryté květináče s dospělci *M. dirhodum* introdukovanými na pšenici

4.1.3.2 Test vlivu EO na fertilitu

Pokus byl proveden na bezkřídlých, stejně starých (1-2 dny od nabytí dospělosti) dospělých *M. dirhodum*, kteří byli ošetřeni esenciálním olejem v koncentracích odpovídající odhadnutým LC₃₀ a LC₅₀ z předchozího pokusu. Pokus trval 10 dní a každý den bylo nutné zaznamenat čerstvě narozené nymfy ve stejný čas.

Postup

Na pšenici (BBCH 11) rostoucí v květináči po 5 rostlinkách byly introdukovány kyjatky, které byly 48 hodin předtím ošetřeny EO koncentracemi odpovídajícími odhadnutým LC₃₀ a LC₅₀. Kontrola se prováděla na neošetřených dospělých. Pro jednu koncentraci bylo provedeno 5 opakování. Na jedno opakování bylo vyselektováno 15 přeživších jedinců (3 kyjatky/rostlinu) ošetřených EO. Na stejném principu byla postavena i kontrola, kde na jedno opakování připadalo 15 neošetřených dospělých kyjatek. Okamžitě po introdukci byl na květináč přidán improvizovaný izolační kryt.

24 hodin po introdukci bylo provedeno první počítání nově narozených nymf. Spočítané nymfy byly po zaznamenání počtu zlikvidovány. Stejný postup se opakoval dohromady 10 dní.

Po posledním sčítání byl pokus zlikvidován. Vliv na fertilitu byl zjišťován sledováním inhibice natality.



Obrázek 2 a 3: dospělá samička *M. dirhodum* s nymfami

4.2 Testy na *P. xylostella*

4.2.1 Testovaný hmyz

Housenky *P. xylostella*, byly chovány v laboratoři VÚRV, v.v.i. v kolonii na *Brassica oleracea* var. *gongylodes* L. uzavřené v klecích na hmyz.

4.2.2 Použitý rostlinný materiál

Sadba kedlubnů byla pěstována v plastové nádobce o rozměrech 16 x 11 x 5 cm. Po vyrašení děložních lístků byly rostliny přepikýrovány po jedné do hranatých květináčů o straně 8 cm. Jako pěstební substrát se používal Zahradnický univerzální substrát B od firmy Rašelina Soběslav. Pěstované kedlubny byly odrůdy Bohemia F1, osivo pocházelo od firmy MoravoSeed.

4.2.3 Vlastní biologické testy

Na tomto škůdci byly provedeny testy na akutní toxicitu. Na rozdíl od pokusů s kyjatkami v tomto případě docházelo k vyhodnocení zahubených jedinců už po 24 hodinách.

4.2.3.1 Testy na akutní toxicitu

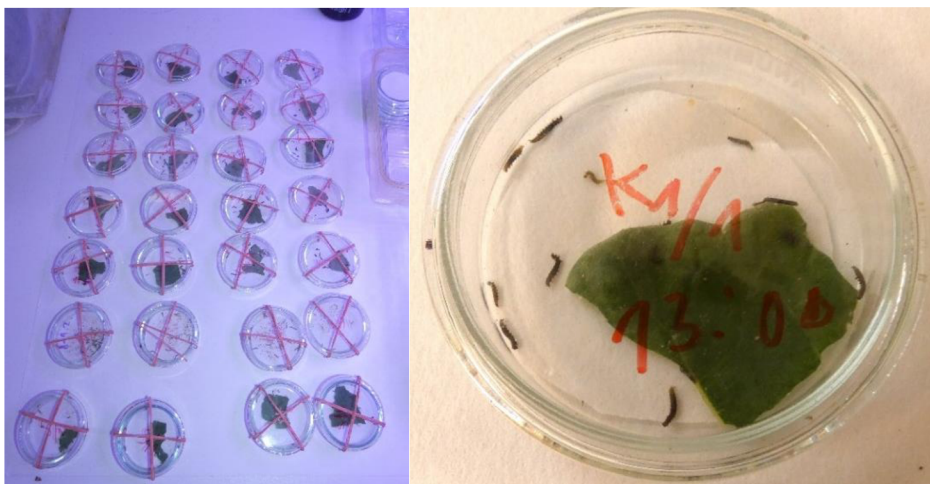
Postup

Pro testování akutní toxicity byly vybírány housenky *P. xylostella* 3. instaru. Tyto housenky byly vyselektovány z kedluben v chovných klecích a přendány do Petriho misek za pomoci štětečku. Petriho misky byly vystlány 2 kolečky filtračního papíru. Po přendání housenek do Petriho misek následoval postřík emulzí esenciálního oleje o určité koncentraci. Na jednu koncentraci se prováděla 4 opakování. V jedné Petriho misce se testovalo 15 housenek.

Emulze určené k postříku byly připraveny v kádinkách, kde na 100 ml vody byly obsaženy emulze EO o koncentracích 5; 4,8; 4,6; 4,2; a 4 ml/l, tedy koncentracích, které byly odhadnuty při předběžných testech. Po namíchání byly emulze homogenizovány na homogenizátoru Witeg HG15A. Postřík byl prováděn rozprašovačem s objemem 50 ml. Postřík se aplikoval do každé Petriho misky na housenky tak, aby byli všechny rovnoměrně pokryty. Součástí testů také vždy byl standard a kontrola. Jako standard posloužila suspenze tvořená 50 μ l přípravku SpinTor a 100 ml vody. Při kontrole se housenky ošetřovaly roztokem, ve kterém bylo obsaženo 0,555 μ l Tweenu 85/100 ml vody, což byla stejná koncentrace Tweenu 85 jako v nejvyšší testované koncentraci EO.

Ošetřené housenky byly poté pomocí štětečku přendány do suchých Petriho misek. I dna těchto misek byla vystlána 2 kolečky filtračního papíru, a ještě byl přidán list kedlubnu jako potrava pro housenky.

Vyhodnocení se provádělo po 24 hodinách. Následně byly za pomoci probitové analýzy odhadnuty LC_{50} a LC_{90} .



Obrázek 4 a 5: Larvy 3. instaru *P. xylostella* v Petriho miskách s potravou (list kedlubnu)

4.2.3.2 Vizuální ukázka účinku EO na zápředníčky

Pro demonstraci vlivu EO z *F. vulgare* na mortalitu zápředníčků byly pořízeny snímky, ošetřených a neošetřených kedlubnů napadených zápředníčky. Kedlubny byly ošetřeny emulzí o koncentraci způsobující 100% mortalitu larev zápředníčků, tedy 6 ml EO/l vody.

Tento pokus probíhal ve dvou klecích na hmyz. V jedné bylo 5 kedlubnů s housenkami ošetřených esenciálním olejem, ve druhé bylo 5 kedlubnů s housenkami ponecháno bez ošetření. Zástupci *P. xylostella* nebyly v tomto případě na rostliny nandány pomocí štětečku, ale všech 10 kedlubnů bylo pár týdnů před pokusem vloženo do klece na hmyz obsahující kladoucí dospělce zápředníčka a po nakladení vajíček byly tyto rostliny přendány po 5 kusech do 2 samostatných klecí na hmyz zmíněných výše.

Postřík byl připraven v kádince o objemu 100 ml. Po namíchání byly emulze homogenizovány na homogenizátoru Witeg HG15A. Postřík byl prováděn rozprašovačem o objemu 50 ml.

Rostliny určené k postříku byly ošetřeny, jakmile se na listech začalo objevovat minování od čerstvě vylíhlých housenek. Všech deset kedlubnů bylo pak detailně vyfoceno za účelem sledování postupu poškození způsobeného těmito žravými škůdci. Fotky byly pořízeny v den postříku těsně před ošetřením, dále pak 1., 4., a 7. den od ošetření.

4.3 Testy na *H. axyridis*

4.3.1 Testovaný hmyz

Larvy *H. axyridis* byly získány z kolonie ve VÚRV, v.v.i. Dospělci byli chováni ve velkých zavařovacích sklenicích na rostlinném materiálu (stonky a listy bobů a hrachů). Do sklenice byly pravidelně přidávány různé druhy mšic jako potrava. Otvor sklenice byl potažen monofilem. Ze sklenice byla pravidelně vybírána vajíčka slunéček, která byla přendána i s částí rostliny, na kterou byla nakladena, do plastových mističek, které se pak uzavíraly prodyšným víkem. Po vylíhnutí byly larvy po jedné rozděleny do mističek obdobného typu, aby se předešlo možnému kanibalismu. Do mističek byly pravidelně přidávány různé druhy mšic jako potrava. Larvy byly chovány do 3. instaru, což byl požadovaný instar pro pokus. Celý proces chovu probíhal udržované teplotě 20-23 °C a fotoperiodě 16 hodin světla/8 hodin tmy.

4.3.2 Použitý rostlinný materiál

Jediný rostlinný materiál použitý při tomto pokusu byla pšenice, na které byli chováni zástupci *M. dirhodum*, kteří během pokusu byli využiti jako potrava pro slunéčka.

Pšenice setá byla pěstována v hranatých květináčích o průměru 8 cm.

Jako pěstební substrát se používal Zahradnický univerzální substrát B od firmy Rašelina Soběslav. Do každého květináče bylo zaseto asi 15 semen.

4.3.3 Vlastní biologické testy

4.3.3.1 Testy na akutní toxicitu a následný vývoj přeživších jedinců

Postup

Tento pokus byl prováděn s 2 koncentracemi emulze esenciálního oleje. Jednalo se o odhadnuté koncentrace LC_{50} a LC_{90} z pokusů na akutní toxicitu u *M. dirhodum*. Na jednu koncentraci připadalo 40 ošetřených larev. V kontrole bylo také 40 jedinců. Obdobně jako při pokusech s *M. dirhodum* byla koncentrace Tweenu 85 v roztocích určených k ošetření doplněna na 0,5 %. Jako kontrola opět posloužil 0,5% vodný roztok Tweenu 85.

Ošetření larev 3. instaru probíhalo v Petriho miskách vystlaných filtračním papírem. Následně byly larvy přendány do čistých plastových mističek s prodyšným víkem. Do těchto mističek bylo na dno vloženo kolečko filtračního papíru, a ještě bylo přidáno několik ustřížených rostlin pšenice pokrytých kyjatkami travními. Po 24 hodinách bylo provedeno vyhodnocení testu na akutní toxicitu.



Obrázek 6,7 a 8: Kelímky zakryté prodyšným víkem obsahující 3. instar *H. axyridis* spolu s potravou (na listech pšenice se nacházejí kyjatký travní)

U přeživších larev byl sledován postup vývoje, s cílem zjistit, zda se všichni jedinci vyvinou přes 4. instar a kuklu až do stádia imaga. Během tohoto sledování byla larvám každých 48 hodin doplňována potrava (kyjatky travní). Pokus skončil vylíhnutím posledního imaga.



Obrázek 9: Larva *H. axyridis* ve 3. instaru



Obrázek 10 (vlevo): Larva *H. axyridis* ve 4. instaru

Obrázek 11 (vpravo): Zakuklený jedinec *H. axyridis*

4.4 Statistické metody

Pro stanovení akutní toxicity pro dospělce *M. dirhodum* byla počítána mortalita jedinců po 48 hodinách od aplikace účinné látky. V případě larev *P. xylostella* byla mortalita jedinců počítána po 24 hodinách od postřiku. Mortalita byla upravena podle Abbotta (1925) (pouze v případech, že mortalita v kontrole dosahovala hodnot v rozmezí 5-20 %) a pomocí probitové analýzy podle Finneyho (1971) byly odhadnuty dávky LC_{30} LC_{50} a LC_{90} s 95% intervalem spolehlivosti (CI_{95}).

Korekce mortality podle Abbotta (%)

$$= \left(1 - \frac{n \text{ přeživších jedinců v jednom opakování}}{n \text{ přeživších jedinců v jednom opakování kontroly}} \right) * 100$$

Výpočet vlivu EO na fertilitu byl proveden pomocí rovnice pro inhibici natality.

Inhibice natality vs. kontrola (%)

$$= 100 - \left(\frac{\bar{x} \text{ potenciálních natalit F1 nymf na samičku u LCx} * (1 - x)}{\bar{x} \text{ potenciálních natalit F1 nymf na samičku v kontrole}} * 100 \right)$$

5 Výsledky

5.1 Výsledky testů na *M. dirhodum*

5.1.1 Výsledky testů na akutní toxicitu

Fenyklový esenciální olej způsobil významnou mortalitu kyjatyky travní u všech testovaných koncentrací (Tabulka 1, Graf 1). Podle předpokladu, byla výše mortality závislá na koncentraci, kdy při nejvyšší testované koncentraci 2 ml/l byla zjištěna mortalita 88 % a při nejnižší testované koncentraci 0,25 ml/l byla pozorována mortalita 42,9 %. U kyjatek ošetřených standardem byla pozorována mortalita 90 % a u kyjatek ošetřených kontrolním roztokem byla mortalita stanovena 7,3 %. Na základě výsledku provedeného experimentu byla pomocí probitové analýzy odhadnuta subletální koncentrace LC₃₀ na 0,11 ml/l (0,106 mg/ml), letální koncentrace LC₅₀ na 0,29 ml/l (0,28 mg/ml) a letální koncentrace LC₉₀ na 2,79 ml/l (2,7 mg/ml.).

Tabulka 1: Insekticidní aktivita esenciálního oleje z *F. vulgare* na dospělých *M. dirhodum*.

Koncentrace (ml/l)	Mortalita (%) ± SE	Mortalita – Abbott (%) ± SE	LC ₃₀ (CI 95)	LC ₅₀ (CI 95)	LC ₉₀ (CI 95)	χ^2
2	89,3 ± 11,0	88,0 ± 11,7	0,11 (0,05- 0,15) 95 %	0,29 (0,0,17- 0,39) 95 %	2,79 (1,90- 5,39) 95 %	0,832
1,8	84,0 ± 3,3	82,1 ± 4,24				
1,25	80,0 ± 7,3	78,0 ± 7,0				
0,5	65,3 ± 16,0	61,7 ± 17,1				
0,25	48,0 ± 7,8	42,9 ± 3,7				
Standard	90,0 ± 8,0					
Kontrola	7,3 ± 10,5					

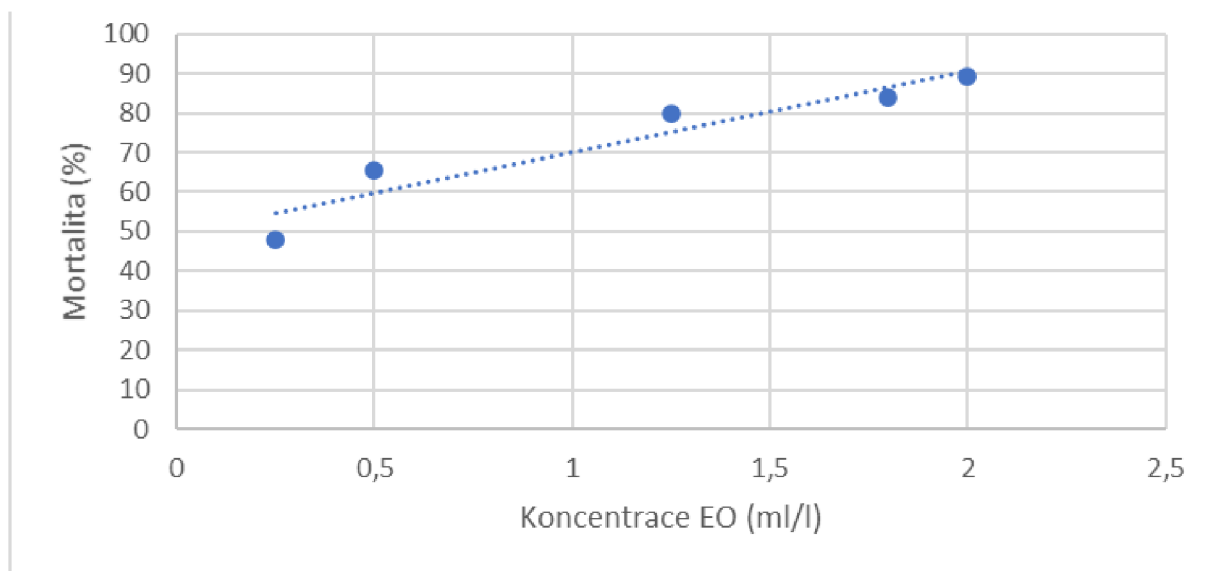
Chi = Chi-kvadrát, vypočtená hodnota těsnosti pro hladinu významnosti $P < 0.05$.

CI₉₅ = 95% interval spolehlivosti, kdy hodnoty, které se v uvedeném rozpětí nepřekrývají jsou s 95% pravděpodobností od sebe odlišné.

Rozsah použitých koncentrací byl odhadnut na základě předběžných testů.

Abbott = přepočít dle Abbotta

Graf 1: Závislost mortality dospělých *M. dirhodum* na koncentraci EO



5.1.2 Výsledky testů na fertilitu

Vliv na fertilitu byl zjišťován pozorováním inhibice natality. Podle předpokladu byla schopnost inhibice natality závislá na koncentraci. Inhibice natality pro stanovené množství kyjatek byla pro 0,11 ml/l (odhadnutá LC₃₀ při pokusu na akutní toxicitu u *M. dirhodum*) odhadnuta na 50,7 % a pro 0,29 ml/l (odhadnutá LC₅₀ při pokusu na akutní toxicitu u *M. dirhodum*) na 63,2 % (viz. Tabulka 4).

Tabulka 4: Vliv EO z *F. vulgare* na natalitu *M. dirhodum*

Koncentrace (ml/l)	Potenciální natalita F1 nymf/samičku ± SE	Inhibice natality vs. kontrola (%)
0,11 (LC₃₀)	11,0 ± 3,0	50,7
0,29 (LC₅₀)	8,2 ± 1,9	63,2
Kontrola	22,3 ± 2,6	

5.2 Výsledky testů na *P. xylostella*

5.2.1 Výsledky testů na akutní toxicitu

EO z *F. vulgare* způsobil významnou mortalitu západníčka polního u všech testovaných koncentrací (Tabulka 2, Graf 2). Jak se předpokládalo, tak výše mortalita byla závislá na koncentraci, kdy při nejvyšší testované koncentraci 5 ml/l byla pozorována mortalita 100 % a při nejnižší testované koncentraci 4 ml/l byla zjištěna mortalita 15,9 %. U larev ošetřených standardem byla pozorována mortalita 100 % a u larev ošetřených kontrolním roztokem byla pozorována mortalita 2,2 %. Na základě výsledku provedeného experimentu byla pomocí probitové analýzy odhadnuta LC₅₀ na 4,46 ml/l (4,30 mg/ml) a LC₉₀ na 4,99 ml/l (4,80 mg/ml).

Tabulka 2: Insekticidní aktivita esenciálního oleje z *F. vulgare* na larvách *P. xylostella*.

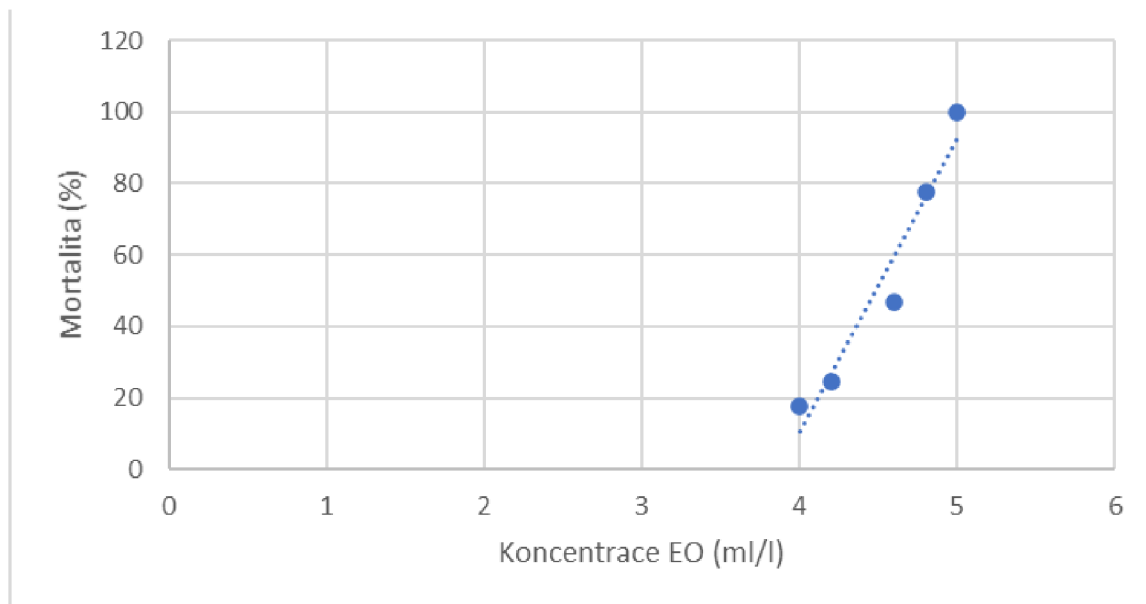
Koncentrace (ml/l)	Mortalita (%) ± SE	LC ₅₀ (CI 95)	LC ₉₀ (CI 95)	χ^2
5	100 ± 0	4,46 (4,11-4,67) 95 %	4,99 (4,69-6,48) 95 %	3,581
4,8	77,8 ± 18,9			
4,6	46,7 ± 3,1			
4,2	24,4 ± 6,3			
4	17,8 ± 3,1			
Standard	100 ± 0			
Kontrola	0 ± 0			

Chi = Chi-kvadrát, vypočtená hodnota těsnosti pro hladinu významnosti $P < 0.05$.

CI₉₅ = 95% interval spolehlivosti, kdy hodnoty, které se v uvedeném rozpětí nepřekrývají jsou s 95% pravděpodobností od sebe odlišné.

Rozsah použitých koncentrací byl odhadnut na základě předběžných testů.

Graf 2: Závislost mortality larev 3. instaru *P. xylostella* na koncentraci EO

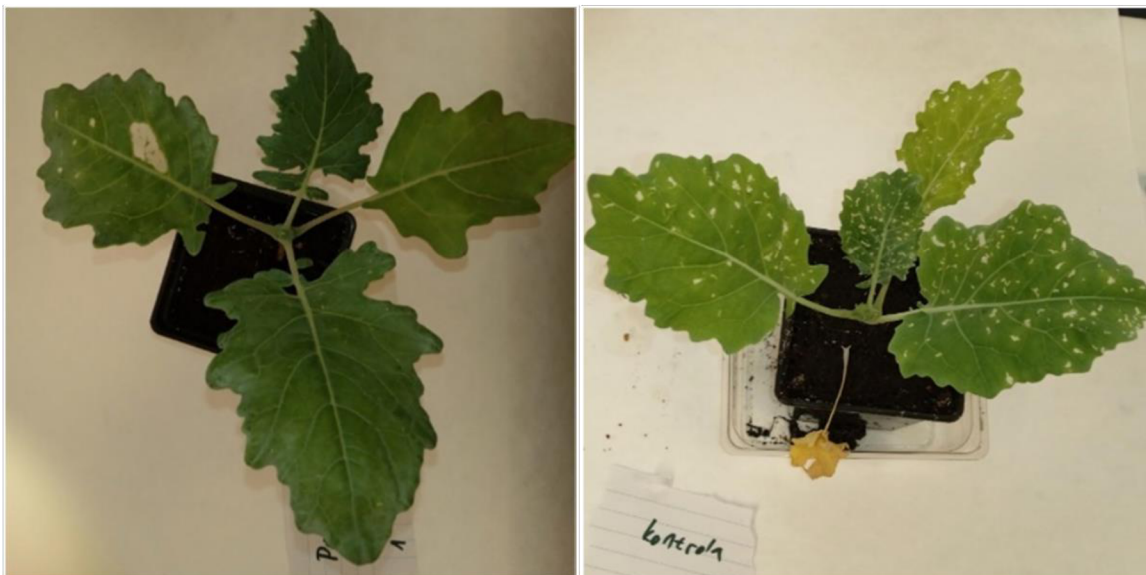


5.2.2 Vizuální ukázka účinku EO na zápředníčky

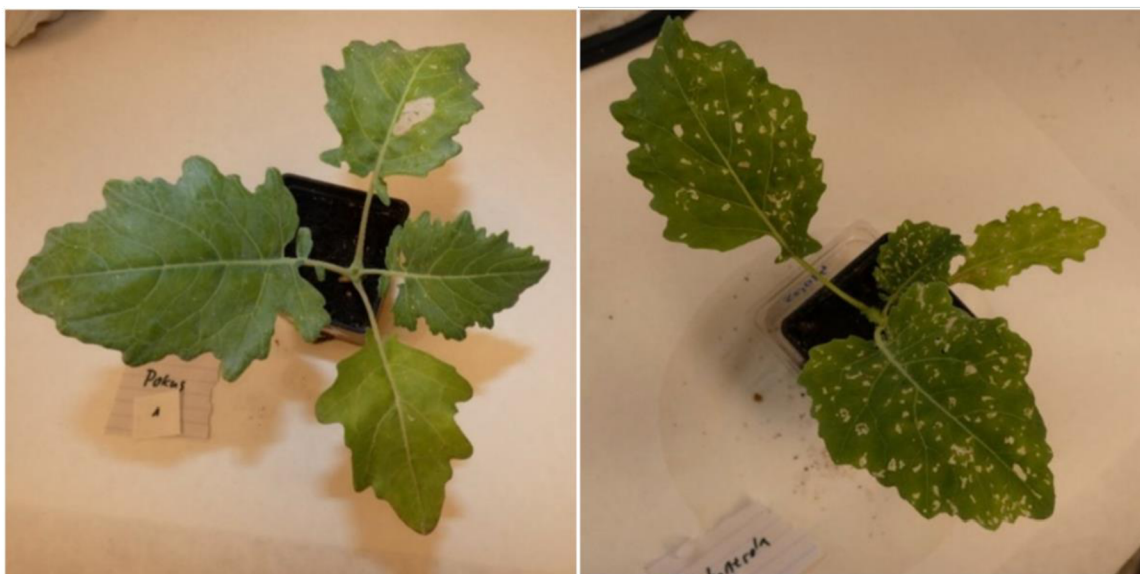
Při porovnávání snímků ošetřené a neošetřené rostliny (kontroly) je vidět potenciální účinnost ošetření EO a zároveň progresu žíru v závislosti na čase. Rostliny byly poprvé foceny v den ošetření těsně před postřikem a následně 1., 4., a 7. den po ošetření.

Na obrázku vlevo je rostlina ošetřena EO, na obrázku vpravo je neošetřená rostlina (kontrola).

Den 0 (před postřikem):



Den 1:



Den 4:



Den 7:



Na fotkách je jasně viditelná potenciální účinnost ošetření esenciálním olejem. Ochrana však není 100%. Žír na ošetřených rostlinách mohl být způsoben housenkami, které se vylíhly až po ošetření, a tak se nedostaly do kontaktu s EO, či housenkami, které v době ošetření byly ukryty na místech, kde se k nim postřík nedostal.

5.3 Výsledky testů na *H. axyridis*

5.3.1 Výsledky testů na akutní toxicitu a následný vývoj přeživších jedinců

Fenyklový esenciální olej podle předpokladu nezpůsobil významnou mortalitu *H. axyridis* a ani nemá vliv na dokončení vývoje testovaných jedinců (viz Tabulka 3).

Koncentrace 0,29 ml/l (odhadnutá LC₅₀ při pokusu na akutní toxicitu u *M. dirhodum*) způsobila u slunéček po 24 hodinách mortalitu 10,0 % a v poslední den pokusu (den, kdy se vylíhl poslední dospělec) byla pozorována absolutní mortalita v hodnotě 10,4 %. Koncentrace 2,79 ml/l (odhadnutá LC₉₀ při pokusu na akutní toxicitu u *M. dirhodum*) způsobila u slunéček po 24 hodinách mortalitu 10,3 % a na konci pokusu byla mortalita stanovena na 14,0 %.

Tabulka 3: Insekticidní aktivita esenciálního oleje z *F. vulgare* na larvy 3. instaru *H. axyridis*

Koncentrace (ml/l)	Mortalita po 24 hodinách (%) ± SE	Mortalita po 24 hodinách – Abbott (%) ± SE	Absolutní mortalita za celý pokus (%) ± SE	Absolutní mortalita za celý pokus – Abbott (%) ± SE	Přeživší, kteří dokončili vývoj (%)
0,29 (LC₅₀)	13,3 ± 4,7	10,0 ± 8,2	16,6 ± 4,7	10,4 ± 8,2	100
2,79 (LC₉₀)	17,5 ± 4,3	10,3 ± 7,0	22,5 ± 8,2	14,0 ± 4,9	100
Tween 85 (5 ml/l)	7,5 ± 8,2		10 ± 7,0		100

Abbott = přepočít dle Abbotta

6 Diskuze

V následujících podkapitolách je diskutována účinnost EO z *F. vulgare* s dalšími botanickými či syntetickými pesticidy, včetně vlivu EO z *F. vulgare* (respektive EO obecně) na životní prostředí.

6.1 Testy na *M. dirhodum*

6.1.1 Test na akutní toxicitu

Insekticidní účinnost EO závisí na jejich chemickém složení, a přestože v minulosti proběhly různé studie na insekticidní účinky různých EO, tak jen pár studií se soustředilo speciálně na účinky aphicidní. I přes to se však nabízí porovnání s výsledky jiných autorů. Například Sánchez Chopa & Descamps (2012) testovali na bezkřídlých dospělých *M. dirhodum* EO z rozmarýny lékařské (*Rosmarinus officinalis* L.), aksamitníku tenkolistého (*Tagetes terniflora* Kunth) a pepřovce *Schinus areira* (L.), u kterého testovali zvlášť EO extrahovaný z plodů a zvlášť EO extrahovaný z listů. Výsledné LC₅₀ (po 48 hodinách) bylo odhadnuto pro *R. officinalis* na 8,3 mg/ml a pro *T. terniflora* na 26,9 mg/ml. U EO extrahovaného z listů *S. areira* bylo LC₅₀ odhadnuto na 18,2 mg/ml a u EO získaného z plodů LC₅₀ 16,5 mg/ml. Benelli et al. (2020) vystavovali neokřídlené dospělce *M. dirhodum* EO ze stévie sladké (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Dominantními látkami ve složení tohoto EO jsou karyofylen oxid (20,7 %), spathulenol (14,9 %), (E)-nerolidol (8,0 %) a phytol (9,2 %). Odhadnutá LC₅₀ dosahovalo koncentrace 5,1 ml/l a LC₉₀ koncentrace 10,8 ml/l.

Další mšice, u které byl zkoumán vliv EO na mortalitu, byla *Myzus persicae*. Pavela et al. (2018) odhadli při testování EO z *F. vulgare* na bezkřídlých dospělých *Myzus persicae* LC₅₀ na 0,6 ml/l a LC₉₀ na 2,4 ml/l. Na této mšici byly také prováděny pokusy s EO z voňatky *Cymbopogon winterianus* (Jowitt ex Bor), jejíž hlavní obsahové látky jsou geraniol (28,62 %), citronellal (23,62 %), a citronellol (17,10 %). Odhadnutá LC₅₀ byla v tomto případě 3,6 ml/l a LC₉₀ 6,6 ml/l (Pinheiro et al. 2013). Na *M. persicae* byl testován i EO z *Eucalyptus citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A. Johnson v jehož složení dominují citronellal (29,31 %), geraniol (27,63 %), a β-citronellol (14,88 %). Odhadnutá LC₅₀ pro tento EO dosahovala 4,0 ml/l a pro LC₉₀ odhad dosahoval koncentrace 11,5 ml/l (Costa et al. 2015).

Při shrnutí posledních pár odstavců lze učinit závěr, že EO z *F. vulgare* v LC₅₀ a LC₉₀ odhadnutých v této práci (0,29 ml/l a 2,79 ml/l, respektive 0,28 mg/ml a 2,7 mg/ml) vychází

pro mšice jako toxičtější než EO z *R. officinalis*, *T. terniflora*, *S. areira*, *S. rebaudiana* *C. winterianus* a *E. citriodora*.

6.1.2 Test vlivu na fertilitu

Výslednou inhibici natality u bezkřídlých jedinců *M. dirhodum* pozorovanou v této práci, tedy 50,7 % u LC₃₀ (0,11 ml/l) a 63,2 % u LC₅₀ (0,29 ml/l), lze při takovýchto koncentracích uvažovat jako relativně nízkou.

U tohoto pokusu se bohužel nenabízelo srovnání s účinkem dalšího EO na fertilitu (respektive natalitu) *M. dirhodum* nebo jiné mšice. Relevantních prací, kde pokus probíhal na obdobné bázi, moc napsáno nebylo. Z těchto relevantních prací se nabízí například publikace od Benelli et al. (2018), ve které byl zkoumán vliv EO z *Cinnamomum verum* na *Musca domestica*. V této práci byla inhibice natality pro LD₂₀ odhadnuta na 41 %. Pavela et al. (2021) obdobně testovali na této mouše vliv esenciálních olejů z cyprýšovce Laylandova (*xCupressocyparis leylandii* A.B.Jacks. & Dallim), smrku ztepilého (*Picea abies* L.) a borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) v LD₂₀. Inhibice natality vyšla u *x C. leylandii* 68,5 %, u *P. abies* 70,4 % a u *P. sylvestris* 79,2 %. Lze tedy konstatovat, že i jiné EO mají vliv na fertilitu hmyzu.

6.2 Testy na *P. xylostella*

6.2.1 Test na akutní toxicitu

Pro *P. xylostella* byla při pokusech s EO z *F. vulgare* odhadnuta LC₅₀ na 4,46 ml/l (4,30 mg/ml) a LC₉₀ na 4,99 ml/l (4,80 mg/ml). Na snímcích, které dokumentovaly poškození na kedlubnech, je kromě účinku ošetření také patrné, že EO na rostlinu nepůsobil fytotoxicky,

Někteří další autoři se zabírali vlivem EO na mortalitu zářezníčka polního, avšak právě vliv EO z *F. vulgare* byl u tohoto druhu motýla studován poprvé.

Gao et al. (2019) prováděli pokusy popisující vliv EO z česneku hlíznatého (*Allium tuberosum* Rottler ex Spreng.) na mortalitu larev 3. instaru *P. xylostella*. Tento EO obsahuje četné množství sirných a fenolických sloučenin. Odhadnutá LC₅₀ pro tento esenciální olej byla 0,56 ml/l.

Reddy et al. (2016) zkoumali vliv EO z puškvorce obecného (*Acorus calamus* L.), cedru himalajského (*Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don) a routovité rostliny *Murraya koenigii* (L.) Jack. na mortalitu larev zářezníčka polního. Výsledky ukázaly, že pro housenky

byl nejvíce toxický EO z puškvorce, kde odhadnutá LC₅₀ dosahovala 0,29 mg/ml. Následoval EO z cedru himalajského s LC₅₀ 1,08 mg/ml. Pro EO z *M. koenigii* byla odhadnuta LC₅₀ na 1,93 mg/ml. Insekticidní aktivita těchto EO je přisuzována majoritní přítomností látek jako β-asaron, β-himachalen, Z-ocimen, limonen a α-pinen.

Předmětem výzkumu byl také účinek EO ze zázvorníku lékařského (*Zingiber officinale* Roscoe). Odhadovaná LC₅₀ při pokusech na larvách 2. instaru zářďedníčka polního byla pro tento EO stanovena na 5,8759 mg/ml, krom toho také EO vykazoval silné repelentní účinky (Babu et al. 2018).

Huang et al. (2018) při svých pokusech s EO z *Artemisia lavandulaefolia* DC došli k výsledku, že odhadovaná LC₅₀ pro kontaktní toxicitu u housenek 3. instaru zářďedníčka je 0,045 μl/larvu. Nejdůležitější látky toho EO jsou eucalyptol (35.60%), (R)-4-methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol (16.25%), π-trimethyl-3-cyclohexene-1-methanol (6.83%), 3-methyl-6-(1-methylethyl)-2-cyclohexen-1-one (6.63%), a (1S)-1,7,7-trimethyl-bicyclo[2.2.1]heptan-2-one (4.72%).

Wei et al. (2015) odhadli kontaktní toxicitu EO z merlíku vonného (*Chenopodium ambrosioides* L.) na larvy 3. instaru zářďedníčka polního na 2.916 mg/larvu. Dvě hlavní látky obsažené v tomto oleji jsou α-terpinen a p-cymen.

Při srovnání účinnosti EO z *F. vulgare* s EO uvedenými výše se ukazuje, že EO z *F. vulgare* je pro larvy zářďedníčka polního toxicitější pouze v případě srovnání s EO ze *Z. officinale*.

6.3 Testy na *H. axyridis*

6.3.1 Testy na akutní toxicitu a následný vývoj přeživších larev

Při pokusech s *H. axyridis* byla stanovena kromě mortality způsobené EO 24 hodin po ošetření také mortalita, která byla zaznamenána v poslední den pokusu. Jako poslední den pokusu byl považován den, kdy se vylíhl z kukly poslední dospělec testovaných sluněček. Mortalita zaznamenána v poslední den pokusu je v práci zjednodušeně popisována jako mortalita absolutní. Po 24 hodinách od ošetření byla u larev ošetřených koncentrací 0,29 ml/l pozorována mortalita 10,0 % a u larev ošetřených koncentrací 2,79 ml/l byla pozorována mortalita v hodnotě 10,3 %. V poslední den pokusu byla absolutní mortalita larev ošetřených koncentrací 0,29 ml/l stanovena na 10,4 % a u larev ošetřených koncentrací 2,79 ml/l absolutní mortalita dosáhla hodnoty 14,0 %.

Slabý insekticidní účinek na larvy *H. axyridis* teoreticky mohl být zapříčiněn silnější epikutikulou, která hmyz chrání před chemickými vlivy prostředí. *M. dirhodum* má kutikulu obecně velmi slabou a také larvy 3. instaru *P. xylostella* zřejmě nemají epikutikulu schopnou ochránit organismus před EO. Dalšími tělními strukturami, která by mohly larvy *H. axyridis* chránit před aplikovanou emulzí jsou štětinovité výrůstky nacházející se na jejich tělech. O efektivnosti této obranné struktury však lze polemizovat, protože do emulze byl přidán Tween 85 jako smáčedlo, které by mělo emulzi umožnit se přes tyto výrůstky dostat.

Při srovnávání s ostatními látkami, se kterými pracovali jiní autoři, se pracovalo pouze s absolutní mortalitou stanovenou pro koncentrace 2,79 ml/l. Kraiss & Cullen (2008a) konstatovali, že pro 3. instar larev tohoto brouka byla pozorována 31,9% mortalita po ošetření minerálním olejem a 38,8% mortalita po ošetření insekticidním mýdlem. Ve stejné studii také byl také pozorován účinek pyrethrinů na 1. a 3. instar *H. axyridis*. U 1. instaru byla pozorována mortalita 98 %, avšak u 3. instaru nebyla pozorována mortalita žádná.

Další botanický insekticid, kterému byla slunéčka východní vystavena, byl extrakt z anděliky lékařské (*Angelica archangelica* L.). Při koncentraci 1 mg/ml byla pozorována mortalita 9,8 %, při koncentraci 10 mg/ml byla mortalita stanovena na 15,2 % (Pavela et al. 2013).

Larvy 3. instaru byly také vystaveny esenciálnímu oleji ze stévie sladké (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni) a to v koncentracích, které byly odhadnuty jako LC₅₀ a LC₉₀ pro kyjatku travní. V těchto pokusech při vystavení larev koncentraci rovné LC₅₀ (5,1 ml/l) nebyla pozorována žádná mortalita a u koncentrace rovné LC₉₀ (10,8 ml/l) byla pozorovaná mortalita 7,5 %. Ve stejné studii byl zkoumán i vliv komerčně prodávaného pyrethroidu α -cypermethrinu na 3. instar *H. axyridis*. U koncentrace 1.6×10^{-6} ml/l byla pozorována 50% mortalita a u koncentrace 6.4×10^{-6} ml/l byla mortalita stanovena na 86,5 % (Benelli et al. 2020).

Youn et al. (2003) testovali vliv 4 účinných látek obsažených v komerčních insekticidech, a sice etofenprox, acetamiprid, imidacloprid a thiamethoxam. Použité koncentrace insekticidů byly namíchány podle pokynů výrobce. Larvy slunéček východních ve 3. instaru se ukázaly jako citlivé vůči acetamipridu a etofenproxu, u obou těchto látek byla pozorována 100% mortalita. Ošetření imidaclopridem přežilo jen 26,7 % testovaných jedinců. Jako nejméně nebezpečný insekticid pro 3. instar *H. axyridis* vyšel thiamethoxam, u kterého aplikaci přežilo 86,7 %.

Podobnou studii provedl James (2003), který mimo jiné testoval i citlivost slunéček k účinným látkám chlorpyrifos a pirimicarb. U chlorpyrifosu byla pozorována 80% mortalita slunéček 2-3 instaru a u pirimikarbu byla výsledná mortalita v hodnotě 6,7 %.

Z výše napsaných řádků lze konstatovat, že EO z *F. vulgare* je pro 3. instar larev *H. axyridis* bezpečnější než minerální olej (při aplikaci koncentrace dané výrobcem) a insekticidní mýdlo (při aplikaci koncentrace dané výrobcem) používané v ochraně rostlin. Dále lze tvrdit, že EO z *F. vulgare* je pro larvy 3. instaru mnohem bezpečnější než přípravky obsahující účinnou látku α -cypermethrin, acetamiprid, etofenprox, chlorpyrifos a imidacloprid.

Naopak, ve srovnání s EO ze stévie sladké vychází právě EO ze stévie jako bezpečnější pro slunéčka, byť se rozdíl v mortalitách pohybuje kolem 3 % (srovnáno s přepočtem dle Abbotta). Další botanický insekticid, který vyšel jako méně toxický než EO z *F. vulgare*, byl pyrethrin, u kterého byla při vystavení 3. instaru larev slunéčka pozorovaná nulová mortalita. Z účinných látek syntetického původu vyšla jako bezpečnější pro larvy slunéček látka pirimikarb, kterou obsahuje například komerčně prodávaný aphicid Pirimor.

Při pokusu zabývajícím se vlivem EO z *F. vulgare* na vývoj se došlo k závěru, že esenciální olej má na vývoj slunéček nulový vliv. Bohužel neexistuje moc studií zabývajících se vlivem EO, respektive botanických či syntetických pesticidů na vývoj jedinců *H. axyridis*. Srovnání se tak nabízí jen s pár studiemi. Bylo prokázáno, že olej z *Azadirachta indica* zpomaluje dobu vývoje slunéček a u ošetřených larev 3. instaru snižuje schopnost dožít se dospělosti (Kraiss & Cullen 2008b). Dále bylo vyzkoumáno, že pomocný rostlinný přípravek BOUNDARY SW má také negativní vliv na vývoj slunéčka východního. Tento kapalný extrakt z fermentovaných mořských hnědých řas doplněný o extrakt ze sukulentů vyvolal u slunéček neschopnost dokončení vývoje (Niedobová et al. 2019). Ruiz-Sánchez et al. (2010) testovali vliv diflubenzuronu, účinné látky syntetických pesticidů, na vývoj slunéček. Při pokusech s larvami 3. instaru došli k závěru, že diflubenzuron zkracuje délku dožítí (tudiž nedojde k dokončení vývoje) pouze při nejvyšší testované koncentraci. Při testech s nižšími koncentracemi došlo k signifikantní mortalitě. Dále se došlo k závěru, že tato látka prodlužuje dobu vývoje slunéček, ale pouze u 1. a 2. instaru, u 3. a 4. instaru nedošlo k významným změnám.

Lze tedy uvažovat, že EO z *F. vulgare* má na vývoj *H. axyridis* nulový vliv, a je tedy bezpečnější než výše uvedené přípravky.

6.4 Předpokládaný vliv na životní prostředí

6.4.1 Vliv na cílové organismy

Esenciální olej z fenyklu při pokusech s *H. axyridis* jako necílovým organismem vykázal jen nízkou toxicitu. Kromě slunéček však byly vystaveny působení tohoto EO i některé další necílové organismy. Pavela (2018) zkoušel vliv EO z fenyklu na mortalitu žižaly hnojní

(*Eisenia fetida* Savigny, 1826). Během těchto pokusů nebyly pozorovány žádné negativní vlivy na testovaných organismech (mortalita žížal vystavených EO se signifikantně nelišila od kontroly). Za zmínku stojí, že žížaly jsou velmi citlivé vůči kontaminaci půdy insekticidy, které mají negativní vliv na jejich přežívání, zvláště v koncentracích přesahující 25 mg/kg zeminy. Při pokusech ukázalo, že ani koncentrace 240 mg/kg fenyklového EO nezpůsobí významnou mortalitu žížal. Tím pádem by EO měli být pravděpodobně bezpečné pro půdní organismy jako jsou žížaly.

Esenciální oleje obecně vychází ve studiích zabývajících se jejich vlivem na necílové organismy veskrze pozitivně. V posledních 8 letech byl zkoumán vliv EO na některé vodní organismy. Ať už se jednalo o hrotnatku velkou (*Daphnia magna* Straus, 1820) (Pavela 2014) či rybu gambusii komáří (*Gambusia affinis* Baird & Girard, 1853), EO byly pro tyto organismy vyhodnoceny jako bezpečné (Pavela & Govindarajan 2017). Zkoumán byl též vliv EO na některé zástupce opylovačů. Například podle Abramsona et al. (2007) nepředstavují pro včelu medonosnou možné dávky EO z *F. vulgare* a *Hyptis suaveolens* (L.), kterým může být vystavena v polních podmínkách, nebezpečí. Silva et al. 2020 prováděli pokusy s EO z oregana, tymiánu, máty a zázvoru na dospělých *A. mellifera* a medonosky *Trigona hypogea* (Silvestri, 1902). EO z máty a zázvoru byly pro tyto blanokřídlé bezpečné, avšak EO z oregana a tymiánu byly pro včelu medonosnou shledány jako toxické. Na druhou stranu medonoska byla vůči těmto EO tolerantnější, avšak docházelo u ní ke snížení uletěné vzdálenosti, rychlosti pohybu a zvýšila se frekvence zastávek při letu. Řešením tohoto problému by mohla být aplikace EO mimo dobu letu včel.

Důležitou vlastností EO, která určuje jejich vliv na životní prostředí, je jejich omezená perzistence. Pokud je tedy nějaký druh predátora, parazitoida či opylovače citlivý k určitému EO, tak mu nebezpečí hrozí pouze v době ošetření při přímém kontaktu. Necílovému hmyzu, který dorazí po jednom či více dnech od ošetření, již nebezpečí nehrozí (Isman 2006).

Faktem ale zůstává, že vlivem EO na necílové organismy se zatím zabývalo pouze malé množství studií.

6.4.2 Pěstování rostlin vhodných k tvorbě botanických pesticidů

S životním prostředím úzce souvisí také pěstování fenyklu, respektive dalších rostlin potřebných a vhodných k tvorbě botanických pesticidů. Jak již bylo zmíněno výše, tak s výrobou botanických pesticidy souvisí nutnost mít dostatek kvalitního rostlinného materiálu, což může vyžadovat velké plochy. Na jednu stranu je tu jistá oběť ze strany pěstitelů, který se musí vzdát pěstování výnosnějších nebo potřebnějších plodin, na stranu druhou však to může

vést k jisté variabilitě osevních postupů. Co se potenciálního výnosu rostlin pěstovaných za účelem výroby botanických pesticidů týče, tak Pavela et al. (2016) během dvouletého pokusu zjistili, že průměrný výnos nadzemní biomasy fenyklu pěstovaného na pokusném pozemku byl za první rok 15,8 kg/m² a za druhý rok 14,3 kg/m². Výnosy suché biomasy byly stanoveny na 3,3 kg/ m² za první rok a 3,1 kg/m² za rok druhý. Z této biomasy by šlo potenciálně z 1 ha pěstovaného fenyklu odrůdy Moravský získat až 366,2 kg a 317,4 kg EO. Jen se ze semen by z plochy 1 ha při průměrném výnosu semen 64 g/rostlinu za první rok a 72 g/rostlinu za druhý rok šlo získat 215.3 kg a 187.9 kg esenciálního oleje. Při přepočtu došli k závěru, že testovaná odrůda Moravský by mohla poskytnout teoretický výnos asi 4000 kg/ha.

6.4.3 Potenciál EO jako insekticidů

Potenciální význam EO jako insekticidů v ochraně rostlin podporuje jednak účinnost těchto látek na některé cílové organismy (tedy škůdce) a také jejich bezpečnost organismy necílové (opylovače, predátory, vodní organismy). Dá se i předpokládat, že i kvůli současné Evropské zelené politice, do které patří i omezování syntetických pesticidů, se budou muset zemědělci přeorientovávat na nové skupiny přípravků na ochranu rostlin. A jednou z těchto skupin by mohly být i esenciální oleje.

Pravdou však zůstává, že v současné době je na trhu velmi málo insekticidů na bázi EO. Podle Pavely & Benelli (2016) je na vině hned několik faktorů: přísná legislativa, krátká doba účinnosti EO, jen málo publikovaných praktických výsledků a nedostatek kvalitního a dostupného rostlinného materiálu za přijatelné ceny.

7 Závěr

- Po základě dosažených výsledků lze konstatovat, že je možné všechny 3 hypotézy přijmout:
 - Esenciální olej z *Foeniculum vulgare* aplikovaný v letálních nebo subletálních koncentracích vykazuje významný vliv na mortalitu a plodnost kyjatyky travní (*Metopolophium dirhodum*).
 - Esenciální olej z *Foeniculum vulgare* aplikovaný v letálních nebo subletálních koncentracích vykazuje významný vliv na mortalitu larev západníka polního (*Plutella xylostella*).
 - Esenciální olej z *Foeniculum vulgare* nevykazuje významný vliv na mortalitu a vývoj larev slunéčka východního (*Harmonia axyridis*).
- Lze doporučit EO z *F. vulgare* k dalším studiím za účelem následného zvážení této látky jako látky insekticidně účinné. Za další zkoumání stojí hlavně jeho aphicidní potenciál, kdy tento esenciální olej ve srovnání s dalšími EO vychází jako účinnější.
- Dále lze doporučit testování tohoto EO na další necílové organismy z jiných hmyzích řádů.

8 Literatura

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**:265-267.
- Abramson CI, Wanderley PA, Wanderley MJA, Silva JCR, Michaluk LM. 2007. The effect of essential oils of sweet fennel and pignut on mortality and learning in Africanized honeybees (*Apis mellifera* L.) (Hymenoptera: Apidae). *Neotropical Entomology* **36**:828–835.
- Aprotosoia AC, Șpac A, Hăncianu M, Miron A, Tănăsescu VF, Dorneanu V, Stănescu U. 2010. The chemical profile of essential oils obtained from fennel fruits (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Farmacia* **58**:46-53.
- Ayalew G. 2006. Comparison of yield loss on cabbage from Diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) using two insecticides. *Crop Protection* **25**:915-919.
- Babu GDK, Dolma SK, Sharma M, Reddy SGE. 2018. Chemical composition of essential oil and oleoresins of *Zingiber officinale* and toxicity of extracts/essential oil against diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Toxin Reviews* **39**:226-235.
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology* **46**: 446-475.
- Benelli G, Pavela R, Giordani C, Casettari L, Curzi G, Cappellacci L, Petrelli R, Maggi F. 2018. Acute and sub-lethal toxicity of eight essential oils of commercial interest against the filariasis mosquito *Culex quinquefasciatus* and the housefly *Musca domestica*. *Industrial Crops and Products* **12**: 668-680.
- Benelli G, Pavela R, Drenaggi E, Desneux N, Maggi F. 2020. Phytol, (E)-nerolidol and spathulenol from *Stevia rebaudiana* leaf essential oil as effective and eco-friendly botanical insecticides against *Metopolophium dirhodum*. *Industrial Crops and Products*, **155**:112844.
- Costa AV, Pinheiro PF, de Queiroz VT, Rondelli VM, Marins AK, Valbon WR, Pratisoli D. 2015. Chemical composition of essential oil from *Eucalyptus citriodora* leaves and

- insecticidal activity against *Myzus persicae* and *Frankliniella schultzei*. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants* **18**:374-381.
- Cruz GS, Wanderley-Teixeira V, Oliveira J V., Lopes FSC, Barbosa DRS, Breda MO, Dutra KA, Guedes CA, Navarro DMAF, Teixeira AAC. 2016. Sublethal effects of essential oils from *eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Lamiaceae), and *foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* **109**:660-666.
- Český statistický úřad. 2021. Osevní plochy zemědělských plodin k 31.5. Available from https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystupobjekt&f=TABULKA&z=T&skupId=346&katalog=30840&pvo=ZEM02A&pvo=ZEM02A&evo=v545_!_ZEM02A-2021_1#w= (accessed March 2022).
- Digilio MC, Mancini E, Voto E, De Feo V. 2008. Insecticide activity of Mediterranean essential oils. *Journal of Plant Interactions* **3**:17-23.
- Finney DJ. 1971. Probit analysis. Cambridge University Press. London.
- Fryč D, Rychlý S. 2014. Mšice: malý atlas do ruky 1. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Gao Q, Song L, Sun J, Cao HQ, Wang L, Lin H, Tang F. 2019. Repellent action and contact toxicity mechanisms of the essential oil extracted from Chinese chive against *Plutella xylostella* larvae. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* **100.1**: e21509.
- Gong P, Li X, Wanch Ch, Zhu Sm Li Q, Zhang Y, Li X, Li G, Lie E, Gao H, Yang X, Zhu X. et al. 2021. The sensitivity of field populations of *metopolophium dirhodum* (Walker) (hemiptera: Aphididae) to seven insecticides in Northern China. *Agronomy* **11**:1556
- Gryndler M, Ipser J, Němcová L. 2013. Základy fytopatologie. Univerzita J.E. Purkyně. Ústí nad Labem.
- Gütner GB. 2002. Root Architecture – Wheat as a Model Plant, Pages 249-322 in: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi, editors. *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, s. 1120.

- Hejný S, Slavík B. 2003. Květena České republiky. 2., nezm. vyd. Academia, Praha.
- Huang X, Ge SY, Liu JH, Wang Y, Liang XY, Yuan H Bin. 2018. Chemical Composition and Bioactivity of the Essential Oil from *Artemisia lavandulaefolia* (Asteraceae) on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Florida Entomologist*, **101**:44-48.
- Isman MB. 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection* **19**:603-608.
- Isman MB. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology* **51**:45-66.
- James DG. 2003. Pesticide susceptibility of two coccinellids (*Stethorus punctum picipes* and *Harmonia axyridis*) important in biological control of mites and aphids in Washington hops. *Biocontrol Science and Technology* **13**:253-259.
- Jursík M, Šuk J, Kolářová M, Soukup J. 2019. Effect of irrigation and soil adjuvant on the efficacy and selectivity of pendimethalin and metazachlor in kohlrabi. *Scientia Horticulturae* **246**:871-878.
- Jursík M, Holec J, Hamouz P, Soukup J. 2018. *Biologie a regulace plevelů*. Kurent, České Budějovice.
- Kazda J, Jindra Z, Kabíček J, Prokinová E, Ryšánek P, Stejskal V. 2003. *Choroby a škůdci polních plodin, ovoce a zeleniny*. 3., dopl. vyd. Zemědělec, Praha.
- Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin: polní plodiny*. Profi Press, Praha.
- Kazda J. 2014. *Škůdci polních plodin*. Profi Press, Praha.
- Kocourek F, Bagar M, Falta V, Harašta P, Holý K, Chroboková E, Kloutvorová J, Kúdela V, Lánský M, Náměstek J, Navrátil M, Ouředníčková J, Pluhař P, Psota V, Pultar O, Stará J, Suchá J, Sus J, Šafářová D, Špak J, Valentová L. 2015. *Integrovaná ochrana ovocných plodin*. Profi Press, Praha.

- Kocourková B, Pluháčková H, Habán M. 2015. Léčivé, aromatické a kořeninové rostliny a základy fytotherapie. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Kim DH, Ahn YJ. 2001. Contact and fumigant activities of constituents of *Foeniculum vulgare* fruit against three coleopteran stored-product insects. *Pest Management Science* **57**:301-306.
- Kraiss H, Cullen EM. 2008a. Efficacy and nontarget effects of reduced-risk insecticides on *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) and its biological control agent *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Economic Entomology* **101**:391-398.
- Kraiss H, Cullen EM. 2008b. Insect growth regulator effects of azadirachtin and neem oil on survivorship, development and fecundity of *Aphis glycines* (Homoptera: Aphididae) and its predator, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Pest Management Science* **64**:660-668.
- Lengai GMW, Muthomi JW, Mbega ER. 2020. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. *Scientific African* **7**:e00239.
- Liu TX, Sparks AN, Hendrix WH, Yue B. 1999. Effects of SpinTor (Spinosad) on Cabbage Looper (Lepidoptera: Noctuidae): Toxicity and Persistence of Leaf Residue on Cabbage under Field and Laboratory Conditions. *Journal of Economic Entomology* **92**:1266-1273.
- Macharia I, Löhr B, De Groote H. 2005. Assessing the potential impact of biological control of *Plutella xylostella* (diamondback moth) in cabbage production in Kenya. *Crop Protection* **24**:981-989.
- Machekano H, Mvumi BM, Nyamukondiwa C. 2017. Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in Southern Africa: Research trends, challenges and insights on sustainable management options. *Sustainability* **9**:91.
- Mota AS, Rosário Martins M, Arantes S, Lopes VR, Bettencourt E, Pombal S, Gomes AC, Silva LA. 2015. Antimicrobial activity and chemical composition of the essential oils of Portuguese *foeniculum vulgare* fruits. *Natural Product Communications* **10**:673–676.

- Nancarrow N, Aftab M, Hollaway G, Rodoni B, Trębicki P. 2021. Yield losses caused by barley yellow dwarf virus-PAV infection in wheat and barley: A three-year field study in south-eastern Australia. *Microorganisms* **9**: 645.
- Nazzaro F, Fratianni F, De Martino L, Coppola R, De Feo V. 2013. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals* **6**:1451-1474.
- Nedvěd O. 2004. Slunéčko *Harmonia axyridis* ovlivňuje vlastnosti vína. *Vesmír*. **83**:609.
- Nedvěd O, Veselý P. 2014. Odstrašující vzory – fungování výstražného zbarvení slunéček proti ptačím predátorům. *Živa*. **5**:234.
- Niedobová J, Skalský M, Fric ZF, Hula V, Brtnický M. 2019. Effects of so-called “environmentally friendly” agrochemicals on the harlequin ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology* **166**:173–177.
- Pavela R. 2011. *Botanické pesticidy*. Kurent, České Budějovice.
- Pavela R. 2012. Efficacy of three newly developed botanical insecticides based on pongam oil against *Plutella xylostella* L. larvae. *Journal of Biopesticides* **5**:62.
- Pavela R. 2014. Insecticidal properties of *Pimpinella anisum* essential oils against the *Culex quinquefasciatus* and the non-target organism *Daphnia magna*. *Journal of Asia Pacific Entomology* **17**:287–293.
- Pavela R, Benelli G. 2016. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends in Plant Science* **21**:1000-1007.
- Pavela R, Govindarajan M. 2017. The EO from *Zanthoxylum monophyllum* a potential mosquito larvicide with low toxicity to the non-target fish *Gambusia affinis*. *Journal of Pest Science* **90**:369–378.
- Pavela R, Maggi F, Mazzara E, Torresi J, Cianfaglione K, Benelli G, Canale A. 2021. Prolonged sublethal effects of essential oils from non-wood parts of nine conifers on key insect pests and vectors. *Industrial Crops and Products* **168**: 113590.

- Pavela R, Zabka M, Vrchotova N, Triska J, Kazda J. 2013. Selective effects of the extract from *Angelica archangelica* L. against *Harmonia axyridis* (Pallas)-An important predator of aphids. *Industrial Crops and Products* **51**:87-92.
- Pavela R, Žabka M, Bednář J, Tříška J, Vrchotová N. 2016. New knowledge for yield, composition and insecticidal activity of essential oils obtained from the aerial parts or seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Industrial Crops and Products* **83**: 275-282.
- Pavela R. 2020. Přírodní cestou nejen proti chorobám a škůdcům. Kurent, České Budějovice.
- Pazderů K. 2018. Pěstování rostlin – cvičení. Vydání druhé. Česká zemědělská univerzita, V Praze.
- Pinheiro PF, Queiroz VT de, Rondelli VM, Costa AV, Marcelino T de P, Pratisoli D. 2013. Insecticidal activity of citronella grass essential oil on *Frankliniella schultzei* and *Myzus persicae*. *Ciência e Agrotecnologia* **37**:138-144.
- Prokinová E. 2014. Choroby polních plodin. Profi Press, Praha.
- Reddy SGE, Kirti Dolma S, Koundal R, Singh B. 2016. Chemical composition and insecticidal activities of essential oils against diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Natural Product Research* **30**:1834-1838.
- Rod J, Hluchý M, Prášil J, Zavadil K, Somssich I, Zacharda M. 2005. *Obrazový atlas chorob a škůdců zeleniny střední Evropy: ochrana zeleniny v integrované produkci včetně prostředků biologické ochrany rostlin*. Biocont laboratory, Brno.
- Rocha DK, Matos O, Novo MT, Figueiredo AC, Delgado M, Moiteiro C. 2015. Larvicidal activity against *aedes aegypti* of *foeniculum vulgare* essential oils from Portugal and Cape Verde. *Natural Product Communications* **10**:677-682.
- Ruiz-Sánchez E, Caamal-Eb L, Cristóbal-Alejo J, Munguía-Rosales R, Pérez-Gutiérrez A. 2010. Survivorship and development of immature *Harmonia axyridis pallas* (Coleoptera: Coccinellidae) exposed to diflubenzuron. *Agrociencia* **44**:373-379.

- Sánchez Chopa C, Descamps LR. 2012. Composition and biological activity of essential oils against *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae) cereal crop pest. *Pest Management Science*, **68**:1492-1500.
- Seidenglanz M, Šafář J, Hrudová E, Kocourek F, Kolařík P, Rotrekl J, Havel J, Tánčík J, Ruseňáková M, Vichová L. 2018. Praktické důsledky rezistence řepkových škůdců proti různým druhům insekticidů. *Rostlinolékař* **29**: 26–30.
- Sharma S, Kooner R, Arora R. 2017. *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture*. Springer, Singapore.
- Skuhrovec J, Martinková Z, Honěk A. 2018. Sluněčko východní – „užitečná invaze“. *Živa*. **5**:241.
- Šefrová H. 2006. *Rostlinolékařská entomologie*. Konvoj, Brno.
- Šnobl J, Pulkrábek J. 2005. *Základy rostlinné produkce*. Vyd. 2., přeprac. Česká zemědělská univerzita, V Praze.
- Thompson GD, Dutton R, Sparks TC. 2000. Spinosad – A case study: An example from a natural products discovery programme. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science* **56**:696-702.
- Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021. Základní látky v ochraně rostlin. EAGRI Available from: http://eagri.cz/public/web/file/580601/Zakladni_latky_informace_proweb_UKZUZ.pdf (accessed June 2021)
- Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021a. Kyjatka travní-info. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|so|skudci|detail:1d717fd390a3896993e5fa66fb54288d|popis (accessed June 2021)
- Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021b. Kyjatka travní-přípravky na OR. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|so|skudci|detail:1d717fd390a3896993e5fa66fb54288d|prip (accessed June 2021)

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021c. Zápředníček polní-info. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c6e581b|popis (accessed June 2021)

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021d. Zápředníček polní-přípravky na OR. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c6e581b|prip (accessed June 2021)

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021e. Slunéčko východní-info. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c952b2b|popis (accessed June 2021)

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021f. Slunéčko východní-přípravky na OR. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|so|skudci|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c952b2b|prip (accessed June 2021)

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021g. Praskání bulev-info. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|poruchy|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c7d66c5 (accessed June 2021)

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2021h. Škůdci – brukev zelná kedluben. Rostlinolékařský portál. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|so|skudci (accessed June 2021)

Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha.

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.

- Verkerk RHJ, Wright DJ. 1996. Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: A review. *Bulletin of Entomological Research* **86**:205-216.
- Watt AD, Watten SD. 1984. The effects of growth stage in wheat on yield reductions caused by the rose-grain aphid *Metopolophium dirhodum*. *Annals of Applied Biology* **104**:393-397.
- Wei H, Liu J, Li B, Zhan Z, Chen Y, Tian H, Lin S, Gu X. 2015. The toxicity and physiological effect of essential oil from *Chenopodium ambrosioides* against the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* **76**:68-74.
- 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.
- Youn YN, Seo MJ, Shin JG, Jang C, Yu YM. 2003. Toxicity of greenhouse pesticides to multicolored Asian lady beetles, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control* **28**:164-170.
- Yu SJ, Nguyen SN. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in the diamondback moth. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **44**: 74-81.
- Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Liu SS, Furlong MJ. 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *plutella xylostella* (lepidoptera: Plutellidae): Just how long is a piece of string? *Journal of Economic Entomology* **105**: 1115-1

