

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra ochrany rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Účinnost extraktů z některých druhů rostlin
používaných jako byliny na mortalitu kyjatyky travní
(*Metopolophium dirhodum*)**

Bakalářská práce

Denisa Křížová

Rostlinná produkce

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

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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Účinnost extraktů z některých druhů rostlin používaných jako byliny na mortalitu kyjatky travní“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20. 04. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé práce panu prof. Ing. Pavlu Ryšánkovi, CSc. a dále odbornému školiteli panu doc. Ing. Romanu Pavelovi, Ph.D. a jeho týmu z VÚRV, v. v. i. za poskytnuté rady, odbornou pomoc, čas a trpělivost. Velké díky patří také mé rodině a přátelům za neutuchající podporu a korekturu bakalářské práce.

Účinnost extraktů z některých druhů rostlin používaných jako byliny na mortalitu kyjatyky travní (*Metopolohium dirhodum*)

Souhrn

V této práci byl studován vliv rostlinných extraktů na mortalitu kyjatyky travní. Mšice jsou totiž jedním z nejničivějších škůdců téměř všech pěstovaných polních plodin. Škodí sáním, především na nadzemních částech rostlin a odnímají z nich velké množství tekutin.

Do nedávna se proti škůdcům používaly především syntetické pesticidy, které ale mají řadu prokázaných negativních účinků na životní prostředí a zdraví člověka. Vzhledem k jejich intenzivnímu používání také začalo docházet ke snížení účinnosti chemických látek v důsledku vývoje rezistence škůdců. Z těchto důvodů významně sílí tlak na omezování agrochemikálií, dochází k regulaci účinných látek a zvyšuje se zájem o použití bezpečnějších alternativ syntetických pesticidů. Vhodnou náhradou mohou být botanické pesticidy, které obsahují komplex účinných látek s různými mechanismy účinku, což snižuje riziko vzniku rezistentních organismů. Rostlinné extrakty nejsou zdraví škodlivé, mají nízkou toxicitu pro necílové organismy a jsou snadno biologicky rozložitelné.

V této studii byly použity extrakty z rostlin *Foeniculum vulgare*, *Salvia officinalis*, *Eucalyptus globulus* a *Humulus lupulus*, u kterých byla sledována především akutní toxicita na dospělce kyjatyky travní 24 hodin od aplikace postřiku.

Nejvyšší toxicitu vykazoval extrakt z *H. lupulus* s mortalitou 96,67 %. Extrakt byl dále testován v koncentrační řadě a následně u něho byly odhadnuty letální koncentrace (LC_{50} , LC_{90}). LC_{50} byla pomocí probitové analýzy odhadnuta na 1,49 mg/ml a LC_{90} na 8,02 mg/ml 24 hodin po aplikaci. Z výsledků lze říci, že extrakt z *H. lupulus* se může stát spolehlivou ekologickou náhradou syntetických pesticidů.

Klíčová slova: rostlinné extrakty, mortalita, fertilita, mšice, *Metopolohium dirhodum*

Efficacy of extracts from some plant species used as herbs on the mortality of the aphid *Metopolophium dirhodum*

Summary

In this work, the effect of plant extracts on the mortality of the rose-grain aphid was studied. Aphids are one of the most destructive pests of almost all cultivated field crops. They cause damage by sucking, especially on the aerial parts of the plants and withdraw large amounts of fluids from them.

Until recently, pest control was mainly based on synthetic pesticides, but these have a number of proven negative effects on the environment and human health. Due to their intensive use, the effectiveness of the chemicals has also begun to decrease as a result of the development of pest resistance. For these reasons, pressure to reduce agrochemicals is increasing significantly, active substances are being regulated and there is growing interest in using safer alternatives to synthetic pesticides. Botanical pesticides, which contain a complex of active ingredients with different mechanisms of action, may be a suitable substitute, reducing the risk of resistant organisms. Plant extracts are not harmful to health, have low toxicity to non-target organisms and are readily biodegradable.

Plant extracts from *Foeniculum vulgare*, *Salvia officinalis*, *Eucalyptus globulus* and *Humulus lupulus* were used in this study and were mainly monitored for acute toxicity to adult grasshoppers 24 hours after spray application.

The extract of *H. lupulus* showed the highest toxicity with a mortality of 96.67 %. The extract was further tested in a concentration series and subsequently lethal concentrations (LC₅₀, LC₉₀) were estimated for it. The LC₅₀ was estimated to be 1.49 mg/ml and the LC₉₀ was estimated to be 8.02 mg/ml 24 hours after application by probit analysis. From the results, it can be said that *H. lupulus* extract can become a reliable ecological substitute for synthetic pesticides.

Keywords: plant extracts, mortality, fertility, aphids, *Metopolophium dirhodum*

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod..... | 8 |
| 2 Cíle a hypotézy práce..... | 9 |
| 3 Literární rešerše..... | 10 |
| 3.1 Historie ochrany rostlin..... | 10 |
| 3.2 Pesticidy..... | 11 |
| 3.2.1 Rozdělení a aplikace pesticidů..... | 11 |
| 3.2.2 Vliv pesticidů na životní prostředí..... | 12 |
| 3.2.3 Rezistence škůdců vůči pesticidům..... | 13 |
| 3.3 Ekologicky šetrné metody ochrany rostlin..... | 14 |
| 3.4 Biologická ochrana rostlin..... | 15 |
| 3.4.1 Biopesticidy..... | 15 |
| 3.4.2 Bioagens..... | 15 |
| 3.4.3 Botanické insekticidy..... | 16 |
| 3.5 Rostlinné extrakty..... | 18 |
| 3.6 Pšenice setá (<i>Triticum aestivum</i> L.)..... | 18 |
| 3.6.1 Botanický popis..... | 19 |
| 3.6.2 Technologie pěstování..... | 19 |
| 3.6.3 Využití..... | 19 |
| 3.6.4 Ochrana proti škůdcům..... | 20 |
| 3.6.5 Vliv škůdců na výnos..... | 20 |
| 3.7 Kyjatka travní (<i>Metopolophium dirhodum</i> Walker)..... | 20 |
| 3.7.1 Popis..... | 20 |
| 3.7.2 Škodlivost mšic..... | 21 |
| 3.7.3 Ochrana proti mšicím..... | 21 |
| 3.8 Blahovičník kulatoplodý (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.)..... | 22 |
| 3.8.1 Botanický popis..... | 22 |
| 3.8.2 Využití..... | 22 |
| 3.8.3 Obsahové látky..... | 22 |
| 3.8.4 Insekticidní účinky..... | 22 |
| 3.9 Fenykl obecný (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.)..... | 23 |
| 3.9.1 Botanický popis..... | 23 |
| 3.9.2 Využití..... | 23 |
| 3.9.3 Obsahové látky..... | 23 |
| 3.9.4 Insekticidní účinky..... | 23 |
| 3.10 Chmel otáčivý (<i>Humulus lupulus</i> L.)..... | 24 |
| 3.10.1 Botanický popis..... | 24 |
| 3.10.2 Využití..... | 24 |
| 3.10.3 Obsahové látky..... | 24 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 3.10.4 | Insekticidní účinky..... | 25 |
| 3.11 | Šalvěj lékařská (<i>Salvia officinalis</i> L.)..... | 25 |
| 3.11.1 | Botanický popis..... | 25 |
| 3.11.2 | Využití..... | 25 |
| 3.11.3 | Obsahové látky..... | 25 |
| 3.11.4 | Insekticidní účinky..... | 26 |
| 4 | Metodika | 27 |
| 4.1 | Charakteristika experimentálního prostředí..... | 27 |
| 4.2 | Cílový organismus | 27 |
| 4.3 | Použitý rostlinný materiál | 28 |
| 4.3.1 | Pšenice setá | 28 |
| 4.3.2 | Rostliny pro přípravu extraktů..... | 28 |
| 4.4 | Příprava extraktů..... | 29 |
| 4.5 | Biologické testy | 29 |
| 4.6 | Statistické metody..... | 31 |
| 5 | Výsledky | 32 |
| 5.1 | Obsah biologicky aktivních látek..... | 32 |
| 5.2 | Účinnost extraktů na mortalitu..... | 32 |
| 5.3 | Koncentrační řada..... | 33 |
| 5.4 | Letální koncentrace..... | 34 |
| 5.5 | Účinnost extraktů na fertilitu..... | 34 |
| 5.6 | Účinnost koncentrací extraktu z <i>H. lupus</i> na fertilitu..... | 35 |
| 6 | Diskuze | 37 |
| 7 | Závěr..... | 39 |
| 8 | Literatura..... | 40 |

1 Úvod

Zhruba před 10 000 lety došlo ke vzniku zemědělství a od té doby se lidé musí potýkat s mnoha problémy, které při pěstování rostlin na větších plochách nastávají. S postupným navyšováním monokulturních ploch totiž začala narůstat i potřeba ochrany rostlin proti chorobám a škůdcům (Pavela 2020).

Mnohé z prvních pesticidů byly výtažky z rostlin používané jak k ochraně plodin na poli, tak i po sklizni. Postupem času se některé rostliny začaly více využívat jako zdroj komerčních insekticidů, avšak od 40. let 20. století byly rostlinné látky nahrazeny syntetickými chemikáliemi. Výzkum přírodních produktů rostlinného původu využitelných v zemědělství tak na řadu let upadal (Dimetry 2012).

Z důvodu masivního používání pesticidů se ochrana proti škůdcům celosvětově potýká s obrovskými ekonomickými a environmentálními problémy (Ngegba et al. 2022). Nadměrné používání syntetických pesticidů má za následek vznik rezistence škůdců vůči účinným látkám a také může mít škodlivý dopad na člověka a životní prostředí (Lengai et al. 2020). Toxicita syntetických pesticidů pro necílové organismy, obtížná biologická rozložitelnost a vznik reziduí v prostředí se staly problémem, který vyžaduje přijetí udržitelných a nákladově přijatelných opatření na ochranu rostlin proti škůdcům (Ngegba et al. 2022).

Současný celosvětový trend směřuje ke spotřebě potravin vyrobených za použití bezpečných a nejlépe přírodních přípravků na ochranu rostlin. Detekce nebezpečných reziduí chemických pesticidů v potravinách vedla k zákazu některých syntetických pesticidů používaných v zemědělské produkci (Lengai et al. 2020). Rostoucí pozornost věnovaná environmentální bezpečnosti vyvolala zájem o použití ekologických pesticidů na rostlinné bázi. Rostlinné pesticidy jsou účinné proti širokému spektru škůdců, a navíc jsou velmi dostupné, rychle biologicky odbouratelné a mají rozdílné mechanismy účinku vůči škůdcům a chorobám (Ngegba et al. 2022).

Botanické pesticidy se používají ve formě rostlinných extraktů či esenciálních olejů, které inhibují růst škůdců či je odpuzují anebo zabíjí (Ngegba et al. 2022). Je známo více než 2 000 druhů rostlin, které vykazují insekticidní účinky a zároveň se odhaduje, že pouze asi 10 % rostlinných druhů bylo chemicky prozkoumáno. Rostliny tak představují cenný zdroj nových sloučenin potenciálně využitelných v zemědělství (Dimetry 2012).

Nalezení vhodných zdrojů pro výrobu rostlinných extraktů vyžaduje prozkoumání velkého množství rostlin a jejich účinných látek. Tato práce je proto příspěvkem k tomuto úsilí. Na základě již existujících poznatků shrnuje informace týkající se syntetických a rostlinných pesticidů a zejména uvádí výsledky vlastního výzkumu, který se zabýval účinky extraktů z vybraných rostlin na mortalitu *Metopolophium dirhodum*.

2 Cíle a hypotézy práce

Hypotéza:

Alespoň jeden z extraktů způsobuje významnou mortalitu kyjatky travní a může tak být využit v ochraně rostlin vůči mšicím.

Cílem bakalářské práce na téma: „Účinnost extraktů z některých druhů rostlin používaných jako byliny na mortalitu kyjatky travní (*Metopolophium dirhodum*)“ bylo zjistit vliv extraktů získaných z rostlin *Foeniculum vulgare*, *Salvia officinalis*, *Eucalyptus globolus* a *Humulus lupulus* na mortalitu a fertilitu dospělců kyjatky travní (*Metopolophium dirhodum*). Na základě porovnání zjištěné účinnosti bude vybrán nejúčinnější extrakt, který bude dále aplikován v koncentrační řadě. Účinnost vybraného extraktu bude diskutována v rámci možného využití v ochraně rostlin proti mšicím.

3 Literární rešerše

3.1 Historie ochrany rostlin

Ke vzniku zemědělství došlo zhruba před 10 000 lety. Zprvu se vysévaly smíšené kultury, poté začalo docházet ke střídání plodin a zlepšování agrotechniky. S tím se postupně zvyšoval počet monokulturních ploch a větší potřeba ochrany rostlin proti škůdcům (Pavela 2020).

Botanické přípravky byly používány již lidmi ve starověku. Ve starověkém Římě se využívalo květů *Tanacetum cinerariifolium* (Trevir.) pro jejich obsah pyrethrinu jako ochrana proti ektoparazitům (Oberemok et al. 2015). Existují zprávy, že za vlády perského krále Xerxese, v roce 470 př. n. l., byla prováděna odšívovací procedura pomocí prášku získaného z rostliny *T. cinerariifolium* známé též jako pyrethrum (Pavela 2016). Do Evropy se sušené, mleté pyrethrum dostalo díky arménským obchodníkům, kteří ho prodávali pod názvem perský prach či hmyzí prášek. Využíval se zde jako hubicí prostředek na šváby, štěnice, mouchy a komáry (Oberemok et al. 2015). Od roku 1820 se extrakt z *T. cinerariifolium* začal prodávat jako insekticid, od roku 1851 pak pod názvem Extrakt z pyrethra (Pavela 2020).

Ve starověkém Římě se sýpky fumigovaly aromatickými bylinami, například rozmarýnem, myrhou či jalovcem. Tyto byliny se též zavěšovaly ke vstupním otvorům do sýpek (Pavela 2016). Staří Mayové v sýpkách věšeli pálivé papričky (*Capsicum annuum* L.). V papričkách je totiž obsažen kapsaicin, který má repelentní účinky proti hmyzu a obratlovcům, jako jsou hraboši, myši, medvědi a psi. Extrakt z feferonek se později stal součástí komerčních botanických insekticidů (Pavela 2020).

Od roku 1000 př.n.l. se začaly používat přírodní chemikálie. Jednou z nich byla anorganická síra aplikovaná formou fumigace. Homér v jednom ze svých děl popisuje rituál pomocí síry, která ho zbavila vší. Okolo roku 900 n. l. se začal používat arzen, později kryolit (Oberemok et al. 2015).

Roku 1850 byl představen rostlinný insekticid známý jako rotenon. Rotenon je látka patřící mezi flavonoidy. Získává se extrakcí z kořenů, zejména z rostlin rodu *Derris* spp. a *Lonchocarpus* spp. Dalšímu rozvoji botanických insekticidů bylo v Evropě zabráněno po 2. světové válce. Tyto produkty totiž byly vytlačeny mnohem levnějšími syntetickými insekticidy (Pavela 2016).

K rozsáhlejšímu využití chemikálií začalo docházet v polovině 19. století. Roku 1871 byla proti mandelince bramborové aplikována tzv. pařížská zeleň. Ta byla používána v mnoha zemích světa až do poloviny 20. století (Oberemok et al. 2015). Roku 1874 syntetizoval rakouský student Othmar Zeidler asi nejznámější chemický insekticid DDT (dichlordifenyltrichlorethan). Insekticidní účinky DDT však byly objeveny až roku 1939 (Oberemok et al. 2015). Nízká cena, snadná výroba a širokospektrální účinek učinily z DDT masivně rozšířený insekticid (Jarman & Ballschmiter 2012). Vzhledem ke schopnosti DDT zahubit široké spektrum hmyzích škůdců, včetně těch užitečných, začalo docházet ke značnému narušování rovnováhy v agroekosystémech (Pavela 2006).

Po skončení éry DDT začalo období používání organofosfátů a karbamátů. Navzdory tomu, že tyto látky poškozují životní prostředí, patří stále mezi nejpoužívanější přípravky a

tvoří až 19 % světového trhu. V 70. letech se na trhu objevuje první generace pyrethroidů, jejichž základem je pyrethrin (Oberemok et al. 2015).

Velmi rozšířené jsou neonikotinoidy. Působí systemicky a chrání tak všechny části rostliny. Neonikotinoidní insekticidy se používají k hubení škůdců v různých zemědělských plodinách (Oberemok et al. 2015). Jejich aplikace je velmi flexibilní. Používají se jako postřiky na zahradách a orné půdě, v návnadách proti švábům, k moření osiva a v granulovaných formulacích pro ošetření pastvin. Dají se též aplikovat ve vodě pomocí zavlažovacích hadic či injektovat do dřeva proti termitům (Goulson 2013). Neonikotinoidy ovlivňují centrální nervový systém hmyzu, ale nerozlišují mezi cílovým a necílovým organismem. Jsou prokázány negativní účinky na opylovače včetně včely medonosné, vodní hmyz a ptáky (Hladik et al. 2018).

3.2 Pesticidy

3.2.1 Rozdělení a aplikace pesticidů

Pojmem pesticidy se obecně nazývají přípravky sloužící k potlačení patogenů, škůdců a nežádoucích rostlin. Můžeme je rozdělit dle účinku proti škodlivým činitelům na herbicidy, které se používají proti plevelům, fungicidy proti fytopatogenním houbám a zoocidy proti živočišným škůdcům. Zoocidy se dále dělí na nematocidy, které slouží k hubení háďátek, akaricidy proti roztočům, insekticidy proti hmyzu, moluskocidy proti plžům a rodenticidy proti hlodavcům. Za zmínku stojí také speciální látky jako jsou desikanty, repelenty a regulátory růstu. Desikanty se využívají k předčasnému ukončení vegetace plodin, repelenty k odpuzování živočichů, například komárů, a regulátory růstu ovlivňují vývoj rostlin (Kazda et al. 2007).

Podle působení v rostlině dělíme pesticidy na:

- **Kontaktní** – kdy účinná látka neproniká do rostlinných pletiv, ale zůstává na povrchu pouze v místě, kam dopadla při aplikaci. Výhodou kontaktních pesticidů je nižší cena, nevýhodou nutnost důkladné aplikace, a to i na hůře přístupných místech jako je například spodní strana listů.
- **Systémové** – účinné látky pronikají kutikulou do rostlin, kde jsou následně rozváděny. Výhodou těchto pesticidů je jednodušší aplikace, nevýhodou vyšší cena.
- **S hloubkovým účinkem** – po aplikaci pronikají účinné látky přes listy do hlubších vrstev rostlinných pletiv, ale nejsou dále rozváděny v rostlině.
- **Kombinované** – jsou kombinací kontaktních a systémových pesticidů. Jejich velkou výhodou je vysoká účinnost, nevýhodou vysoká cena (Kazda et al. 2007).

Pesticidy jsou biologicky vysoce aktivní látky a vždy je u nich přesně stanoveno, na kterou plodinu, proti kterému škůdci a v jakém čase a množství se smí používat. Jejich použití je regulováno zákonem a každý přípravek používaný na našem území musí být registrován v České republice (Kazda et al. 2007).

Před samotnou aplikací pesticidu je potřeba v nádrži postřikovače připravit postřikovou jíchu, která se skládá z vody a přípravku na ochranu rostlin. Pro běžnou aplikaci se v polních podmínkách nejčastěji využívá dávka 200-300 l postřikové jíchy na hektar. Při aplikaci fungicidů proti patogenům napadajícím spodní patra listů či u kontaktních pesticidů se dávka vody zvyšuje na 400-600 l/ha. V dnešní době je možné většinu herbicidů používat v tank-mix

kombinacích s dalšími pesticidy. V praxi se tank-mix kombinace používají z důvodu nižších aplikačních nákladů, zvýšení produktivity práce, antirezistentní strategie a možnosti snížení aplikačních dávek v důsledku synergického působení mezi pesticidy. Často také dochází k mísení pesticidů s hnojivy (Jursík & Soukup 2016).

Při aplikaci pesticidů nesmí být překročena nejvyšší přípustná dávka, nesmí být zasaženy rostliny rostoucí mimo ošetřovaný pozemek a musí se dodržovat veškeré ochranné lhůty a pokyny k ochraně zdraví lidí a zvířat (Kazda et al. 2007).

3.2.2 Vliv pesticidů na životní prostředí

Je známo, že pesticidy v Evropě způsobují velké environmentální problémy. Znečišťují vzduch, půdu, vodní zdroje a kontaminují potraviny. Přestože již bylo z trhu odstraněno více než 75 % účinných látek pro jejich toxicitu, stále se velké množství používá. V Evropské unii je povoleno více než 150 různých pesticidů a ročně se jich aplikuje asi 140 000 tun (Riah et al. 2014). Důležitým cílem je zajistit, aby látky uváděné na trh neměly nepříjemné účinky na životní prostředí. Toho lze dosáhnout posouzením dlouhodobých účinků toxických látek na populace a celé ekosystémy (Kattwinkel & Liess 2014).

Studie Geiger et al. (2010) prokázala, že použití pesticidů, zejména insekticidů a fungicidů, mělo negativní vliv na druhovou rozmanitost rostlin a ptáků. Navzdory snaze celoevropsky snížit množství chemických látek používaných na orné půdě, mají pesticidy stále katastrofální důsledky pro volně žijící rostlinné a živočišné druhy. To se projevuje také snižujícím se počtem přirozených nepřátel škůdců plodin (Geiger et al. 2010).

Pesticidy jsou nejdiskutovanější příčinou úbytku včel. Vysoce účinné herbicidy umožňují pěstovat monokultury téměř bez plevelů, ale jejich použití snižuje dostupnost květin pro opylovače. Zemědělská půda se tak pro včely může stát nehostinným prostředím. Na největším úbytku včel se podílí neonikotinoidy. Tyto insekticidy se šíří rostlinnými pletivy, a tak se dostávají do pylu a nektaru kvetoucích rostlin. Jsou rozpustné ve vodě a mají vysokou perzistenci v půdě, z toho důvodu se dá jejich koncentrace nalézt i v pylu divokých květin, které rostou v blízkosti chemicky ošetřovaných plodin. U čmeláků byly pozorovány subletální účinky, které se projevovaly sníženou schopností hledat si potravu (Goulson et al. 2015).

V dnešní době klesá kvalita podzemních a povrchových vod. Kontaminace povrchových vod je méně závažná než vod podzemních, a to z toho důvodu, že většina povrchových vod má rychlý obrat, tudíž rychleji zředí koncentraci škodlivých látek. Zároveň obsahuje volný kyslík, který zvyšuje rychlost štěpení pesticidů mikroorganismy. V podzemních vodách jsou pesticidy vážným problémem. Obrat podzemní vody může trvat i několik let nebo desetiletí. Také v ní chybí kyslík, takže mikroorganismy žijící bez kyslíku jsou při rozkladu látek méně aktivní. Velkým rizikem takto kontaminované vody je potenciál toxických účinků na člověka a domácí zvířata, která vodu pijí (Aydinalp & Porca 2004).

Úrodnost půdy závisí nejen na struktuře půdy, ale také na biologických procesech, které v ní probíhají. Použití pesticidů může změnit mikrobiální rozmanitost a tím ovlivnit úrodnost půdy. Některé pesticidy růst mikroorganismů stimulují, jiné jsou bez účinku (Lo 2010). Lze ale říci, že dlouhodobě opakující se aplikace pesticidů narušují biochemickou rovnováhu a produktivitu půdy, jelikož ovlivňují enzymatické aktivity půdních mikroorganismů (Riah et al. 2014).

3.2.3 Rezistence škůdců vůči pesticidům

Očekává se, že do roku 2050 bude třeba nasýtit devět miliard lidí, a to co nejdůležitějším způsobem. Ochrana rostlin proto hraje zásadní roli při zvyšování výnosů plodin a zajištění dostatečného množství potravin. Kontrola zemědělských škůdců a chorob vyskytujících se na plodinách je však silně ohrožena vývojem rezistence vůči pesticidům (Hawkins et al. 2019).

Rezistence je geneticky podmíněné snížení náchylnosti populace k toxinu a je skvělým příkladem rychlé evoluce vyvolané lidskou činností. Často následuje brzy po zavedení nové syntetické látky (Bras et al. 2022). Vlivem selekčního procesu při opakovaném používání stejné účinné látky se zvyšuje počet odolných jedinců. Rezistence může vzniknout buď vůči jedné látce, a tím i vůči dalším látkám ze stejné skupiny (cross rezistence) anebo proti více látkám z různých skupin (multirezistence) (Kazda et al. 2010).

První dokumentace rezistence vůči insekticidům byla publikována v roce 1914. Její objevitel zdůraznil, že pokud se nevytvoří důslednější přístup k používání insekticidů, bude se počet rezistentních škůdců zvyšovat (Gould et al. 2018). S příchodem DDT se ale aplikace pesticidů celosvětově zvýšila. Netrvalo však dlouho a začaly se projevovat první negativní důsledky na zdraví člověka a přírodu. Také se rapidně zvýšila rezistence škůdců vůči používaným pesticidům. V roce 1968 bylo popsáno 220 případů rezistence, o 20 let později se počet zvýšil na 500 případů (Kazda et al. 2010).

Postupem času si členovci vytvořili několik mechanismů rezistence:

- Podmíněná chováním – odolný jedinec změní své chování a vyhne se tak styku s pesticidem. Pokud se však dostane do kontaktu s účinnou látkou, hyne.
- Podmíněná morfologicky – u odolných jedinců se snižuje propustnost pokožky vůči účinným látkám. Mladší jedinci jsou odolnější než jedinci starší. Při kontaktu s účinnou látkou hyne i rezistentní jedinec.
- Podmíněná fyziologicky – jedinec dokáže účinnou látku z organismu vyloučit nebo transportovat do části těla, kde látka nepůsobí toxicky (např. do tukového tělesa). V jedinci také může dojít k mutaci v místě běžného působení účinné látky, a tak se látka nemůže navázat na příslušný receptor a nepůsobí toxicky. Dále mohou jedinci vytvářet detoxikační enzymy, které účinnou látku rychle rozloží ve více netoxických látek. Ty jsou z těla vyloučeny nebo jsou metabolizovány jako látky prospěšné. Ani v případě kontaktu s účinnou látkou rezistentní jedinec nezahyne (Kazda et al. 2010).

Již v 50. letech minulého století byla v bývalém Československu detekována rezistence mouchy domácí a dalších druhů hmyzu vůči DDT. Na jižní Moravě a jižním Slovensku se začala objevovat rezistence proti DDT u mandelinky bramborové v letech 1964-1967. Tyto případy vedly k zákazu používání DDT v Československu. Roku 1967 došlo k selhání chemické ochrany žateckých chmelnic proti mšici chmelové. Ta se stala silně rezistentní k celé řadě účinných látek a ochrana proti ní byla velmi obtížná. Situace se zlepšila až s příchodem neonikotinoidů. V současné době je v České republice prokázána rezistence mandelinky bramborové proti pyretroidům a organofosfátům. Proti neonikotinoidům byla pozorována snížená účinnost (Kazda et al. 2010).

Obdobná situace se týká komárů, kteří jsou hlavními přenašeči prvoka způsobujícího malárii. Odhaduje se, že použití insekticidně ošetřených sítí a reziduálních sprejů zachránilo

v letech 2000-2015 před nákazou malárií až 0,5 miliardy lidí. Pomalu se však vyvíjí rezistence komárů vůči používaným insekticidům a s tím rostou obavy z opětovného nárůstu infikovaných komárů. Je snaha o vývoj nových insekticidů, ale není jisté, zda budou k dispozici včas a budou stejně efektivní jako ty současné (Gould et al. 2018).

Za zmínku též stojí případ rezistence plevelů vůči herbicidům. Roku 1996 se na trh dostaly geneticky modifikované plodiny (GMO) odolné vůči glyfosátu, systémovému herbicidu se širokospektrálním účinkem. Vyšší výnosy a flexibilita těchto plodin způsobily, že do roku 2014 bylo v Americe více než 90 % hektarů kukuřice, sóji a bavlny oseto odrůdami tolerantními k herbicidům. V důsledku toho se zvýšilo použití glyfosátu, což vedlo k vytvoření rezistence u mnoha druhů plevelů. V Austrálii se zase plevel v pšenici stal rezistentním vůči všem dostupným herbicidům. Farmáři proto museli navrhnout stroje na sklizeň semen plevelů (Gould et al. 2018).

3.3 Ekologicky šetrné metody ochrany rostlin

Ekologicky šetrné metody ochrany rostlin jsou takové metody, které neohrožují životní prostředí ani necílové organismy (Tichá 2001). V ekologickém zemědělství (EZ) mají největší význam nepřímé metody ochrany rostlin. Teprve ve chvíli, kdy se škodlivé organismy přemnoží nad únosnou míru, používáme metody přímé (Šarapatka et al. 2006).

U nepřímé metody ochrany rostlin se klade důraz na preventivní opatření, která se zabezpečí:

- péčí o úrodnost půdy a biodiverzitu
- vyrovnanou výživou rostlin
- dodržením správného termínu výsadby či výsevu
- střídáním plodin (pestré osevní postupy)
- použitím smíšených kultur, podsevů a zeleného hnojení
- volbou vhodné odrůdy
- šetrným zpracováním půdy
- podporou užitečných organismů (Šarapatka et al. 2006).

Mezi nejběžněji používané přímé metody patří biologická, biotechnická, mechanická a fyzikální ochrana (Tichá 2001).

Biotechnická ochrana využívá znalostí o reakci organismů na přirozené podněty (zvuk, světlo, pach) ke konstrukci odchyťových zařízení či lapáků. Nejčastěji se k odchyťu nebo signalizaci výskytu škůdců používají barevné lepové lapáky, které škůdce opticky přitahují. Žluté lákají mšice, molice, dřepčíky, krytonosce, modré trásněnky a bílé pilatky. K odchyťu švábů, motýlů, dřevokazných brouků lze použít feromonové lapáky. Mechanická ochrana spočívá ve vytváření bariér a pastí, které zabrání průniku škůdců do chráněného prostoru. Využívají se různé sítě, plůtky, netkané textilie. Některé škůdce lze hubit využitím fyzikálních metod jako je například expozice extrémním teplotám, střídání nízkých a vysokých teplot, zabránění přístupu vzduchu či vysušení (Tichá 2001).

3.4 Biologická ochrana rostlin

Biologická ochrana rostlin využívá živých organismů jako prostředků k hubení škůdců (Waage & Greathead 1988). V širším slova smyslu jsou sem řazeny i přípravky, jejichž účinnou složkou jsou bioaktivní látky metabolismu živočichů a rostlin. Biologická ochrana má dvě základní strategie. První podporuje užitečné organismy v daném prostředí, druhá zahrnuje vnášení takových organismů do prostředí. Při konvenčním i ekologickém způsobu hospodaření se výhradně využívá první strategie. Uplatňují se správné pěstitelské technologie a agrotechnické zásahy, které co nejméně narušují živé i neživé složky prostředí, a tím přispívají k rovnováze půdních organismů. V důsledku toho dochází k podpoře výskytu přirozených nepřátel škodlivých organismů. Druhá strategie, tedy introdukce užitečného organismu do prostředí, zahrnuje biologické přípravky a bioagens (Prokinová 2017).

Biologická ochrana je důležitou součástí integrované ochrany rostlin (Waage & Greathead 1988) a zároveň podstatou ekologického zemědělství (Prokinová 2017).

3.4.1 Biopesticidy

Biopesticidy jsou pesticidy pocházející z přírodních materiálů, jako jsou živočichové, rostliny, bakterie a některé z minerálů (Ondarza-Beneitez 2017). Díky vysokým složkám bioaktivních a antimikrobiálních látek jsou však hlavními zdroji rostliny a mikroorganismy. Látky na bázi mikroorganismů tvoří většinu biopesticidů na trhu a zahrnují bakterie, viry, houby, hlístice a prvoky (Lengai & Muthomi 2018). Nejrozšířenější mikrobiální pesticidy jsou založeny na různých kmenech *Bacillus thuringiensis* (Berliner) neboli Bt (Dutta 2015). Jejich výhodou je vysoká selektivita působení proti cílovým škůdcům a zároveň nulové toxické účinky na přirozené nepřátele škůdců, necílové organismy a člověka (Do Nascimento 2022).

Při ochraně rostlin jsou biopesticidy stejně účinné (Lengai & Muthomi 2018) a zároveň méně toxické než syntetické pesticidy (Dutta 2015). Jsou snadno biologicky rozložitelné, účinkují již v malém množství a nezpůsobují rezistenci u škůdců. Z těchto důvodů mohou být začleněny do integrované ochrany rostlin, která pomáhá snižovat množství chemických pesticidů (Lengai & Muthomi 2018).

3.4.2 Bioagens

V biologické ochraně mají bioagens velmi blízko k biopesticidům. Bioagens jsou živé organismy, které se používají jako predátoři škůdců rostlin anebo parazitují na původcích chorob (Kuthan 2017). Při cíleném vysazování těchto organismů je třeba používat registrovaná bioagens a správně je skladovat a aplikovat (Tichá 2001).

V současné době se využívají různé mikroorganismy jako *Trichoderma* spp. nebo *Bacillus* spp. (Shukla et al. 2019), dále hlístice, roztoči, slunéčka či vosičky. Například přes 90 % druhů slunéček a jejich larev požírá mšice, červce, molice a svilušky. Proti mšicím se vysazují laboratorně odchovaná dravá *Hippodamia convergens* (Guérin-Méneville) (Tichá 2001).

3.4.3 Botanické insekticidy

Botanické nebo též rostlinné insekticidy jsou přípravky obsahující přirozené biologicky aktivní látky rostlin získané pomocí extrakce. Rozdělit je můžeme několika způsoby. Jedním z nich je rozdělení podle historického vývoje (Pavela 2006):

Botanické insekticidy první generace

Do této kategorie patří nejstarší a neúčinnější botanické insekticidy. Přípravky jsou vysoce toxické pro hmyz, ale vzhledem k jejich neselektivnímu účinku je jejich použití omezeno na pokojové rostliny, zeleninu pěstovanou ve sklenících a na místa, kde nemohou zasáhnout necílové organismy (Pavela 2011). Patří sem extrakty z rostlin tabáku, ryanie, chryzantém a rostlinné oleje (Pavela 2006).

- Pyretrum – dosud nejpoužívanějšími botanickými insekticidy jsou extrakty na bázi pyretroidních látek (Pavela 2011). Pro výrobu insekticidů se používá řimbaba stračkolistá (*Chrysanthemum cinerariifolium* (Trevir.) Vis.) a řimbaba šarlatová (*Chrysanthemum coccineum* Willd.). Extrakty lze použít proti běžným škůdcům, například proti sviluškám, molicím, třásněnkám či housenkám motýlů (Pavela 2006).
- Nikotin – pro extrakci se používají především listy tabáku virginského (*Nicotiana tabacum* L.) a tabáku selského (*Nicotiana rustica* L.). Účinnost extraktů z tabáku závisí na kvalitě použitého materiálu. Extrakty mají všestranné využití, ale nejčastěji se používají proti savým a žravým škůdcům na okrasných rostlinách (Pavela 2020).
- Rotenon – většina rostlin obsahujících rotenon a jeho deriváty patří do čeledi *Fabaceae*, především všechny druhy *Derris* sp. Přípravky na bázi rotenonu u nás nejsou povoleny. Používají se hlavně v USA, Indii, Číně a Malajsii (Pavela 2011).
- Rostlinné oleje – jsou složeny z různých nasycených mastných kyselin a dalších biologicky aktivních látek, které mohou účinnost olejů zvyšovat. Mastné kyseliny mají schopnost na hmyzím těle rovnoměrně vytvořit tenký film, který zabraňuje výměně plynů, v důsledku čehož se hmyz udusí (Pavela 2011).
- Insekticidní mýdla – jsou vyrobena ze solí mastných kyselin, které jsou součástí rostlinných a živočišných olejů a tuků. Za účinnou složku lze považovat hlavně draselné soli kyseliny olejové. Předpokládá se, že soli působí na respirační systém hmyzu, naruší ho či poškodí, a hmyz se tak zadusí. Insekticidní mýdla velmi dobře působí na mšice, svilušky, molice a třásněnky. U některých mýdel jsou prokázány i fungicidní a baktericidní účinky. Mýdlové postřiky lze bezpečně použít i v období sklizně, jelikož se rezidua snadno smyjí, a navíc nejsou pro člověka škodlivá (Pavela 2006).

Botanické insekticidy druhé generace

Tato kategorie obsahuje velké množství přípravků, které vznikaly od druhé poloviny 20. století. Při jejich vývoji bylo cíleno na minimalizaci dosud známých environmentálních a zdravotních rizik. Přípravky jsou selektivní, tudíž neohrožují přirozené nepřátele škůdců, zdravotně nezávadné a univerzální, což znamená, že obsah účinných látek působí insekticidně, fungicidně a baktericidně (Pavela 2011).

- Azadirachtin – je účinná látka nacházející se hlavně v semenech stromu *Azadirachta indica* Juss. Jedná se o neúčinnější přírodní regulátor růstu hmyzu. Kromě toho způsobuje snížení

plodnosti či neplodnost a funguje jako repelent. Azadirachtin se stal účinnou složkou mnoha botanických insekticidů nazývaných neem oleje (Pavela 2006).

- Pongamie – pongamový olej, lidově zvaný karanj, se získává ze stromů *Pongamia glabra* Vent. Přípravky na bázi pongamového oleje se používají preventivně proti škůdcům (sviluškám, molicím) anebo proti chorobám (padlí, rzi) (Pavela 2011).
- Esenciální (éterické) oleje – se získávají z aromatických rostlin pomocí destilace. Skládají se z několika desítek látek o různých koncentracích, z nichž obsah 1-5 látek je majoritní a pro daný rostlinný druh typický. Jsou prokázány fungicidní a baktericidní účinky éterických olejů a převážná většina z nich je v malých dávkách netoxická pro savce, ptáky a ryby. Na hmyz však působí širokospektrálně (Pavela 2011).

Botanické insekticidy třetí generace

Přípravky patřící do této kategorie jsou studovány v posledních několika desetiletích a jedná se o poměrně novou skupinu rostlinných extraktů (Pavela 2011). Většinou nezpůsobují přímou mortalitu, ale omezují vývoj patogenů a škůdců či zvyšují přirozenou obranyschopnost rostlin (Pavela 2020).

Další možnost rozdělení botanických insekticidů je dle způsobu výroby (Pavela 2020):

Komerční přípravky

Tyto přípravky mají deklarovanou účinnost, za kterou ručí výrobce a která byla před uvedením na trh testována. Výhodou přípravků je snadný způsob aplikace, nejčastěji postřikem na rostliny. Nevýhodou je naopak vyšší cena (Pavela 2020). V Evropě je několik firem, které se zabývají výrobou rostlinných insekticidů, avšak ve srovnání se světovou produkcí je u nás výběr těchto přípravků velmi omezen. Důvodem jsou přísná kritéria pro uvedení pesticidů na trh a důkladný proces registrace (Pavela 2006).

Farmářské přípravky

Farmářské přípravky si pěstitel musí vyrobit sám pomocí macerace rostlinného materiálu. Nejčastěji se k maceraci používají sušené rostliny. Procesem macerování se z rostlin získávají dostupné živiny, jako je N, P, K, Mg, Fe, Si nebo S. V zahraničí má tento způsob ochrany rostlin dlouhou tradici, naopak u nás zatím není moc rozšířený. Nevýhodou farmářských přípravků je velké množství materiálu potřebného pro extrakci a také nutná dostatečná znalost pěstitele o rostlinných druzích a způsobech jejich aplikace. Účinné látky pro výrobu přípravků můžeme získat pomocí extrakce, odvaru a výkvasů. Účinnost farmářských přípravků poté závisí na kvalitě vstupní biomasy, kvalitě vody a dodržení správného pracovního postupu (Pavela 2020).

Základní látky

Základní látky (dále ZL) se nabízí jako alternativa k syntetickým pesticidům pro jejich velmi nízký ekologický dopad. Používají se v medicíně či jako složka potravin. Nemají neurotoxické nebo imunotoxické účinky. ZL nejsou uváděny na trh jako přípravky na ochranu rostlin, ale obecně je lze na ochranu rostlin používat (Romanazzi 2022).

První skupina ZL je vyráběna z rostlin a lze ji považovat za farmářské přípravky. Registrovány jsou 3 rostliny: přeslička, kopřiva a vrba. Druhá skupina jsou potravinářské ingredience, například lecitin, syrovátka, cukr, slunečnicový olej, pivo, ocet, mastek nebo chlorid sodný (jedlá sůl). Výhodou této skupiny látek je, že si pěstitel nemusí připravovat výluh, ale zakoupenou látku rovnou aplikuje stejným způsobem jako jiné pesticidy (Pavela 2020).

ZL mají při preventivní aplikaci pozitivní vliv na zdraví rostlin (Romanazzi 2022). Lze je používat v ekologickém zemědělství, ale je potřeba vést evidenci o jejich používání, stejně jako u jiných přípravků na ochranu rostlin (Pavela 2020).

3.5 Rostlinné extrakty

Příprava rostlinných extraktů patří k neúčinnějším způsobům, jak z rostlin získat biologicky aktivní látky. Pro účely extrakce se nejčastěji využívá usušených rostlin. Rostliny se sbírají v době květu, kdy mají ve většině případů nejvíce účinných látek. Vhodná doba pro sběr je ráno po oschnutí rosy. Nasbírané rostliny se poté rozloží do tenké vrstvy a suší se ve stínu při teplotě 30-40 °C. Suché rostliny se skladují při pokojové teplotě v prodyšných pytlích, ale neměly by se skladovat déle než 2 roky, jelikož časem se biologicky aktivní látky rozkládají a snižuje se účinnost (Pavela 2011). Pro domácí přípravu extraktů se jako rozpouštědlo používá líh nebo voda. Rostliny se rozemelou či rozdrtí na menší kousky, zalijí se rozpouštědlem v poměru 1 díl suchých rostlin ku 10 dílům rozpouštědla a nechají se macerovat ve skleněné nádobě po dobu nejméně 6 hodin (ideálně 24-48 hod.). Občas se směs promíchá a po skončení macerace se přefiltruje. Získaný filtrát je poté připraven k dalšímu použití (Pavela 2020).

Mezi výhody rostlinných extraktů patří:

- Netoxičnost – vzhledem k tomu, že jsou extrakty vyráběny z léčivých rostlin, je jejich vliv na člověka dobře známý a rezidua přípravků nejsou zdraví škodlivá.
- Dostupnost materiálu – v přírodě se nachází dostatečné množství rostlin pro výrobu extraktů, případně si lze rostlinný materiál v dostatečném množství vypěstovat.
- Nízké riziko vzniku rezistence – oproti syntetickým přípravkům obsahují rostlinné extrakty komplex účinných látek se vzájemně se doplňujícími mechanismy účinku, což snižuje riziko vzniku rezistentních organismů.
- Jednoduché zacházení a skladování – při skladování, manipulaci a použití extraktů nejsou nutná přísná hygienická opatření (Pavela 2011).

Nevýhody:

- Pracnost – domácí příprava extraktů není finančně příliš náročná, ale je poměrně pracná. Je třeba rostliny vypěstovat, sklídit, usušit a správně vyextrahovat.
- Potřebné znalosti – pro správné použití extraktů je nutné mít základní znalosti o jejich účinnosti a možnostech použití.
- Aplikace včas a opakovaně – při signalizaci výskytu chorob a škůdců je třeba včas začít s postřiky. Velice účinné jsou preventivní a opakované aplikace (Pavela 2011).

3.6 Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.)

Nejrozšířenější plodinou v České republice je pšenice setá. Zaujímá zde přibližně třetinu orné půdy a zároveň polovinu celkové plochy obilnin. 92 % pšenice se pěstuje ve formě ozimé,

zbylých 8 % poté připadá na pšenici jarní. Důvodem takto rozsáhlého pěstování pšenice je její velmi dobrá přizpůsobivost různým podmínkám, vysoká výnosnost a široká škála využití zrna (Holec et al. 2019).

3.6.1 Botanický popis

Pšenice setá patří mezi jednoleté odnožující trávy. Svazčité kořeny prorůstají do hloubky 25-50 cm, což pšenici řadí mezi mělce kořenící plodiny. Stéblo je duté a dorůstá výšky 40-160 cm. Listy jsou střídavé, čárkovité. Květenstvím je lichoklas složený z 8-20 klásků, které střídavě přisedají na klasové vřeteno. V každém klásku je uloženo 2-5 kvítků (Šašková 1993). Klas může být osinatý či bezosinný. Plevy a pluchy jsou vejčitého tvaru. Obilky jsou nahé, na průřezu oblé a na jednom konci ochmýřené. Obsahují přibližně 12,4 % bílkovin, 1,7 % tuku, 2,7 % vlákniny a 65,3 % glycidů. Z toho plyne, že je pšenice zrninou glycidovou s velmi příznivým poměrem bílkovin ku glycidům (Petr et al. 1997).

3.6.2 Technologie pěstování

Pšenice má sice široký areál pěstování, ale je třeba definovat optimální podmínky, za kterých dosáhneme nejvyšších výnosů s požadovanou jakostí za co nejnižší náklady (Petr et al. 1997). Pšenice je plodina vyžadující úrodné půdy (Šašková 1993). Nejvhodnější pro její pěstování jsou černozemě, půdy hlinité (Šarapatka et al. 2006) a jílovitohlinité (Šašková 1993) s drobtovitou strukturou. Takové půdy se vyskytují v kukuřičném, řepařském a lepším bramborařském výrobním typu (Petr et al. 1997).

Ozimá pšenice je ze všech obilnin nejnáročnější na předplodinu. Vhodnost předplodiny posuzujeme dle vlastní předplodinové hodnoty a dle doby sklizně, aby se následně stihl založit porost ozimé pšenice (Petr et al. 1997). Nejvhodnějšími předplodinami jsou víceleté porosty jetelotrav, dále luskoviny, které v půdě zanechávají dostatek živin, především dusíku. Vhodné jsou též organicky hnojené plodiny (brambory) a olejniny. Vzhledem k výskytu houbových chorob není vhodné zařazení po obilninách (Šarapatka et al. 2006).

Optimální doba setí ozimé pšenice je mezi 15. 9. až 15. 10. V méně příznivých podmínkách se seje časněji než v úrodnějších oblastech. Výsevek se pohybuje okolo 400-450 klíčivých semen na m², což je přibližně 180-220 kg/ha (Šarapatka et al. 2006). Hloubka setí je 3-5 cm. Obvyklá šířka řádků 12,5 cm (Petr et al. 1997).

Pšenice se sklízí v plné zralosti přímou sklizní žací mlátičkou. Optimální sklizňová vlhkost je do 14 %. Při opožděné sklizni se snižuje obsah a kvalita lepku (Šarapatka et al. 2006).

3.6.3 Využití

Vedle rýže je pšenice nejpoužívanější obilovinou v lidské výživě. Z potravinářské pšenice získává lidstvo až 21 % energie (Petr et al. 1997). Ze zrna se získává škrob, etanol a pšeničná mouka, která nachází uplatnění při výrobě kynutého a nekynutého pečiva. Pro potravinářské účely se pěstují odrůdy pšenice řazené do skupin dle pekařské jakosti (Holec et al. 2019). Nejvyšší je elitní pšenice E, dále kvalitní pšenice A a chlebová pšenice B (Petr et al. 1997).

Široké uplatnění nachází pšenice ve výživě hospodářských zvířat. Krmné obilí je samostatný užitkový směr, který má své jakostní ukazatele, podmiňující dobrou konverzi živin, vysoké přírůstky a dobrý zdravotní stav zvířat (Petr et al. 1997).

Pšeničná sláma slouží jako podestýlka pro hospodářská zvířata (Šašková 1993), vyrábí se z ní celulóza, lepenky a desky anebo se spaluje. Průmyslově se využívá k výrobě škrobu s následným využitím v papírenském průmyslu, při výrobě plastů a alkoholu (Petr et al. 1997).

3.6.4 Ochrana proti škůdcům

Nejvýznamnějším preventivním opatřením pro potlačení chorob a škůdců je dodržení dobře sestaveného osevního postupu (Šarapatka et al. 2006) a způsob a vhodná doba zpracování půdy (Petr et al. 1997). Důležitá je také volba odolné odrůdy. Občas lze výskyt škůdců omezit likvidací plevelů, některé druhy trav totiž bývají škůdci často napadány (Šarapatka et al. 2006).

Zásah pesticidy je založen na sledování výskytu škodlivých činitelů a růstu a vývoje porostu. Pokud rozsah napadení chorobou či počet škůdců překročí práh škodlivosti, zvolí se vhodný přípravek, jeho dávka a doba aplikace (Petr et al. 1997).

3.6.5 Vliv škůdců na výnos

Světové výnosy zrna pšenice ozimé se pohybují okolo 2,3-2,6 t/ha (Petr et al. 1997). Výnosy však nepříznivě ovlivňují plevele, choroby a škůdci (Šašková 1993).

Za velmi významné škůdce na obilninách lze považovat mšice, jejichž přítomnost se projevuje snížením výnosu, případně i kvality zrna. Mšice při podzimní migraci přenášejí viry především na vzcházející a odnožující ozimy. Nejrozšířenějším virem je virus žluté zakrslosti ječmene (BYDV), který na obilninách způsobuje zakrslost a u ječmene žloutnutí listů. Virus může u náchylných odrůd pšenice snížit výnos až o 50-60 %. U silně náchylných odrůd ječmene může dojít ke ztrátě až 100 % (Honěk et al. 2021).

Kromě mšic se na obilninách vyskytuje mnoho dalších škůdců, ale jejich vliv na výnos je v současné době spíše nevýrazný. Například 22-26 larev kohoutka černohlavého na 100 stébel pšenice ozimé může způsobit ztráty na výnosu ve výši 4 % (Honěk et al. 2021).

3.7 Kyjatka travní (*Metopolophium dirhodum* Walker)

3.7.1 Popis

Bezkrídle samičky jsou velké průměrně 2,8-3 mm a mají zelenou barvu s tmavým pruhem na dorzální straně těla. Okřídlené samičky mají tmavou hlavu a hrud' (Kazda et al. 2010). Ve střední Evropě je *M. dirhodum* nejhojnějším druhem mšic na obilninách. (Honěk et al. 2018). Vyskytuje se výhradně na spodní straně listů, v případě zkroucených listů i na straně svrchní (Honěk et al. 2021).

Rozmnožování mšic je označováno jako rodozměna. Většinu roku se mšice rozmnožují partenogeneticky a jsou živorodé. Na jaře se z přezimujících vajíček na primární hostitelské rostlině vyvinou bezkrídle samičky, které se po několik generací partenogeneticky množí. V potomstvu se postupně začínají objevovat okřídlené samičky, které přelétávají na sekundární hostitelské rostliny, kde zakládají početné kolonie povětšinou bezkrídlych mšic. Na podzim při

poklesu teplot odlétá okřídlená samička na primární hostitelskou rostlinu, kde se partenogeneticky množí. Na sekundární rostlině se rodí okřídlený sameček, a to pouze jednou za celý rok. Sameček poté přelétává na primární hostitelskou rostlinu, kde se spáří se samičkou, která naklade přezimující vajíčka (Kazda et al. 2007). Primárními hostitelskými rostlinami mšice travní jsou růže, sekundárními hlavně obilniny, trávy a často i kukuřice (Kazda et al. 2010).

3.7.2 Škodlivost mšic

Mšice jsou jedním z nejničivějších škůdců téměř všech pěstovaných plodin (Ikbal & Pavla 2019). Škodí sáním, především na nadzemních částech rostlin, odnímají z rostlin velké množství tekutin a vylučují medovici, která je potravou pro mravence. Mravenci pak chrání kolonie mšic proti přirozeným nepřátelům. Sání mšic způsobuje deformace pletiv a také bývá doprovázeno změnou barvy poškozených míst (Kazda et al. 2007). Kromě oslabení rostliny sáním působí mšice jako přenašeči mnoha rostlinných virů (Ikbal & Pavla 2019).

Vzhledem ke krátkému životnímu cyklu mohou mít mšice za optimálních podmínek až přes 40 generací ročně, což znamená, že jedna samice může teoreticky vyprodukovat miliardy potomků (Ikbal & Pavla 2019).

Dle Honěk et al. (2018) je četnost *M. dirhodum* silně ovlivněna kvalitou porostu. Tento druh ohrožuje zejména řídkší porosty ozimé pšenice, zatímco husté porosty jsou obvykle méně zranitelné.

3.7.3 Ochrana proti mšicím

Při prvním zjištění výskytu mšic je třeba aplikovat insekticid (Kazda et al. 2007). Aplikují se zejména insekticidy na bázi pyretroidů, neonikotinoidů a karbamátů (Ikbal & Pavla 2019). Postřiky je nutné dle potřeby opakovat a také často měnit, jelikož některé druhy mšic se staly vůči insekticidům velmi rezistentní (Kazda et al. 2007).

Další možností je podpora přirozených nepřátel mšic, jako jsou dospělci a larvy slunéček, larvy pestřenek, zlatooček a mšicomarů. Pro jejich ochranu je třeba omezit používání běžných insekticidů, případně používat selektivní přípravky. Obvykle stačí první aplikace insekticidu a poté již oslabenou populaci zlikvidují přirození nepřátelé (Kazda et al. 2007).

Mezi rostlinné přípravky s insekticidními účinky patří esenciální oleje. Odpuzují mšice, mohou snižovat jejich reprodukci či jinak omezovat rozvoj jejich kolonií. Navíc některé seskviterpeny inhibují potravní aktivitu mšic anebo přitahují parazitické vosy, které napadají kolonie mšic (Ikbal & Pavla 2019). Ve studii Ikbal & Pavla (2019) bylo prokázáno, že esenciální oleje z rostlin *Foeniculum vulgare* Mill., *Mentha x piperita* L., *Mentha pulegium* L., *Ocimum basilicum* L. a *Pimpinella anisum* L. vykazují vynikající účinnost při kontaktní i fumigační aplikaci a mohou být považovány za zdroj účinných látek pro vývoj botanických aficidů.

3.8 Blahovičník kulatoplodý (*Eucalyptus globulus* Labill.)

3.8.1 Botanický popis

Eucalyptus, z čeledi myrtovité (*Myrtaceae*), byl objeven roku 1792 na ostrově Tasmánie. Tasmánské eukalyptové lesy patřily v té době mezi nejvyšší na světě, některé stromy dosahovaly výšky až 101 m (Hardel & Sahoo 2011). Listy mladých stromů jsou okrouhlé, pokryté voskovou vrstvou. Svrchní strana má šedozelenomodrou barvu, spodek listu je téměř bílý. Oproti tomu listy starších jedinců dosahují délky až 30 cm, mají kopinatý, srpovitě ohnutý tvar vybíhající v dlouhou špičku. Čepele listů směřují svisle dolů, což zajišťuje příjem slunečního svitu z obou stran. Průduchy se nachází na obou stranách listů a díky tomu je blahovičník schopen vypařit velké množství vody (Bühning 2010). Květy se skládají z tyčinek bílé, žluté, růžové nebo červené barvy. V pupenu jsou tyčinky uzavřeny srostlými kališními lístky (Hardel & Sahoo 2011). Šedozelená borka se každý rok v dlouhých pruzích odlupuje a zanechává po sobě červenohnědé zbarvení kmene (Bühning 2010).

3.8.2 Využití

V minulosti se produkty z blahovičníku využívaly ve farmacii a potravinářství. Dnes je eukalyptus hlavně součástí parfémů. Eukalyptové dřevo se používá na stavby, výrobu papíru či jako palivo (Vecchio et al. 2016). Dříve však bylo velmi žádané pro výrobu železničních pražců, dlažebních kostek a důlních výztuží (Hardel & Sahoo 2011).

Má antiseptické, antibakteriální a antioxidační účinky. Dle Vecchio et al. (2016) má eukalyptový olej potenciál jako přírodní konzervační látka pro potravinářský a farmaceutický průmysl. Používá se při léčbě respiračních onemocnění, nachlazení a chřipky (Vecchio et al. 2016). Esenciální olej z eukalyptu patří mezi 18 nejobchodovanějších olejů na světě (Shala & Gururani 2021).

3.8.3 Obsahové látky

Eukalyptus obsahuje silice, trísloviny, saponiny, flavonoidy a další fytochemikálie. Bohatým zdrojem silic jsou listy. Výtěžek esenciálního oleje se pohybuje od 1 do 3 %. Esenciální olej má světle žlutou barvu a příjemnou kafrovou vůni. Obsahuje 20 až 54 složek, z nichž hlavní je 1,8-cineol, též známý pod názvem eukalyptol (Shala & Gururani 2021). Složení oleje se může značně lišit v závislosti na ročním období a zeměpisné poloze (Vecchio et al. 2016).

3.8.4 Insekticidní účinky

Esenciální olej má kontaktní a fumigantní insekticidní účinek na skladištní škůdce. Dobrá účinnost byla zaznamenána proti *Rhyzopertha dominica* (Fabricius), *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) a *Tribolium castaneum* (Herbst) (Russo et al. 2015). Studie Kumar et al. (2012) prokázala dobrou aktivitu vůči larvám a kuklám mouchy domácí (*Musca domestica* Linnaeus). Vyšší mortalitu vykazovala fumigační aplikace oproti aplikaci kontaktní.

3.9 Fenykl obecný (*Foeniculum vulgare* Mill.)

3.9.1 Botanický popis

Fenykl obecný je dvouletá, ve vhodných podmínkách i vytrvalá, bylina z čeledi miříkovitých (*Apiaceae*). Původně byl rozšířen zejména v jižní Evropě, konkrétně ve Středomoří (Small 2006), a Přední Asii. Dnes se vyskytuje po celé Evropě, Asii a na některých místech v Americe a Africe (Bühning 2010). Rostlina může dosahovat výšky 2 metry (Small 2006). Z dutého stonku vyrůstají jemné, zpeřené listy o délce až 40 cm. Kvete v červenci a srpnu malými žlutými květy, které tvoří okolík (Badgular et al. 2014). Plodem jsou žlutavě zelenohnědé dvounažky (Bühning 2010) podlouhlého tvaru, široké 1,5-2 mm a dlouhé 3-5 mm. K dozrávání semen dochází od září do října (Badgular et al. 2014).

3.9.2 Využití

Fenykl patří mezi hlavní koření využívané v kašmírské a gudžarátské kuchyni. Jeho semena mají aroma připomínající anýz, a proto se využívají v rybích a masových pokrmech, alkoholických nápojích či bylinných směsích (Rather et al. 2016). Je jedním z nejlepších rostlinných zdrojů draslíku, sodíku, fosforu a vápníku (Badgular et al. 2014). Listy a stonky se syrové přidávají do salátů a polévek. Květy se využívají při výrobě pálenky, stonky slouží jako konzervant potravin (Barros et al. 2010).

V Číně je fenykl důležitou součástí tradiční čínské medicíny. Má diuretické, analgetické a stimulační účinky. Je zdrojem přírodních antioxidantů (He & Huang 2011). V kombinaci se studenou vodou zmírňuje nevolnost a zvracení. Esenciální olej má silné antibakteriální účinky (Rahimi & Ardekani 2013), zlepšuje zrak, snižuje stres a podporuje laktaci (Pavela et al. 2016).

3.9.3 Obsahové látky

Mezi obsahové látky fenyklu patří silice, mastné kyseliny, třísloviny, flavonoidy, kumariny a mnohé další sloučeniny (He & Huang 2011).

V semenech je průměrně obsaženo 3,5 % silic, jejichž hlavní složkou je trans-anetol a fenchon. Trans-anetol se podílí na charakteristické vůni a chuti, fenchon způsobuje trpkou chuť semen (Small 2006).

Plody fenyklu obsahují přibližně 20 % mastných kyselin, z nichž je nejvýznamnější kyselina petroselinová. Její obsah se pohybuje v rozmezí 70-80 % (He & Huang 2011).

3.9.4 Insekticidní účinky

Fenyklové éterické oleje vykazují značné insekticidní, fungicidní a baktericidní účinky, proto nachází uplatnění v ochraně rostlin (Pavela et al. 2016). Bylo zjištěno, že poskytují vysokou účinnost proti *Myzus persicae* (Sulzer), bez významného poškození necílových organismů (Pavela 2018).

3.10 Chmel otáčivý (*Humulus lupulus* L.)

3.10.1 Botanický popis

Chmel, náležící do čeledi konopovité (*Cannabaceae*), je dvoudomá popínavá rostlina dosahující výšky 5,5 m, ve volné přírodě i mnohem více (Small 2006). Původně se vyskytoval v jižní Evropě a jihozápadní Asii a postupně se rozšiřoval do všech zemí mírného klimatického pásma (Bühning 2010). Rostlina se pravotočivě ovíjí kolem opory za pomoci háčkovitých chlupů umístěných na lodyhách (Small 2006). Pod zemí se nachází dužnaté oddenky, z nichž každé jaro vyraší nové chmelové výhony. Listy, rozdělené do 3 až 7 laloků, jsou pokryty drsnými chlupy (Bühning 2010). Samčí květy vytváří laty, samičí vejčité šištice. Šupiny šištice jsou pokryty lupulinovými žlázkami, v nichž jsou uloženy účinné látky chmele. Plodem je nažka, která obsahuje až 1/3 aromatických kyselin. Chmel se množí převážně vegetativně a pěstuje se z oddenkových řízků (Small 2006).

3.10.2 Využití

Vaření piva je považováno za nejstarší biotechnologický proces na světě. Hlavní součástí piva je chmel. Přidává se v různých fázích procesu vaření pro jeho hořkou chuť a vůni. Kromě chuti vytvářejí a stabilizují chmelové kyseliny pивní pěnu (Korpelainen & Pietiläinen 2021).

Mladé výhony mají velmi nízký obsah tuku a jsou dobrým zdrojem vlákniny, bílkovin a vitamínu C (Rossini et al. 2021). Používaly se při vaření nebo se syrové přidávaly do zeleninových salátů (Small 2006).

Stonky jsou bohaté na lýková vlákna, která se dají použít pro výrobu papíru a lan (Rossini et al. 2021). Silice se používají při aromatizaci tabáku, cukrovinek, pudinku a nápojů. Výtažky z chmele se přidávají do šamponů a pleťových krémů (Small 2006).

Chmel má antikarcinogenní, antimikrobiální a antioxidační účinky. Po staletí byl používán jako lék na malomocenství, zažívací potíže a ušní infekce (Rossini et al. 2021). V tradiční čínské medicíně se používá při léčbě nespavosti, neklidu a nechutenství. V aromaterapii při dýchacích potížích a péči o pleť (Zanoli & Zavatti 2008).

3.10.3 Obsahové látky

Chmelové šištice jsou bohaté na pryskyřice, silice, bílkoviny a polyfenoly. Pryskyřice jsou tvořeny 2 hořkými kyselinami: α -kyselinou (3-17 %) a β -kyselinou (2-7 %). Mezi složky α -kyselin patří humulon, kohumulon, adhumulon, u β -kyselin je to lupulon, kolupulon a adlupulon (Astray et al. 2020). Tyto kyseliny ovlivňují hořkost piva, je proto důležité znát jejich přesný obsah, který se může značně lišit v závislosti na odrůdě (Small 2006). Silice poskytují chmelu charakteristickou vůni a tvoří 0,5-3 % sušeného chmele. Jejich nejpočetnějšími složkami jsou myrcen a pinen (Astray et al. 2020).

3.10.4 Insekticidní účinky

Esenciální oleje účinkují proti skladištním a hmyzím škůdcům. Jako zdroj chmelového oleje je možné použít chmel, který je vedlejším produktem pivovarnického průmyslu (Korpelainen & Pietiläinen 2021). Výsledky Bedini et al. (2015) dokazují značné odpudivé účinky na *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) a *Sitophilus granarius* (Linnaeus).

3.11 Šalvěj lékařská (*Salvia officinalis* L.)

3.11.1 Botanický popis

Šalvěj náleží k čeledi hluchavkovité (*Lamiaceae*). Pochází z oblasti Balkánu a pobřeží Jaderského moře. Daří se jí na suchých březích, proto je dnes hojně rozšířena v jižní Evropě. *Salvia* je vytrvalý polokeř dosahující výšky 15-80 cm (Small 2006). Po obvodu vroubkované listy jsou před sluncem chráněné šedou plstí chlupů. Spodní strana listu je poseta olejovými žlázkami obsahujícími silice. Kvete od konce května modrofialovými květy, které vytváří lichoklasy (Bühning 2010).

3.11.2 Využití

Rostlina má využití v potravinářství, kosmetice, parfumerii a farmaceutickém průmyslu (Verma et al. 2015).

V západní kuchyni se používá do drůbežích nádivek, k ochucení masa, uzenin a ryb (Sharma et al. 2019). Listy se přidávají do omelet, sýra, omáček a polévek. Jsou také součástí bylinných směsí. Jako koření se šalvěj přidává do mnoha potravinářských výrobků včetně cukrovinek, pečiva a vermutu (Small 2006). Díky antimikrobiálnímu účinku slouží jako konzervační látka (El-Feky & Aboulthana 2016).

Silice je pro své antiperspirační účinky součástí zubních past, ústních vod a deodorantů (Small 2006).

V lidovém lékařství Asie a Latinské Ameriky se šalvěj používá k léčbě vředů, zánětů, dny, revmatismu. V Evropě pak při nadýmání, pálení žáhy nebo nadměrném pocení (Ghorbani & Esmaeilizadeh 2017). Tradičně se využívá při léčbě horečky či při poruchách trávení. Je bohatým zdrojem antioxidantů (Verma et al. 2015). Listy a esenciální oleje mají antiseptické účinky (Raal et al. 2007). Čaj z šalvěje pomáhá při kašli, astmatu, depresi (Hamidpour et al. 2014).

3.11.3 Obsahové látky

Silice, obsažená v šalvěji, je bezbarvá s výraznou vůní a jemně hořkou chutí. Její výtěžek se pohybuje okolo 2,5 % (Small 2006). V esenciálním oleji bylo detekováno více než 120 složek, z nichž mezi hlavní patří borneol, kafr, 1,8-cineol, thujon (Ghorbani & Esmaeilizadeh 2017). Složení se ale může značně lišit v závislosti na oblasti výsadby a době sběru (Feky & Aboulthana 2016). Šalvěj je zdrojem flavonoidů a polyfenolických sloučenin, jako je kyselina karnosová, kyselina rozmarýnová a kyselina kávová. Tyto látky vykazují antioxidační a antibakteriální účinky (Hamidpour et al. 2014).

3.11.4 Insekticidní účinky

Esenciální olej vykazuje silnou ochranu proti *Aphis fabae* (Scopoli). Byly prokázány insekticidní a repelentní účinky šalvěje proti mšicím, komárům, broukům a mûrám (Harizia et al. 2021). Šalvěj působí proti choroboplodným zárodkům a také se dodnes věší do skříní jako ochrana před moly (Bühning 2010).

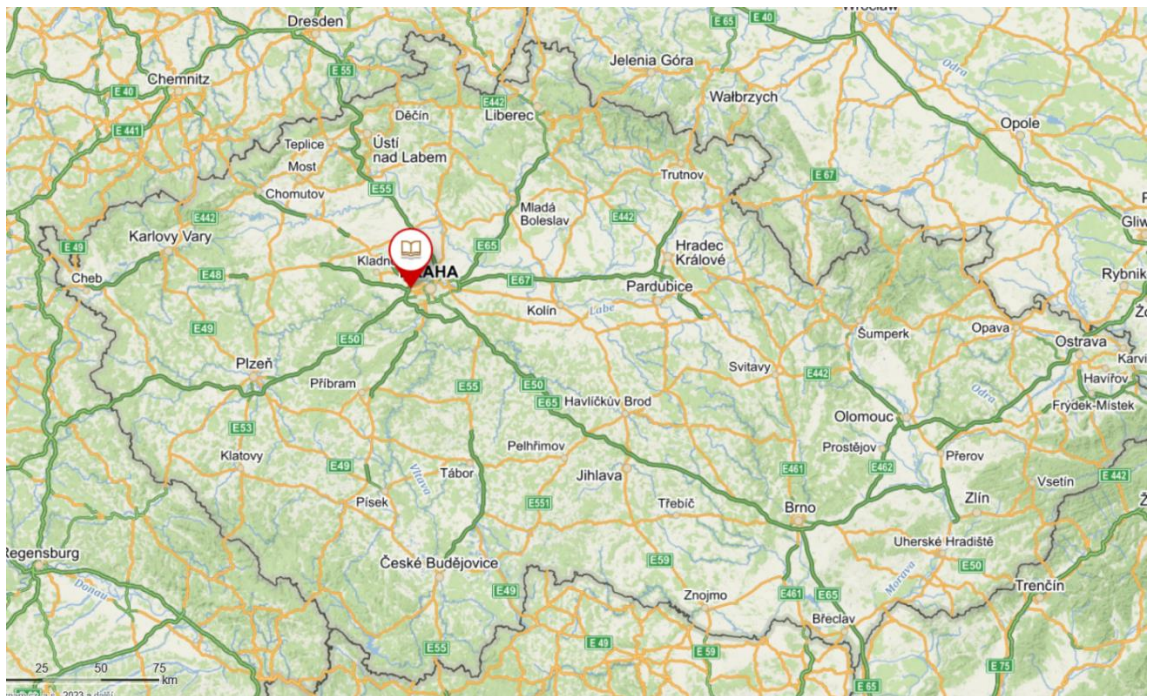
4 Metodika

Během roku 2022 byly ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v. v. i. v Ruzyni prováděny pokusy na účinnost extraktů vybraných druhů rostlin na mortalitu kyjatyky travní. Pokusy probíhaly pod vedením doc. Ing Romana Pavely, PhD.

4.1 Charakteristika experimentálního prostředí

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. (dále jen VÚRV) se nachází v Ruzyni, v městské části Praha 6. Ústav byl založen s účinností od 1. 1. 1951 a je v České republice největším pracovištěm aplikovaného výzkumu zaměřeného především na rostlinnou výrobu. Cílem VÚRV je získat vědecké poznatky pro podporu rozvoje zemědělství. Výsledky výzkumů se uplatňují při zvyšování efektivity rostlinné výroby při minimálních negativních dopadech na životní prostředí a zdraví člověka (Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. 2021).

Pokusy byly provedeny v laboratorních podmínkách při teplotě 21 ± 3 °C a relativní vlhkosti 65 ± 5 %. Za stejných podmínek byl ve skleníku VÚRV pěstován rostlinný materiál.



Obrázek 1: Označení VÚRV na mapě (zdroj: mapy.cz).

4.2 Cílový organismus

Dospělci *M. dirhodum* byli získáni z laboratorních chovů VÚRV, kde byli chováni na rostlinách pšenice seté pěstované v hranatých květináčích ve větraných klecích o rozměrech 50 x 60 x 50 cm. Chov probíhal při teplotě 21 ± 3 °C, fotoperiodě 16 hodin světla a 8 hodin tmy a vzdušné vlhkosti 65 ± 5 %.

Pro testy byli vybráni pouze bezkřídlí dospělci o velikosti přibližně 2,2 – 3,5 mm.



Obrázek 2: *M. dirhodum* na pšenici seté (foto: vlastní).

4.3 Použitý rostlinný materiál

4.3.1 Pšenice setá

Pro pokusy bylo použito osivo pšenice seté ozimé, konkrétně odrůda RGT Reform. Pšenice byla pěstována v kruhových květináčích o průměru 9 cm, kdy do jednoho květináče bylo vždy vyseto 9 semen. Jako pěstební substrát se použil Zahradnický univerzální substrát B od firmy Rašelina Soběslav. Po výsevu se květináče ponechaly ve skleníku a pravidelně se zalévaly, aby byl substrát neustále vlhký. Po 5 dnech od vysetí, což odpovídá BBCH 11 a výšce rostlin přibližně 8-10 cm, byly rostliny použity pro pokusy.

4.3.2 Rostliny pro přípravu extraktů

Pro přípravu extraktů byly použity rostliny využívané v potravinářství, konkrétně *E. globulus*, *F. vulgare*, *H. lupulus* a *S. officinalis*. Rostlinný materiál byl nakoupen u firmy BYLINY Mikeš s. r. o. Části rostlin použité pro extrakci jsou uvedeny v tabulce 1.

| Název druhu | Čeleď | Část rostliny |
|------------------------------------|--------------------|---------------|
| <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. | <i>Myrtaceae</i> | list |
| <i>Foeniculum vulgare</i> Mill. | <i>Apiaceae</i> | plod |
| <i>Humulus lupulus</i> L. | <i>Cannabaceae</i> | květ |
| <i>Salvia officinalis</i> L. | <i>Lamiaceae</i> | nať |

Tabulka 1: Použité části rostlin.

4.4 Příprava extraktů

Části rostlin, vybraných pro přípravu extraktů, byly nejprve rozdrobeny na drobné kousky pomocí laboratorního mixéru. Následně se po dobu 24 hodin macerovaly ve skleněné nádobě v poměru 1 díl rozemleté rostlinné biomasy ku 10 dílům vody jakožto rozpouštědla. Macerace probíhala při pokojové teplotě a směs byla jednou za čas promíchána. Po skončení macerace byla směs přefiltrována pomocí filtračního papíru. Vzniklý extrakt byl následně do 24 hod od ukončení macerace použit v testech.

4.5 Biologické testy

Testy byly provedeny na bezkřídlých dospělých kyjatky travní, kteří byli pomocí štětečku přeneseni na rostliny pšenice seté ve fázi vývoje dle BBCH 11. Na těchto rostlinách poté došlo k ošetření extrakty.

Extrakty získané z *E. globulus*, *F. vulgare*, *H. lupulus* a *S. officinalis*, které byly připraveny dle postupu popsáno výše, se aplikovaly ve 100% koncentraci. Jako kontrola byla použita čistá voda. Do každého květináče bylo na rostliny pšenice naneseno 10 dospělců kyjatky travní, na které se poté pomocí ručního rozprašovače aplikoval extrakt tak, aby byla těla cílového organismu pokryta. Každý postřík byl aplikován ve 3 opakováních. Aby nedošlo k úniku jedinců, byly kyjatky po skončení aplikace izolovány plastovými kelímky s odříznutým dnem, které bylo nahrazeno monofilem pro cirkulaci vzduchu (viz obr. 3). Po 24 hodinách byla zjištěna mortalita mšic považovaná za projev akutní toxicity extraktů. Následně byl 3. den od aplikace spočítán počet přeživších dospělců a nymf. Pokud mšice nereagovala na dotek pinzety, byla považována za uhynulou.

Extrakt, který vykazoval nejvyšší mortalitu, byl následně aplikován v koncentrační řadě, kdy byla poté pomocí probitové analýzy odhadnuta letální koncentrace (LC_{50} , LC_{90}). Pro vytvoření koncentrační řady byl vybrán extrakt z *H. lupulus*, který byl ředěn vodou na požadované koncentrace a dále aplikován stejným způsobem, jaký je popsán výše. Do každého květináče bylo tentokrát umístěno 20 dospělců kyjatky travní a postřík byl aplikován ve 4 opakováních pro zajištění přesnějších výsledků.

Pro větší přesnost pokusu byl stanoven obsah biologicky aktivních látek ve 100% koncentracích jednotlivých extraktů. Pro zjištění těchto látek byl z macerátu odebrán vzorek, který se v sušárně sušil po dobu 48 hod při teplotě 80 °C. Na přesné laboratorní váze se zvažila hmotnost váženky před vysušením a po vysušení, spočítala se hmotnost sušiny a poté % výtěžnosti a obsah biologicky aktivních látek v mg/ml.



Obrázek 3: Zakryté květináče s dospělci kyjatyky travní (foto: vlastní).



Obrázek 4: Počítání nymf a přeživších dospělců 24 hodin po aplikaci (foto: vlastní).

4.6 Statistické metody

Pro stanovení toxicity testovaných přípravků na *M. dirhodum* byla mortalita jedinců počítána 24 hodin a 3 dny od aplikace postřiku. Mortalita byla přepočtena dle Abbottova vzorce (Abbott 1925) a vyjádřena v průměrných hodnotách s vypočtenou směrodatnou odchylkou.

Přepočet mortality v %:

$$= \left(1 - \frac{\text{počet přeživších jedinců po aplikaci postřiku}}{\text{počet živých jedinců před aplikací postřiku}}\right) * 100$$

Poté byla pomocí počítačového programu BioStat Pro 5.9.8 provedena probitová analýza závislosti mortality na dávce účinné látky. Tím byly odhadnuty dávky letálních koncentrací (LC₅₀ a LC₉₀) a s nimi spojené 95% intervaly spolehlivosti (CI₉₅) pro každý testovaný přípravek.

Dále byl spočítán vliv extraktů na fertilitu dle vzorce:

$$= 100 - \left(\frac{\text{počet narozených nymf u ošetřeného opakování}}{\text{počet narozených nymf v kontrole}} * 100\right)$$

Hodnoty pro výpočet inhibice byly brány zvlášť pro každé opakování, a nakonec byly pro každý extrakt zprůměrovány.

5 Výsledky

5.1 Obsah biologicky aktivních látek

Pro každý extrakt byl stanoven obsah ve vodě extrahovatelných látek. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

| Název druhu | Obsah účinných látek v mg/ml |
|----------------------------|------------------------------|
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 16,5 |
| <i>Foeniculum vulgare</i> | 12,7 |
| <i>Humulus lupulus</i> | 23,9 |
| <i>Salvia officinalis</i> | 20,2 |

Tabulka 2: Obsah biologicky aktivních látek v extraktech z vybraných druhů sušených rostlin.

Bylo zjištěno, že nejvyšší obsah účinných látek obsahoval extrakt z *H. lupulus*, a to 23,9 mg/ml. Tento extrakt byl zároveň vybrán jako nejúčinnější a byl aplikován v koncentrační řadě. Téměř o polovinu menší výtěžnost měl extrakt z *F. vulgare*, který obsahoval 12,7 mg/ml účinných látek.

5.2 Účinnost extraktů na mortalitu

Poté byla srovnávána biologická účinnost extraktů z eukalyptu, fenyklu, chmele a šalvěje na mortalitu *M. dirhodum*. Jako kontrola byla použita voda. Mortalita byla hodnocena 24 hodin a poté 72 hodin od aplikace extraktu. Výsledky testů jsou zpracovány v tabulce 3.

| Extrakt | Mortalita (%) ± SE | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | po 24 hodinách od aplikace | po 72 hodinách od aplikace |
| Kontrola (voda) | 0,00 ± 0,00 | 3,33 ± 4,71 |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 16,67 ± 4,71 | 30,00 ± 8,16 |
| <i>Foeniculum vulgare</i> | 26,67 ± 9,43 | 43,33 ± 4,71 |
| <i>Humulus lupulus</i> | 96,67 ± 4,71 | 96,67 ± 4,71 |
| <i>Salvia officinalis</i> | 20,00 ± 8,16 | 30,00 ± 8,16 |

Tabulka 3: Účinnost extraktů z vybraných rostlin na mortalitu kyjatky travní.

Všechny extrakty, s výjimkou chmele, vykazovaly vyšší mortalitu až po delší době od aplikace. Nejvýraznější nárůst účinnosti byl pozorován u *F. vulgare*, kdy 24 hodin od aplikace byla mortalita 26,67 % a po dalších 2 dnech se zvýšila o 16,66 %.

V testech prokázal největší účinnost extrakt z *H. lupulus*, který po 24 hodinách a poté i po 3 dnech od aplikace dosahoval mortality 96,67 % s minimální odchylkou. Nejnižší účinnost byla pozorována u extraktu z *E. globulus*, kde mortalita po 24 hodinách dosahovala 16,67 % a po 72 hodinách 30 %. Eukalyptový extrakt není smáčivý, tudíž hůře ulpíval na povrchu pšenice seté. To může být důvodem, proč dosahoval takto nízké účinnosti vůči *M. dirhodum*.

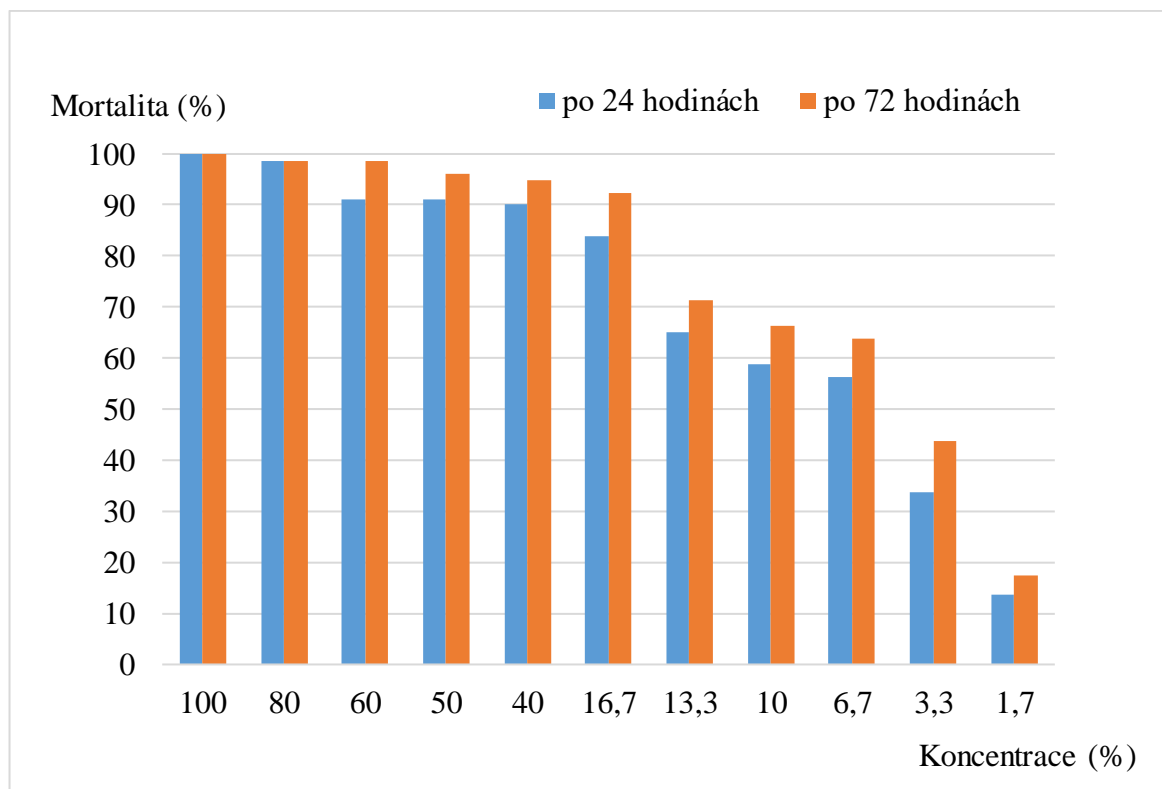
5.3 Koncentrační řada

Pro tvorbu koncentrační řady byl na základě předchozích výsledků vybrán *H. lupulus*. Extrakt byl postupně ředěn vodou na nižší koncentrace a poté byla zjišťována účinnost těchto koncentrací na mortalitu, což zobrazují tabulka 4 a graf 1.

| Koncentrace extraktu <i>H. lupulus</i> (%) | Obsah účinných látek ve zředěném extraktu (mg/ml) | Mortalita (%) | |
|--|---|----------------------------|----------------------------|
| | | po 24 hodinách od aplikace | po 72 hodinách od aplikace |
| 100 | 23,9 | 100,00 ± 0,00 | 100,00 ± 0,00 |
| 80 | 19,12 | 98,75 ± 2,17 | 98,75 ± 2,17 |
| 60 | 14,34 | 91,25 ± 2,17 | 98,75 ± 2,17 |
| 50 | 11,95 | 91,25 ± 4,15 | 96,25 ± 4,15 |
| 40 | 9,56 | 90,00 ± 3,54 | 95,00 ± 3,54 |
| 16,7 | 3,98 | 83,75 ± 7,40 | 92,50 ± 5,59 |
| 13,3 | 3,19 | 65,00 ± 3,54 | 71,25 ± 5,45 |
| 10 | 2,39 | 58,75 ± 4,15 | 66,25 ± 4,15 |
| 6,7 | 1,59 | 56,25 ± 5,45 | 63,75 ± 4,15 |
| 3,3 | 0,79 | 33,75 ± 7,40 | 43,75 ± 4,15 |
| 1,7 | 0,39 | 13,75 ± 6,50 | 17,50 ± 10,31 |
| Kontrola (voda) | - | 2,5 ± 3,54 | 3,13 ± 3,48 |

Tabulka 4: Účinnost extraktu z *H. lupulus* na kyjátku travní v různých koncentracích.

Podle předpokladu byla výše mortality závislá na koncentraci. Lze tedy říci, že čím nižší byla koncentrace roztoku, tím nižší byla účinnost extraktu na mortalitu *M. dirhodum*. Při 100% koncentraci vykazoval extrakt 24 hodin od aplikace mortalitu 100 %, naopak při nejnižší zkoumané koncentraci (1,7% roztok) dosahovala mortalita pouze 13,75 %.



Graf 1: Závislost mortality dospělců *M. dirhodum* na koncentraci extraktu z *H. lupulus*.

5.4 Letální koncentrace

| (mg/ml) | LC ₅₀ | CI ₉₅ | LC ₉₀ | CI ₉₅ | Chi-square | p-level | Df |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|---------|----|
| 24 hodin | 1,49 | 1,26-1,75 | 8,02 | 5,90-12,57 | 1,857 | 0,762 | 4 |
| 72 hodin | 1,13 | 0,68-1,61 | 5,68 | 3,42-18,4 | 2,623 | 0,622 | 4 |

Tabulka 5: Letální koncentrace extraktu z *H. lupulus* na *M. dirhodum*.

Na základě výsledků koncentrační řady byly pomocí probitové analýzy odhadnuty letální koncentrace, které jsou uvedeny v tabulce 5.

Letální koncentrace (LC₅₀) 24 hodin po aplikaci byla odhadnuta na 1,49 mg/ml. Konfidenční interval spolehlivosti (CI₉₅) byl poté odhadnut na rozmezí od 1,26 do 1,75 mg/ml. LC₉₀ 72 hodin od aplikace byla odhadnuta na 8,02 mg/ml a konfidenční interval v rozmezí od 5,90 do 12,57 mg/ml.

5.5 Účinnost extraktů na fertilitu

Vliv extraktů na fertilitu kyjatky travní byl zjišťován na principu inhibice natality. 100% inhibice znamená, že se žádný jedinec nenarodil, a tudíž fertilita byla nulová. V následující tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty inhibice u vybraných extraktů.

| Extrakt | Inhibice (%) ± SE | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | po 24 hodinách od aplikace | po 72 hodinách od aplikace |
| Kontrola (voda) | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 51,16 ± 15,93 | 38,80 ± 8,75 |
| <i>Foeniculum vulgare</i> | 30,33 ± 25,88 | 36,74 ± 5,76 |
| <i>Humulus lupulus</i> | 98,67 ± 1,89 | 98,68 ± 1,86 |
| <i>Salvia officinalis</i> | 65,43 ± 4,62 | 55,80 ± 16,68 |

Tabulka 6: Účinnost extraktů z vybraných rostlin na fertilitu kyjatyky travní.

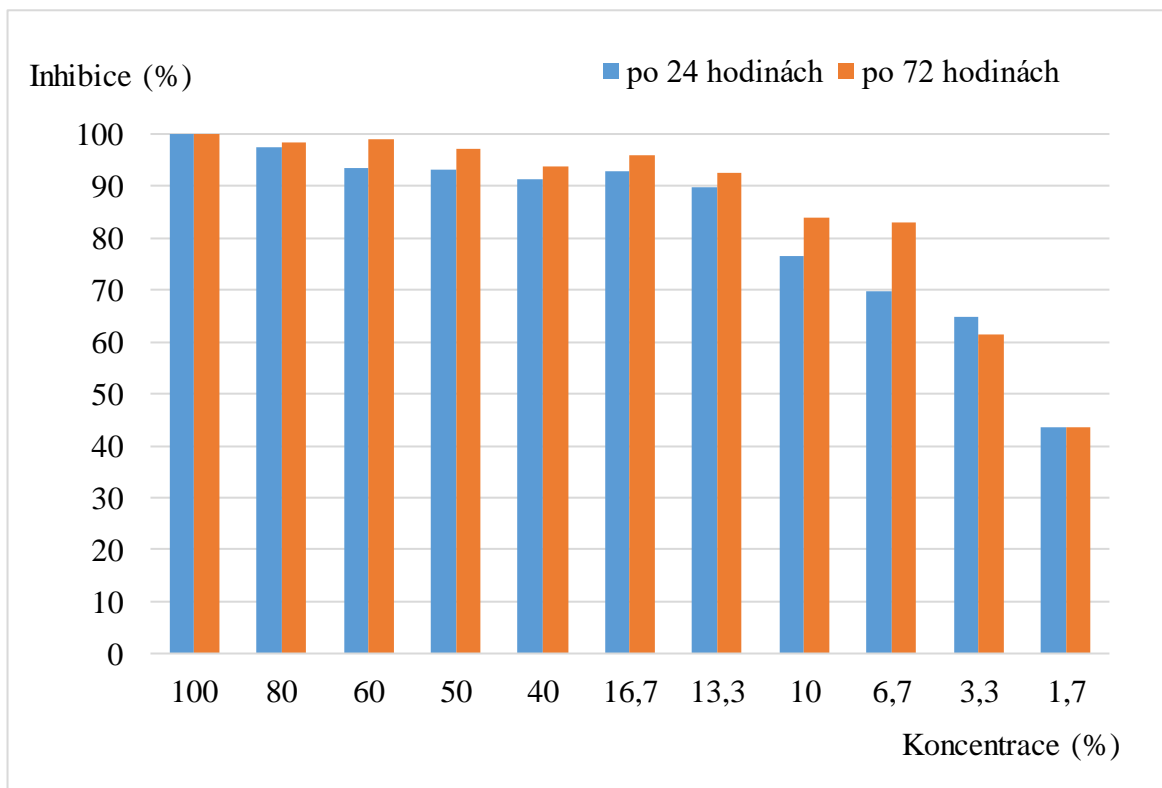
Extrakt z *H. lupulus*, který vykazoval nejvyšší účinek na mortalitu, vykazoval také nejvyšší inhibiční účinek na fertilitu kyjatyky travní. Hodnota inhibice byla po 24 hodinách 98,67 %. Naopak nejnižší % inhibice se vyskytovalo u *F. globulus*, kdy po 24 hodinách dosahovala inhibice 30,33 % a po 72 hodinách od aplikace 36,74 %. Z tabulky 6 lze vyčíst, že den po aplikaci extraktu z *E. globulus* a *S. officinalis* byla plodnost nižší než 3. den od aplikace.

5.6 Účinnost koncentrací extraktu z *H. lupus* na fertilitu

| Koncentrace extraktu <i>H. lupulus</i> (%) | Obsah účinných látek ve zředěném extraktu (mg/ml) | Inhibice (%) | |
|--|---|----------------------------|----------------------------|
| | | po 24 hodinách od aplikace | po 72 hodinách od aplikace |
| 100 | 23,9 | 100,00 ± 0,00 | 100,00 ± 0,00 |
| 80 | 19,12 | 97,32 ± 4,64 | 98,51 ± 2,59 |
| 60 | 14,34 | 93,38 ± 1,83 | 98,87 ± 1,24 |
| 50 | 11,95 | 93,03 ± 2,77 | 97,06 ± 1,86 |
| 40 | 9,56 | 91,27 ± 4,63 | 93,82 ± 3,21 |
| 16,7 | 3,98 | 92,97 ± 4,79 | 95,86 ± 0,91 |
| 13,3 | 3,19 | 89,83 ± 4,88 | 92,47 ± 3,74 |
| 10 | 2,39 | 76,57 ± 1,71 | 83,77 ± 3,48 |
| 6,7 | 1,59 | 69,73 ± 9,53 | 82,87 ± 4,88 |
| 3,3 | 0,79 | 64,90 ± 8,05 | 61,49 ± 9,99 |
| 1,7 | 0,39 | 43,55 ± 7,36 | 43,40 ± 10,24 |
| Kontrola (voda) | - | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 |

Tabulka 7: Účinnost extraktu z *H. lupulus* v různých koncentracích na fertilitu.

Schopnost extraktu inhibovat plodnost mšic byla závislá na koncentraci, viz tabulka 7. Při 100% koncentraci byla zjištěna inhibice 100 %. S klesající koncentrací klesalo i % inhibice a zároveň narůstala fertilita. Při nejnižší testované koncentraci byla inhibice po 24 hodinách 43,55 % a po 72 hodinách od aplikace extraktu 43,40 %. Výsledné hodnoty lze také vyčíst z grafu 2.



Graf 1: Závislost inhibice *M. dirhodum* na koncentraci extraktu z *H. lupulus*.

Modré sloupce značí průměrnou inhibici stanovenou 24 hodin po aplikaci jednotlivých koncentrací. Lze si všimnout klesajícího trendu, kdy se inhibice postupně snižuje. Oranžové sloupce vyobrazují inhibici určenou 72 hodin od aplikace postřiků.

6 Diskuze

Tato studie měla za cíl nalézt extrakt způsobující významnou mortalitu kyjatky travní, která je hojně rozšířeným škůdcem na obilninách (Honěk et al. 2018). U testovaných extraktů (*E. globulus*, *F. vulgare*, *H. lupulus*, *S. officinalis*) byla pozorována mortalita dospělců kyjatky travní 24 hodin a 3 dny od aplikace postřiku. Značně nejvyšší účinek vykazoval extrakt z *H. lupulus* (viz tabulka 3), který byl dále testován v koncentrační řadě. Na rozdíl od zbývajících rostlinných druhů dosahoval *H. lupulus* mortality okolo 90 %, a to i při 13,3% koncentraci. Chemická analýza naznačuje, že takto vysoká účinnost může být způsobena značným obsahem myrcenu a β -karyofylenu, které jsou označovány jako silné repelenty proti hmyzu (Rutnik et al. 2021). Ze všech testovaných extraktů obsahoval právě *H. lupulus* největší množství biologicky aktivních látek. Jejich obsah byl ve 100% extraktu 23,9 mg/ml.

Mnoho rostlin nachází se svými insekticidními účinky uplatnění v ochraně rostlin. Pavela et al. (2009) testovali extrakty z rostlin čeledi *Balsaminaceae* na mortalitu *M. persicae*, která patří do stejné čeledi jako *M. dirhodum*. Pro pokus byly použity sušené listy rostlin obsahujících naftochinon a kyselinu kávovou. Ze třech testovaných rostlin vykazoval nejlepší účinky extrakt z *Impatiens parviflora* (DC.). Pro srovnání s mými výsledky byla vybrána mortalita tohoto extraktu po 24 hodinách, která u 50% koncentrace dosahovala 36,2 % a u 10% koncentrace 13,7 %. Na základě těchto údajů lze vidět, že 50% extrakt z *H. lupulus* vykazuje o 53,8 % vyšší účinek akutní toxicity, zatímco při 10% koncentraci je účinek o 45,05 % vyšší. Takto markantní rozdíl v účinnosti mohl být způsoben rozdílným postupem přípravy extraktu a zároveň jeho rozdílnou aplikací. Přesto měl přípravek z *I. parviflora* významné repelentní účinky, a to delší dobu od aplikace. Konkrétně 54 hodin po aplikaci dosahoval 50% roztok mortality 99,7 % a 10% mortality 90 % (Pavela et al. 2009).

Po letech výzkumu byl prokázán negativní dopad syntetických pesticidů na životní prostředí a lidské zdraví, čímž se zvýšil zájem o používání rostlinných produktů. Přírodní repelenty, insekticidy, herbicidy a fungicidy se tak staly předmětem výzkumů. Mezi nejčastěji uváděné druhy rostlin, které ve formě esenciálních olejů prokazují odpuzující účinky, patří *Cymbopogon* spp., *Ocimum* spp. a *Eucalyptus* spp. (Rutnik et al. 2021). V této studii však přípravek z eukalyptu vykazoval velmi nízké účinky na mortalitu kyjatky travní (viz tabulka 3). Takto nízký účinek mohl být způsoben aplikací ve formě extraktu nikoliv esenciálního oleje. Zároveň eukalyptový extrakt neprokazoval smáčivé účinky, tudíž nemusel zasáhnout všechny cílové organismy.

Avšak ve studii Ali et al. (2018) zkoumali potenciál extraktů z *Azadirachta indica* a *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh.) na mortalitu pšeničné mšice *Sitobion avenae* (Fab.). Bylo zjištěno, že extrakt z eukalyptu vykazoval po 24 hodinách míru úmrtnosti 36 %, což je o 19,33 % více, než vykazoval námi testovaný extrakt z *E. globulus*. Tyto rozdíly mohly být způsobeny použitím rozdílných druhů eukalyptů, a tudíž i rozdílným množstvím účinných látek nacházejících se v rostlinách.

V testech Gong et al. (2021) byla hodnocena citlivost 4 druhů mšic na sedm různých insekticidů. Výsledky ukázaly, že citlivost různých druhů mšic byla velmi odlišná, ale *M. dirhodum* vykazovala nejvyšší toleranci k většině insekticidů (zejména neonikotinoidů). Hodnota LC₅₀ pro imidakloprid byla u *M. dirhodum* 261,91 mg/ml, zatímco pro ostatní mšice měl imidakloprid mnohem vyšší toxicitu při nižších dávkách účinné látky. Markantně nízkou

toxicitu proti kyjatce travní vykazoval také thiamethoxam, u něhož LC_{50} dosahovala 436,97 mg/ml. Tyto výsledky ukazují, že má *M. dirhodum* potenciál stát se dominantním druhem mšic na polích (Gong et al. 2021).

Intenzivní používání agrochemikálií vedlo k mnoha problémům, včetně poškození životního prostředí, toxicity pro necílové organismy a také snížené účinnosti chemických látek v důsledku vývoje rezistence škůdců. Botanické pesticidy proto nabízejí vhodnou alternativu k chemickým pesticidům pro použití v systémech ochrany rostlin. To v posledních letech vedlo k nárůstu počtu akademických publikací týkajících se botanických pesticidů používaných pro kontrolu škůdců v integrované ochraně rostlin. I přesto však stále existuje malé množství komerčně dostupných produktů na bázi rostlinných látek (Campos et al. 2019).

Tato studie je možnou cestou k využití účinných látek z *H. lupulus* v ochraně rostlin. Na základě laboratorních testů vykazoval chmelový extrakt vysokou účinnost na mortalitu kyjatky travní a mohl by tak být dobrou náhradou syntetických látek, vůči kterým začíná být *M. dirhodum* rezistentní.

7 Závěr

- Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že hypotéza byla potvrzena. Extrakt z *H. lupulus* vykazoval významné účinky na mortalitu kyjatky travní. Účinky se po zředění extraktu postupně snižovaly.
- Vzhledem k neustálé regulaci současných účinných látek na trhu a nedostatku nových je potřeba najít nové vhodné alternativy, ideálně environmentálně a zdravotně nezávadné. Tato práce popisuje některá stanoviska autorů, zabývajících se touto problematikou.
- Rostlinné extrakty jsou ekologicky šetrné a obsahují komplex účinných látek se vzájemně se doplňujícími mechanismy účinku, což snižuje riziko vzniku rezistentních organismů. Také jsou dobře dostupné a zemědělec si je může vyrobit sám.
- Extrakt z *H. lupulus* se jeví jako perspektivní náhrada syntetických pesticidů. Navíc oproti většině současných botanických insekticidů pochází z evropského kontinentu.
- Lze doporučit extrakt z *H. lupulus* k dalším studiím, zejména k testování jeho aphicidních účinků. Za prozkoumání stojí jeho účinnost nejen v laboratorních podmínkách, ale hlavně v podmínkách venkovních.
- Dále lze doporučit testování tohoto extraktu na další cílové i necílové organismy z různých hmyzích řádů.

8 Literatura

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**:265-267.
- Ali S, Farooqi MA, Sajjad A, Ullah MI, Qureshi AK, Siddique B, Waheed Q, Sarfraz M, Asghar A. 2018. Compatibility of entomopathogenic fungi and botanical extracts against the wheat aphid, *Sitobion avenae* (Fab.) (Hemiptera: Aphididae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* **28**(97).
- Astray G, Gullón P, Gullón B, Munekata PES, Lorenzo JM. 2020. *Humulus lupulus* L. as a Natural Source of Functional Biomolecules. *Applied Sciences* **10**(15):5074.
- Aydinalp C, Porca MM. 2004. The effects of pesticides in water resources. *Journal of Central European Agriculture* **5**(1):5-12.
- Badgujar SB, Patel VV, Bandivdekar AH. 2014. *Foeniculum vulgare* Mill: A Review of Its Botany, Phytochemistry, Pharmacology, Contemporary Application, and Toxicology. *BioMed Research International* 1-32.
- Barros L, Carvalho AM, Ferreira ICFR. 2010. The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences. *LWT – Food Science and Technology* **43**(5):814-818.
- Bedini S, Flamini G, Girardi J, Cosci F, Conti B. 2015. Not just for beer: evaluation of spent hops (*Humulus lupulus* L.) as a source of eco-friendly repellents for insect pests of stored foods. *Journal of Pest Science* **88**:583-592.
- Bras A, Roy A, Heckel DG, Anderson P, Karlsson Green K. 2022. Pesticide resistance in arthropods: Ecology matters too. *Ecology Letters* **25**(8):1746-1759.
- Bühning U. 2010. *Léčivé rostliny: obsahové látky, zpracování, základní recepty*. Knižní klub, Praha.
- Campos EVR, Proença PLF, Oliveira JL, Bakshi M, Abhilash PC, Fraceto LF. 2019. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. *Ecological Indicators* **105**:483-495.
- Dimetry NZ. 2012. Prospects of botanical pesticides for the future in integrated pest management programme (IPM) with special reference to neem uses in Egypt. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* **45**(10):1138-1161.

- Do Nascimento J, Goncalves KC, Dias NP, de Oliveira JL, Bravo A, Polanczyk RA. 2022. Adoption of *Bacillus thuringiensis*-based biopesticides in agricultural systems and new approaches to improve their use in Brazil. *Biological Control* **165**.
- Dutta S. 2015. Biopesticides: an ecofriendly approach for pest control. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* **4**(6):250-265.
- El-Feky AM, Aboulthana WM. 2016. Phytochemical and Biochemical Studies of Sage (*Salvia officinalis* L.). *UK Journal of Pharmaceutical and Biosciences* **4**(5):56-62.
- Geiger F, et al. 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* **11**(2):97-105.
- Ghorbani A, Esmaeilzadeh M. 2017. Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* **7**(4):433-440.
- Gong P, Chen D, Wang C, Li M, Li X, Zhang Y, Li-and X, Zhu X. 2021. Susceptibility of Four Species of Aphids in Wheat to Seven Insecticides and Its Relationship to Detoxifying Enzymes. *Frontiers in Physiology* **11**.
- Gould F, Brown ZS, Kuzma J. 2018. Wicked evolution: Can we address the sociobiological dilemma of pesticide resistance?. *Science* **360**(6390):728-732.
- Goulson D. 2013. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology* **50**(4):977-987.
- Goulson D, Nicholls E, Botías C, Rotheray EL. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* **347**(6229).
- Hamidpour M, Hamidpour R, Hamidpour S, Shahlari M. 2014. Chemistry, Pharmacology, and Medicinal Property of Sage (*Salvia*) to Prevent and Cure Illnesses such as Obesity, Diabetes, Depression, Dementia, Lupus, Autism, Heart Disease, and Cancer. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* **4**(2):82-88.
- Hardel DK, Sahoo L. 2011. A review on phytochemical and pharmacological of *Eucalyptus globulus*: a multipurpose tree. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy* **2**(5):1527-1530.
- Harizia A, Benguerai A, Elouissi A, Mahi T, Bonal R. 2021. Chemical composition and biological activity of *Salvia officinalis* L. essential oil against *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Plant diseases and Protection* **128**:1547-1556.
- Hawkins NJ, Bass C, Dixon A, Neve P. 2019. The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biological Reviews* **94**(1):135-155.

- He W, Huang B. 2011. A review of chemistry and bioactivities of a medicinal spice: *Foeniculum vulgare*. *Journal of Medicinal Plants Research* **5**(16):3595-3600.
- Hladík M, Main AR, Goulson D. 2018. Environmental Risks and Challenges Associated with Neonicotinoid Insecticides. *Environmental Science & Technology* **52**(6):3329-3335.
- Holec J, Poláková J, et al. 2019. *Zemědělství a potraviny*. Profi Press, Praha.
- Honěk A, Martinková Z, Platková H, Saska P, Skuhrovec J. 2021. Škůdci na obilninách a jejich přirození nepřátelé. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Honěk A, Martinková Z, Saska P, Dixon AFG. 2018. Aphids (Homoptera: Aphididae) on Winter Wheat: Predicting Maximum Abundance of *Metopolophium dirhodum*. *Journal of Economic Entomology* **111**(4):1751-1759.
- Ikbal C, Pavela R. 2019. Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. *Journal of Pest Science* **92**:971-986.
- Jarman WM, Ballschmiter K. 2012. From coal to DDT: the history of the development of the pesticide DDT from synthetic dyes till Silent Spring. *Endeavour* **36**(4):131-142.
- Jursík M, Soukup J. 2016. Příprava postřikové jíchy a míchání pesticidů. *Agromanuál* **11**(4):89-91.
- Kattwinkel M, Liess M. 2014. Competition matters: Species interactions prolong the long-term effects of pulsed toxicant stress on populations. *Environmental Toxicology and Chemistry* **33**(7):1458-1465.
- Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin*. Profi Press, Praha.
- Kazda J, Prokinová E, Ryšánek P. 2007. Škůdci a choroby rostlin – Domácí rostlinolékař. Knižní klub, Praha.
- Korpelainen H, Pietiläinen M. 2021. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and Present Use, and Future Potential. *Economic Botany* **75**:302-322.
- Kumar P, Mishra S, Malik A, Satya S. 2012. Compositional analysis and insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* (family: Myrtaceae) essential oil against housefly (*Musca domestica*). *Acta Tropica* **122**(2):212-218.
- Kuthan A. 2017. Biopesticidy u nás a ve světě. *Agromanuál* **12**(1):28-30.

Lengai GMW, Muthomi JW. 2018. Biopesticides and Their Role in Sustainable Agricultural Production. *Journal of Biosciences and Medicines* **6**(6):7-41.

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**.

Lo CC. 2010. Effect of pesticides on soil microbial community. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* **45**(5):348-359.

Ngegba PM, Cui G, Khalid MZ, Zhong G. 2022. Use of Botanical Pesticides in Agriculture as an Alternative to Synthetic Pesticides. *Agriculture* **12**(5):600.

Oberemok VV, Laikova KV, Gninenko YI, Zaitsev AS, Nyadar PM, Adeyemi TA. 2015. A short history of insecticides. *Journal of Plant Protection Research* **55**(3):221-226.

Ondarza-Beneitez MA. 2017. Biopesticidas: tipos y aplicaciones en el control de plagas agrícolas. *Agro Productividad* **10**(3):31-36.

Pavela R. 2006. *Rostlinné insekticidy: hubíme hmyz bez chemie*. Grada, Praha.

Pavela R. 2011. *Botanické pesticidy*. Kurent, České Budějovice.

Pavela R. 2016. History, Presence and Perspective of Using Plant Extracts as Commercial Botanical Insecticides and Farm Products for Protection against Insects – a Review. *Plant Protection Science* **52**(4):229-241.

Pavela R. 2018. Essential oils from *Foeniculum vulgare* Miller as a safe environmental insecticide against the aphid *Myzus persicae* Sulzer. *Environmental Science and Pollution Research* **25**:10904-10910.

Pavela R. 2020. *Přírodní cestou nejen proti chorobám a škůdcům*. Kurent, České Budějovice.

Pavela R, Vrchotová N, Šerá B. 2009. Repellency and toxicity of three *Impatiens* species (Balsaminaceae) extracts on *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae). *Journal of Biopesticides* **2**(1):48-51.

Pavela R, Žabka M, Bednář J, Tríska 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.

Petr J, Húska J, et al. 1997. *Speciální produkce rostlinná – I. (Obecná část a obilniny)*. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Prokinová E. 2017. Využití biologické ochrany rostlin v systému ekologického pěstování plodin. *Agromanuál* **12**(9-10):36-39.

Raal A, Orav A, Arak E. 2007. Composition of the essential oil of *Salvia officinalis* L. from various European countries. *Natural Product Research* **21**(5):406-411.

Rahimi R, Ardekani MRS. 2013. Medicinal properties of *Foeniculum vulgare* Mill. In traditional Iranian medicine and modern phytotherapy. *Chinese Journal of Integrative Medicine* **19**:73-79.

Rather MA, Dar BA, Sofi SN, Bhat BA, Qurishi MA. 2016. *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry* **9**(2):1574-1583.

Riah W, Laval K, Laroche-Ajzenberg E, Mougin C, Latour X, Trinsoutrot-Gattin I. 2014. Effects of pesticides on soil enzymes: a review. *Environmental Chemistry Letters* **12**:257-273.

Romanazzi G, Orçonneau Y, Moumni M, Davillerd Y, Marchand PA. 2022. Basic Substances, a Sustainable Tool to Complement and Eventually Replace Synthetic Pesticides in the Management of Pre and Postharvest Diseases: Reviewed Instructions for Users. *Molecules*. **27**(11):3484.

Rossini F, Virga G, Loreti P, Iacuzzi N, Ruggeri R, Provenzano ME. 2021. Hops (*Humulus lupulus* L.) as a Novel Multipurpose Crop for the Mediterranean Region of Europe: Challenges and Opportunities of Their Cultivation. *Agriculture* **11**(6):484.

Russo S, Cabrera N, Chludil H, Yaber-Grass M, Leicach S. 2015. Insecticidal activity of young and mature leaves essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill. against *Tribolium confusum* Jacquelin du Vaù (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chilean journal of agricultural research* **75**(3):375-379.

Rutnik K, Hrnčič MK, Košir IJ. 2021. Hop Essential Oil: Chemical Composition, Extraction, Analysis, and Applications. *Food Reviews International* **38**(1):529-551.

Seznam.cz. 2023. Mapy.cz. Available from <https://mapy.cz/zakladni?source=firm&id=406984&ds=1&x=14.8898582&y=49.8497923&z=8> (accessed April 2023).

Shala AY, Gururani MA. 2021. Phytochemical Properties and Diverse Beneficial Roles of *Eucalyptus globulus* Labill.: A Review. *Horticulturae* **7**(11):450.

Sharma Y, Fagan J, Schaefer J. 2019. Ethnobotany, phytochemistry, cultivation and medicinal properties of Garden sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* **8**(3):3139-3148.

Shukla N, Akansha Singh EAN, Kabadwa BC, Sharma R, Kumar J. 2019. Present Status and Future Prospects of Bio-Agents in Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **8**(4):2138-2153.

Small E. 2006. *Velká kniha koření, bylin a aromatických rostlin*. Volvox Globator, Praha.

Šarapatka B, Urban J, et al. 2006. *Ekologické zemědělství v praxi*. PRO-BIO, Šumperk.

Šašková D. 1993. *Trávy a obilí*. Artia, Praha.

Tichá K. 2001. *Biologická ochrana rostlin*. Grada, Praha.

Vecchio MG, Loganes C, Minto C. 2016. Beneficial and Healthy Properties of Eucalyptus Plants: A Great Potential Use. *The Open Agriculture Journal* **10**:52-57.

Verma RS, Padalia RC, Chauhan A. 2015. Harvesting season and plant part dependent variations in the essential oil composition of *Salvia officinalis* L. grown in northern India. *Journal of Herbal Medicine* **5**(3):165-171.

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. 2021. O nás. Praha 6 - Ruzyně. Available from <https://www.vurv.cz/o-nas/> (accessed April 2023).

Waage JK, Greathead DJ. 1988. Biological control: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* **318**(1189):111-128.

Zanoli P, Zavatti M. 2008. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L. *Journal of Ethnopharmacology* **116**(3):383-396.