

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Hmyzí vektorů patogenů rostlin
Bakalářská práce**

Autor práce: Markéta Simotová

**Program: Veřejná správa v zemědělství, rozvoji venkova a
krajiny**

Vedoucí práce: Ing. Štěpán Kubík, Ph. D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Hmyzí vektory patogenů rostlin" 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 25.4. 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Štěpánovi Kubíkovi, Ph. D. za vedení práce. Dále RNDr. Milanovi Řezáčovi, Ph. D. za motivaci a přínosnou konzultaci. Děkuji za Váš čas a trpělivost.

Hmyzí vektorů patogenů rostlin

Souhrn

Patogenní organismy výrazně ovlivňují produkci kulturních plodin po celém světě. Jejich hlavními přenašeči jsou právě hmyzí vektorů. Proto je důležité vektory regulovat a zabývat se příkladnou ochranou rostlin.

Hlavními patogenními organismy jsou viry, houby, bakterie a fytoplazmy. Ty se přenášejí cirkulativně a necirkulativně. Používají hmyz jako médium, pomocí něž vniknou do těla rostliny.

Nejčastější způsob inokulace patogenu do těla rostliny je přes bodavě sací ústní ústrojí hmyzu. Hmyz perforuje rostlinná pletiva a začne sát. Spolu s jeho slinami se tak patogen dostane do rostliny.

Bodavě sacím ústrojím disponují jedinci z řádu polokřídli (*Hemiptera*). Konkrétně nejvýznamnějšími přenašeči z tohoto řádu jsou mšicosaví (*Sternorrhyncha*) a křisi (*Auchenorrhyncha*). Ovšem i jiný hmyz s bodavě sacím ústrojím může být přenašečem např. ploštice (*Heteroptera*).

Avšak existují i jiné způsoby přenosu patogenu. Houbová onemocnění hmyzí vektorů přenáší na své hrudi v tzv. mycangiích. Takto šíří infekci ambrosioví brouci z podčeledi *Scolytinae*.

Tato onemocnění mají výrazný vliv na fitness rostlin. Základním krokem je udržovat rostliny v dobrém stavu. Dodávat jim pravidelnou závlivku a hnojit je. Pěstovat rezistentní odrůdy. Dalším krokem je regulovat hmyzí vektory. Zjistit jejich abundanci na pozemku a podle toho dále postupovat. Ideálně se vyhnout pesticidům, a naopak využít jejich přirozených nepřátel. Cílem pěstitele je udržet ekosystém v rovnováze, aby se hmyzí vektorů nepřemnožili a bioregulátoři měli stále potravu.

Rovnováha v přírodě je obzvláště důležitá a z toho důvodu bychom měli upřednostňovat biologické způsoby obrany. Pesticidy rozhodně neprospívají životnímu prostředí. Narušují biodiverzitu a kontaminují přírodní zdroje.

Z výše zmiňovaných důvodů vznikla motivace vytvořit tuto práci, jejímž cílem je vyhodnotit vztahy mezi rostlinnými patogeny a jejich vektory. Zároveň se bude zabývat biologií těchto vektorů a možností jejich využití jako bioregulátorů plevelných rostlin.

Klíčová slova: hmyzí vektory, patogeny rostlin, přenos patogenu vektorem, *Hemiptera*, *Sternorrhyncha*, fytoviry, fytoplazma, bakterióza, houbová onemocnění

Insects as vectors of plant pathogens

Summary

Pathogenic organisms significantly impact the production of crops worldwide. Their main carriers are insect vectors. Therefore, it is important to regulate vectors and engage in exemplary plant protection.

The main pathogenic organisms are viruses, fungi, bacteria, and phytoplasmas. They are transmitted circulatorily and non-circulatorily, using insects as a medium to penetrate the plant's body.

The most common way for the pathogen to inoculate the plant's body is through the piercing-sucking mouthparts of insects. Insects perforate plant tissues and begin to suck. Along with their saliva, the pathogen enters the plant.

Individuals from the order *Hemiptera* possess piercing-sucking mouthparts. Specifically, the most significant carriers from this order are aphids (*Sternorrhyncha*) and leafhoppers (*Auchenorrhyncha*). However, other insects with piercing-sucking mouthparts can also be carriers, such as true bugs (*Heteroptera*).

However, there are other ways of pathogen transmission. Fungal diseases are transmitted by insect vectors on their thorax in so-called mycangia. This is how ambrosia beetles from the subfamily *Scolytinae* spread infection.

These diseases have a significant impact on plant fitness. The basic step is to keep plants in good condition by providing regular watering and fertilization. Growing resistant varieties is also crucial. The next step is to regulate insect vectors. Determine their abundance in the area and proceed accordingly. Ideally, avoid pesticides and instead utilize their natural enemies. The goal for growers is to maintain ecosystem balance so that insect vectors do not proliferate excessively and biocontrol agents always have food available.

Balance in nature is particularly important, and therefore, we should prioritize biological defense methods. Pesticides certainly do not benefit the environment. They disrupt biodiversity and contaminate natural resources.

For the reasons mentioned above, the motivation arose to create this bachelor's thesis, which aims to evaluate the relationships between plant pathogens and their vectors. Additionally, it will address the biology of these vectors and the potential for their use as biocontrol agents for weed plants.

Keywords: insects as vectors, plant pathogens, transmission of pathogen by vector, *Hemiptera*, *Sternorrhyncha*, fytoviruses, fytoplasm, bacteriosis, fungal diseases

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce.....	11
3 Literární rešerše.....	12
3.1 Virová onemocnění.....	12
3.1.1 Obecně o virech.....	12
3.1.2 Přenos virů.....	13
3.1.2.1 Necirkulativní přenos.....	14
3.1.2.2 Cirkulativní přenos.....	14
3.1.3 Ochrana před viry.....	15
3.2 Bakteriózy.....	15
3.2.1 <i>Candidatus liberibacter solanaceum</i>	16
3.3 Fytoplazmy.....	17
3.3.1 Fytoplazmová žloutenka aster.....	18
3.4 Houbová onemocnění.....	19
3.4.1 Vadnutí dubu.....	20
3.5 Vektoři.....	21
3.5.1 Polokřídlí (<i>Hemiptera</i>).....	21
3.5.2 Mšice (<i>Aphidomorpha</i>).....	21
3.5.2.1 Stylet mšice.....	22
3.5.2.2 Partenogeneze.....	23
3.5.2.3 Polyfenismus.....	23
3.5.2.4 Kolonizace hostitelské rostliny.....	23
3.5.2.5 Retence patogenu ve vektoru.....	24
3.5.2.6 Efekt pobytu patogenu ve vektoru.....	25
3.5.2.7 Vývojový cyklus.....	25
3.5.2.8 Ochrana před mšicemi.....	25
3.5.3 Křísi (<i>Auchenorrhyncha</i>).....	27
3.5.3.1 Morfologie.....	28
3.5.3.2 Vývoj.....	28
3.5.4 Ploštice (<i>Heteroptera</i>).....	29
3.5.4.1 Morfologie.....	29
3.5.4.2 Vývoj.....	29
3.5.4.3 Ploštice jako vektor.....	29

3.5.5	Kůrovcovití (<i>Scolytinae</i>)	30
3.5.5.1	Symptomy	30
3.5.5.2	Ochrana a prevence	31
3.5.5.3	Asanace	31
3.5.5.4	Ambrosioví brouci	32
3.6	Ochrana rostlin.....	34
3.7	Vektoři jako bioregulátoři.....	34
3.7.1	Bioregulace obecně	35
3.7.1.1	Způsoby bioregulací	36
4	Závěr	38
5	Literatura.....	39
6	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Tato práce slouží ke stručnému obeznámení s tematikou přenosu patogenů rostlin pomocí hmyzích vektorů. Jedná se o průřez různých skupin patogenů i vektorů, u kterých bude popsán způsob jejich přenosu, jejich vliv jak na rostliny, tak i vliv patogenů na vektory. Budou popsány nejčastější choroby. Práce je zaměřena jak na Českou republiku, tak dojde i náhled do světového prostředí, tedy se bude soustředit na popis situace v tuzemském prostředí s globálním srovnáním. Dále v práci bude zmíněno, jak se zachovat při střetu s níže zmíněnými vektory a patogeny a jistý náhled do budoucnosti na danou situaci. V práci budou zmíněny tři skupiny chorob významných pro rostliny – virová onemocnění, houbová onemocnění, bakteriální onemocnění a jako jejich podskupina fytoplazmová onemocnění. Bude popsán způsob jejich přenosu, hmyzí vektory, jaká onemocnění způsobují. Práce bude primárně zaměřená na zemědělské plodiny, okrasné rostliny budou zmíněny pouze okrajově. Dále bude nahlíženo také na řešení problémů s danými onemocněními. Finálním bodem práce bude využití vektorů jako bioregulátorů plevelných rostlin.

2 Cíl práce

Práce bude mít za cíl vyhodnotit vztahy mezi rostlinnými patogeny a jejich vektory. Zároveň se bude zabývat biologií těchto vektorů a možností jejich využití jako bioregulátorů plevelných rostlin.

3 Literární rešerše

V následujících podkapitolách bude představeno základní uvedení do problematiky tématu bakalářské práce. Budou popsány přenosy patogenů pomocí vektorů, nejzásadnější onemocnění, typy patogenů a samotné vektory. Dále se rešerše bude zabývat ochranou rostlin a bioregulacemi.

3.1 Virová onemocnění

Většina rostlinných virů je přenášena hmyzími vektory. Interakce mezi vektorem a patogenem má různou dobu trvání, ale některé znaky přenosu většina sdílí. Existuje více jak 2000 virů, z nichž mnoho způsobuje významná onemocnění různých rostlin pěstovaných člověkem za účelem konzumace (Hull 2014). Ovšem mnoho virů napadá i okrasné rostliny. Patogeny se nachází v různých částech vektorů (Whitfield et al. 2015).

Nové rostlinné viry jsou objeveny každý den. Virová onemocnění způsobují celých 47 % ze všech nově objevených rostlinných onemocnění (Anderson et al. 2004). Rostlinné viry se velmi liší jak od virů napadajících živočichy, tak i od bakterií ve vztahu k hostiteli. Hlavním důvodem je, že rostliny jsou stálé, relativně nepohyblivé až imobilní. Z toho důvodu musí mít rostlinné viry efektivní způsob přenášení z rostliny na rostlinu. Aby toto dokázali a tím mohli přežít, využívají vektorů. Ovšem celý tento vztah je daleko komplexnější. (Kritzman et al. 2002) Přenos rostlinných virů je zkoumán více jak 100 let (Gutierrez et al. 2013).

Hmyz způsobuje významné poškození rostlin jak přímo okusem, tak obzvláště i přenosem virů. Viry jsou závislé na vektorech, aby mohli přežít, reprodukovat se a přenášet se z rostliny na rostlinu. Viry jsou přenášeny persistentně (cirkulativně a necirkulativně) nebo nepersistentně (Ng & Falk 2006). Přenos rostlinných virů vektory je důsledkem dlouhého procesu evoluce a je silně ovlivněna morfologií daného vektoru. Většina ekonomicky významných virů je přenášena mšicemi (Jayasinghe et al. 2021).

Viry napadají všechny formy života. Virová infekce způsobuje fyziologické změny organismu a mnohonásobně se snižuje výtěžek plodin. Viry jsou jedním z nejnáročnějších patogenů, aby zůstali pod kontrolou a nepřekročily hranici škodlivosti, protože nereagují na žádné chemické přípravky a je nepravděpodobné, že by byla jejich populace možná redukovat pomocí takovýchto přípravků (Jayasinghe et al. 2021). Ovšem je velmi složité zjistit skutečnou škodu na plodinách způsobenou viry, ale odhadovaná škoda je zhruba 100 miliard za rok (Masson et al. 2013; Walker et al. 2019). Viry jsou obligátně intracelulárním patogenem. Jsou závislé výhradně na svých vektorech, aby se mohli přenášet a reprodukovat (Jayasinghe et al. 2021).

3.1.1 Obecně o virech

Viry se skládají z nukleonové kyseliny buď RNA nebo DNA uložené v bílkovinném obalu. Nukleová kyselina tvoří genom viru a zajišťuje tak jeho reprodukci a genetickou kontinuitu. DNA většiny virů je buď dvouřetězcová (dvouvláknová), nebo jednořetězcová (jednovláknová) (Šafránková 2014). Může mít lineární nebo kruhový tvar. Viry mají velikost 20-300 nm a jsou tedy vidět pouze v elektronovém mikroskopu.

Viry mohou způsobovat latentní infekci. Rostlina nemá příznaky, ovšem tyto asymptotické rostliny jsou stále přenašečem (Šafránková 2014).

3.1.2 Přenos virů

Pokud není hmyz kompatibilní s virem, nestane se přenašečem. Kapsidy virionů v sobě mají specifické proteiny obsahující přenosové (transitní) determinanty, které reagují pouze s určitým vektorem. Ale jisté druhy virů potřebují, aby viriony zůstaly neporušené, a další přidavný nestrukturální virový protein. Tedy není třeba pouze samotného virionu ale i pomocného komponentu (v podobě proteinu) (Pirone & Blanc 1996; Blanc et al. 2014; Whitfield et al. 2015).

Aby měli větší šanci k přesunu z rostliny na rostlinu, a tedy i k přežití, využívají proteiny, které tento proces ulehčují. Proteiny patogenů jsou specifické a reagují pouze spolu s kompatibilním vektorem (Whitfield et al. 2015). Tj. pokud by mšice nasála virus MMV, nebyla by jeho přenašečem, neboť proteiny tohoto viru nejsou kompatibilní s traktem mšic ale pouze svítelek (Viz tabulka 1 a 2). Mnohé studie potvrdily, že k přenosu viru je potřeba molekulárních determinantů. Tyto studie objevily, jaké proteiny ve virech determinují interakce s jejich vektory (Jayasinghe et al. 2021).

Některé viry jako by vycítily, že buňka je poškozená či zraněná, a proto na ni útočí intenzivněji. Ihned se soustředí na mikrotubuly buňky a nalepí na ně proteiny. Tak se dostanou dovnitř (Whitfield et al. 2015).

Na přenos virů se lze dívat dvěma pohledy.

Starší pohled se zakládá na vztahu viru a vektoru, zadržování viru v určité části těla, získáním viru (Ng & Falk 2006). Používá se dělení na nepersistentní, semipersistentní, persistentní. Persistentní – cirkulativní, persistentní – propagativní (Whitfield et al. 2015).

Modernější pohled se zakládá na interakcích vektoru a viru (Blanc et al. 2014). Některé viry neprojdou přes kutikulu hmyzu a udržují se na/v ní, takže se nedostanou přímo do buněk hmyzu (V tomto případě se jedná o příklad necirkulativního přenosu) a jiné se dostanou do těla hmyzu, do jejich střev a cirkulují jejich traktem a replikují se v těle vektoru (příklad cirkulativního přenosu) (Pirone & Harris 1977).

Viry se rozdělují na cirkulativní a necirkulativní. Necirkulativní viry jsou ty, co neprojdou do vektoru během transitního procesu. Naopak cirkulativní viry jsou ty, co vejdou do vektoru během transitního procesu a buď ve vektoru cirkulují nebo cirkulují a replikují se. Existuje mnoho organismů, které jsou schopny přenášet virová onemocnění – houby, hlístice aj., ale nejvýznamnějším vektorem je právě hmyz krmící se rostlinami (Whitfield et al. 2015).

Za život viru by mělo dojít ke dvěma druhům pohybu a to „pohyb na krátkou vzdálenost“ do přilehlých buněk, aby infikovali a kolonizovali hostitelské rostliny z počátečního místa infekce (tam kde sál vektor) (Jayasinghe et al. 2021). Za druhé „pohyb na dlouhou vzdálenost“, kterým je pohyb z jednoho hosta nebo místa na druhé k tomu, aby se šířili a přežili v přírodě (Jayasinghe et al. 2021). Viry jsou nuceny si poradit/přizpůsobit se charakteristikám rostlinného společenstva, jako je jejich nepohyblivost a nepropustné (nepermabilní) buněčné stěny (Ng & Falk 2006). Virus nemůže očekávat své šíření od rostliny jediné přes pyl, semena (sadbu) nebo napadené části v případě vegetativně se rozmnožujících rostlin. Buňka je tvořena celulosou, hemicelulosou a pektinem což vylučuje vstup a výstup viru do a z rostliny (Koziel et al. 2021).

Pro tento dlouhý přenos musí vir prorazit bariéru celulózy, aby se dostaly do nových rostlinných buněk, a proto viry většinou ale ne vždy využívají asistenci vektorů hmyzu obzvláště hemiptera, kteří jsou nejčastějšími vektory (Jayasinghe et al. 2021).

Mechanismus přenosu virů je rozdělen na kategorie, do kterých se dělí podle toho, jak dlouho trvá získání, uchování a „naočkování“ (inokulace) viru. Dvě hlavní kategorie jsou cirkulativní a necirkulativní. Cirkulativní viry jsou občas klasifikovány jako persistentní, neboť v těle hmyzu zůstávají dlouho po jejich získání a jejich akvizice, retence a inokulace trvá mnoho dní. Persistentní viry jsou dále rozděleny na cirkulativně propagativní a cirkulativně nepropagativní, což závisí na schopnosti viru replikovat se v těle hmyzu. Necirkulativní viry jsou ty, které jsou nesené styletem¹ nebo kutikulou. Nemohou tak projít buněčnou stěnou. Klasifikovat necirkulativní viry lze dvěma způsoby. Podle toho, jak dlouho trvá akvizice, retence a inokulace vektoru. Pomocí toho můžeme dělit necirkulativní viry na nepersistentní a semipersistentní. Druhý způsob je založen na molekulárních datech, na interakcích viru a vektoru. Mohou se tak dělit na viry s kapsidovou strategií a s pomocnou strategií (Jayasinghe et al. 2021).

3.1.2.1 Necirkulativní přenos

Necirkulativní rostlinné viry se shromažďují ve styletu a stomodeu vektoru. Nejde o to, že tělo (respektive stylet) vektoru je kontaminováno viriony, ale o interakci mezi virem a vektorem (Pirone 1964).

Na příklad se jedná o CMV virus, TMV, potyvirus (Jayasinghe et al. 2021).

Při necirkulativním přenosu přes stylet je potřeba vícero pomocných proteinů. 1) protein kapsidu přilepí virion do styletu hmyzu. 2) Dva proteiny viru mimo kapsid slouží jako most pro virion, aby se dostal do styletu. 3) Jeden protein se nalepí na virus a druhý na stylet (Ng & Falk 2006; Blanc et al. 2014). CaMV se přenáší přes stylet (Whitfield et al. 2015).

Semipersistentní přenos

Tělo vektoru je zbaveno viru při svlékání. Existuje hypotéza, že se tyto viry nenacházejí ve vnitřku (vnitřnostech) hmyzu, ale pouze v jejich chitinové vnější kostře, kterou ztrácí během svleku. Mají kapsidy a nevyužívají pomocných proteinů (Tian et al. 1999). Ovšem při speciálním testu byly zjištěny protilátky proti těmto virům v těle molice ve stomodeu (Chen et al. 2011).

3.1.2.2 Cirkulativní přenos

Cirkulativní viry používají oběh hemolymfy k tomu, aby se dostaly do slinných žláz vektoru. Nepropagativní cirkulativní viry jsou limitovány floémem a pronikají do středních a zadních vnitřností vektoru (Gutierrez et al. 2013). V kontrastu toho propagativně cirkulativní viry vstupují do těla vektoru stomodeem nebo filtrační komorou. Tyto viry mohou užívat oběh hemolymfy nebo také nervovou soustavu, aby se dostaly do slinných žláz. Propagativní viry se množí v buňkách mesenteronu² a v jiných tkáních vektoru. Některé propagativní viry jsou omezené floémem ale jiné jsou i v ostatních tkáních rostlin. Slinné žlázy jsou finální destinací

¹ Stylet: část bodavě sacího ústního ústrojí určená k perforaci a následnému sání, více viz kapitola Mšice: Stylet

² Mesenteron: střední střevo, určeno k primárnímu trávení.

pro cirkulativní přenos. Viry se tam dostanou pomocí hemolymfy nebo nervové soustavy nebo pojivovými tkáněmi. Cirkulativně propagativní viry jsou jak ve floému, tak v mesofylu, tak v epidermis (Whitfield et al. 2015).

Cirkulativní viry vstoupí do těla vektoru a rozšíří se do různých tkáňových systémů před tím, než se přemístí do rostlinného hostitele. Cirkulativní viry se mohou množit přímo ve vektoru v různých jeho tkáních, ale jsou to i ty, co se jen rozšiřují v jeho těle a dál se nereplikují (Whitfield et al. 2015). K jeho klasifikaci je důležitá cesta viru od místa vstupu (stylet) po slinné žlázy. Také způsob, kterým se šíří po těle (Ng & Falk 2006).

Cirkulativní nepropagativní přenos

Např. se jedná o luteovirus nebo o Wheat dwarf virus, u nějž celý proces přenosu a nakažení zabere i jen 5 minut. Vir používá způsob cestování od vstupu přes stylet do slinných žláz tzv. transcytosa (přes bazální lamina). Vir cestuje přes zaživací trakt do stomodea (Ghanim et al. 2001; Cicero & Brown 2011). U virů, které se nereplikují ve vektoru, je důležité, kolik viru vektor nasaje přes stylet (Whitfield et al. 2015).

Cirkulativní propagativní přenos

Viry prochází přes bazální lamina do svalů až po slinné žlázy pomocí toku hemolymfy. Virus zůstává v těle vektoru po celý život. Začne se replikovat po 109 hodinách za předpokladu, že teplota je 24 °C (Wijkamp & Peters 1993).

Příklady: *Reoviridae* – napadá lidi, rostliny, zvířata, hmyz, houby. Jejich genom obsahuje 9-12 segmentů lineární dvouvláknové RNA. Má jednu a více vrstev kapsidových proteinů. (Attoui et al. 2012) Fijivirus, phyto-reovirus, oryzavirus – napadají rostliny, přenášeny svítilkami, křísky. (*Hemiptera - Delphacidae* a *Hemiptera - Cicadellidae*) (Whitfield et al. 2015).

3.1.3 Ochrana před viry

Nejlepší ochranou před viry je kontrola populace vektorů. Komplexnější popis bude uveden přímo u jednotlivých vektorů.

Byly učiněny pokusy o zahubení viru přímo v těle vektoru. Pavoučí neurotoxiny byly vpraveny do hemocoelu vektoru (Whitfield et al. 2015). Pokus byl ve skrze úspěšný. Neurotoxiny byly schopny viry zlikvidovat. Dále je zkoumána možnost zjištění, zda je vektor infikovaný patogeny či ne (Whitfield et al. 2015). Ovšem stále se jedná o hudbu budoucnosti a je otázkou, zda bude tato metoda skutečně používána.

Ke snížení šíření virových onemocnění by bylo možné použít UV-absorbující plastovou folii (Fryč & Rychlý 2014).

3.2 Bakteriózy

Mnoho bakteriálních patogenů je přenášeno hmyzími vektory. Změny ve fyziologii rostlin a v samotném vektoru ovlivňují jejich chování i zdraví a kondici. Patogeny rostlin jsou neopomenutelnou hrozbou pro globální rostlinnou produkci. Ztráty způsobené hmyzími vektory mohou za cca 10% snížení celkového výnosu. Ročně tak dojde ke ztrátám přes 10 miliard dolarů. (v USA) Mnoho patogenů způsobuje, že jejich přítomnost zvyšuje kondici vektoru. Některé patogeny způsobují, že rostlina je více chutná pro vektory, a to že při napadení vektorem z ní získá více živin kvůli právě probíhající infekci. Patogeny též produkují tišící

proteiny, které tlumí obranu rostliny při napadení vektorem. Z toho můžeme usoudit, že vztah mezi vektorem a patogenem je svým způsobem mutualistický. Populace hmyzích vektorů zažívá větší nárůst na napadených rostlinách než na zdravých vzhledem k větší chutnosti nakažených rostlin. Tím se patogeny více šíří. Patogeny rostlin také mohou podporovat své šíření pomocí fyziologických změn vektorů. Některé patogeny způsobují zrychlenou akci střev, takže vektor má dříve a častěji hlad, tedy se patogen rychleji šíří, neboť saje rostliny v častějších intervalech a roznáší tak nákazu (Molki et al. 2019).

V kontradikci předchozímu odstavci Mitchell (2004) uvádí, že většina patogenních bakterií není příliš závislá na hmyzích vektorech. Bakterie se šíří přes rány a poškození nebo přirozené otvory v rostlinách. (stomata) Na rozdíl od hub nemohou samy penetrovat tkáň rostlin. Takže proto se bakteriální infekce může dostat na rostlinu přes poškození způsobené požerkou hmyzu nebo přímo když má ústní orgány kontaminované bakterií (Mitchell 2004).

3.2.1 *Candidatus liberibacter solanaceum*

Candidatus Liberibacter solanaceum je významnou chorobou v Americe a na Novém Zélandu. Vyskytuje se na bramborách a na rajčatech. V Evropě jeho vlivem vznikají škody na miříkovitých (celer, mrkev, pastinák, petržel). Choroba je přenášena čeledí *Psyllidae*, z toho důvodu se onemocnění nazývá i tzv. „psyllid yellows“ (žloutnutí působené merami) (Molki et al. 2019). Mery se živí floémem, v němž se patogen dělí perzistentně a cirkulativně (de Chaves et al. 2023).

Choroba je zde více známá pod jménem zebra chip brambor. Může se šířit osivem či PCR replikací nukleových kyselin. Právě infikované osivo z Itálie a Francie bylo zavlečeno i do České republiky (Chromý 2023).

Vliv okolního prostředí na šíření bakterie není dosud dobře znám. Nicméně, výsledky vědecké studie ukázaly, že teplota má významný vliv na vývoj této bakterie. Zjistilo se, že je citlivá na vyšší teploty, přičemž není schopna tolerovat teploty nad 32 °C (Chromý 2023).

Z bakterií rodu '*Candidatus Liberibacter*' jsou momentálně známy čtyři patogenní druhy. Jsou spojovány s výraznými ekonomickými ztrátami na plodinách způsobené právě těmito bakteriemi. Obzvláště čeledi *Rutaceae*, *Apiaceae* a *Solanaceae*. Tyto bakterie nelze kultivovat a nemají žádné specifické příznaky, proto je jejich detekce a identifikace prováděna molekulární cestou převážně pomocí PCR metody. Pouze *Liberibacter crescens* se podařilo kultivovat v laboratoři, ovšem ta není patogenní. Jedná se o gramnegativní bakterie (de Chaves et al. 2023).

Symptomy závisí na hostitelské rostlině. (brambor (viz Obrázek č. 1. Hlíza bramboru napadená bakteriálním onemocněním *Candidatus liberibacter solanaceum* (Munyaneza 2024)), rajče, paprika, celer, mrkev...) obecně se ovšem jedná o ztrátu barvy, chlorózu (bledničku), abnormální produkce listů a výhonků a jiné vegetativní příznaky (de Chaves et al. 2023).

Neexistuje žádná léčba chorob způsobených těmito patogeny. Možnosti ochrany jsou omezené, ale existují. Na příklad zmenšit populaci vektorů, monitoring populace vektorů, monitorovat rostliny a při zjištění nákazy je izolovat (de Chaves et al. 2023).



Obrázek č. 1. Hlíza bramboru napadená bakteriálním onemocněním *Candidatus liberibacter solanaceum* (Munyaneza 2024)

3.3 Fytoplazmy

Fytoplazma je specializovaná bakterie parazitující ve vodivém pletivu rostlin. Fytoplazmy jsou přenášeny hmyzími vektory. Fytoplazma musí projít střevy až do slinných žláz vektoru, ovšem může se nacházet i v jiných jeho částech. Ze slinných žláz se pak pomocí bodavě sacího ústrojí dostává do těla rostliny. Přítomnost fytoplazmy v těle vektoru se může projevit různými způsoby, které závisí na druhu hmyzu a fytoplazmy. Fytoplazma může vektoru způsobit latentní infekci, nebo se u něj nemusí projevit žádné příznaky, nebo naopak může výrazně zlepšit jeho fitness např. odolnost vůči suchu nebo nedostatku potravy. Fytoplazmy jsou obzvláště nebezpečné, neboť latentní doba při infekci hmyzu je 7-80 dní, při infekci rostliny se jedná o dobu 7 dnů až 24 měsíců, z toho důvodu je obtížné fytoplazmózy regulovat (Hogenhout et al. 2008).

Fytoplazmy jsou bakterie z třídy *Mollicutes*, jenž se vyznačují peptidoglykanovou buněčnou stěnou. Přítomnost fytoplazem byla prvně registrována v Japonsku jako původce zakrslosti moruší. Bylo předpokládáno, že se jedná o virové onemocnění, ale toto tvrzení bylo později vyvráceno, neboť patogen reagoval na antibiotika tetracyklinu (Doi et al. 1967).

Třída *Mollicutes* se dělí na fytoplazmy a spiroplazmy. Jeden z hlavních rozdílů je, že spiroplazmy lze kultivovat v laboratoři (Mitchell 2004).

Fytoplazmy kolonizují floém rostlin a hmyzí vektory. Původně byly nazývány „mykoplasmám podobné organismy“, neboť jsou vizuálně podobné mykobakteriím. Nelze je

kultivovat v laboratorních podmínkách (“‘Candidatus Phytoplasma’, a taxon for the wall-less, non-helical prokaryotes that colonize plant phloem and insects” 2004).

Fytoplazmy jsou přenášeny vegetativně, lze je detekovat molekulárně. Ovšem fytoplazmy se přenáší i persistentně a propagativně. Jejich vektory jsou *Cicadomorpha* („cikády“ - křísi), *Fulgoromorpha* („svítilky“ - křísi) a *Sternorrhyncha* (mšicosavi) (řád *Hemiptera*) (Bragard et al. 2020).

Vektor zůstává infekční po celý život. Ze střev se přesouvá do slinných žláz a rozmnožuje se předtím, než bude přenesen pomocí krmení (Mitchell 2004).

3.3.1 Fytoplazmová žloutenka aster

Jako příklad onemocnění fytoplazmou lze uvést fytoplazmovou žloutenku aster. Ta je přenášena křískem *Macrosteles quadrilineatus*. Fytoplazmová žloutenka aster napadá rostliny převážně z čeledi miříkovitých (*Apiaceae*) jako jsou na příklad mrkev nebo celer, ovšem může se projevit i na rostlinách z jiných čeledí, jako jsou třeba i brambory viz Obrázek č. 3 Ztráta barvy na rostlině bramboru (Kuznetsova 2024) (Stillson et al. 2020). Fytoplazmová žloutenka aster má 2 typy. Každá má jinou genetiku, neboť byly ovlivněny jiným historickým vývojem (Beanland et al. 2000). Vektor je po nakažení fytoplazmou 2-3 týdny latentní, pak po zbytek života infekční, což je problémové z hlediska včasného odhalení infekce a následné regulace (Stillson et al. 2020).

Momentálně se k boji proti fytoplazmovým onemocněním používají insekticidy, což se zdá být kontraproduktivní, neboť neinfekční křísi není pro rostliny signifikantním nebezpečím, pouze nakažení jedinci je mohou vážně ohrozit (Stillson et al. 2020).

Klíčovým pro zefektivnění regulace fytoplazmóz je změnit zvyky farmářů (Stillson et al. 2020).

Vhodným řešením by bylo otestovat populaci na daném poli, respektive její zástupce. Např. počet křísů na 100 smyků. Tím by se zjistilo, kolik procent populace je nakaženo. Z celkové populace bývá infekčním 0,09 % až 6,25 % jedinců. A následně podle podílu infikovaných jedinců provést další kroky (Stillson et al. 2020).

Po nakažení fytoplazmou žijí křísci déle a kladou více vajíček než nenakažení jedinci. Nenakažení křísci žijí zhruba 19 dní, nakažení až 28. Počet potomků se po nakažení zdvojnásobí. Samice žijí dvakrát delší dobu než samci. Infikované rostliny jsou vhodnějšími hostiteli pro křísky. Nakažené rostliny mají lepší nutriční hodnoty. Tedy křísci preferují tyto nakažené rostliny před zdravými (Beanland et al. 2000).



Obrázek č. 3 Ztráta barvy na rostlině bramboru (Kuznetsova 2024)

3.4 Houbová onemocnění

Houby reprezentují největší skupinu rostlinných patogenů. Spory hub mohou být šířeny vodou, vzduchem nebo hmyzími vektory a vstup do rostlinných pletiv je pomocí poškození hmyzem (Agrios 1997).

Nejvýznamnějším patogenem jsou houby vřecovýtrusné (*Ascomycetes*). V některých případech této asociace vznikne dvorec infekce v místě léze rány způsobené styletem hmyzu, mechanickým poškozením stejně jako u bakteriálních poškození ovšem více často se hmyz stává primárním vektorem, který přenáší spory. Spory hub lze najít i ve fekáliích hmyzu (Mitchell 2004).

Typickými patogeny jsou houby rodu *Alternaria* a *Fusarium*. Nejvíce vzpomínané choroby spojované s *Heteroptera* jsou stigmatomykóza a tzv. „pecky rice“. Stigmatomykóza napadá citrusy, bavlník, pistáciovník, soju, fazole, a kávovník. Nejčastějšími houbami způsobující stigmatomykózu jsou *Nematospora gossypii* a *Endomycetales* (Mitchell 2004). Jedná se o významnou skupinu jak prospěšných kvasinek přítomných na příklad při výrobě piva a vína tak i patogenních organismů způsobující různá onemocnění jak u zvířat, tak u rostlin (“Výkladový slovník: *Endomycetales*” 2020). „Pecky rice“ způsobuje hmyz s bodavě sacím ústním ústrojím. Po narušení rýžového zrna se dovnitř dostanou houby a způsobí tak charakteristickou černou skvrnu na zrna. Při obou těchto onemocněních je nutné, aby hmyz přímo konzumoval infikovaná semena. Léze po krmení hmyzu jsou vstupní bránou pro houbové

spory. Velmi náchylnými rostlinami k houbovým onemocněním jsou obzvláště kakaovníky, palmy aj. (Mitchell 2004).

Ovšem samotný hmyz nemusí být nutně zdrojem patogenu. Je to definováno jako „charakteristické poranění jehož výsledkem je že z inokulace rostlinných pletiv houby přes krmení – probodnutí a sání hmyzem (Mitchell 2004). Jako příklad lze uvést mšice. Mšice napadnou rostlinu, začnou se na ní krmit, dojde ke tvorbě medovice a celkově vlivem jejich pobytu na rostlině dojde k vzniku fungálních onemocnění. Konkrétně pobyt mšice slívové na slunečnici podněcuje infekci *Sclerotinia sclerotiorum*. I pobyt mšice švestkové způsobuje houbová onemocnění kolonizované rostliny. Nejčastěji se jedná o saprofytní černě. To samé mšice chmelová, zdobnatka lipová, korovnice pupenová a jim podobné druhy (Kluth et al. 2002; Fryč & Rychlý 2014; Fryč & Rychlý 2015).

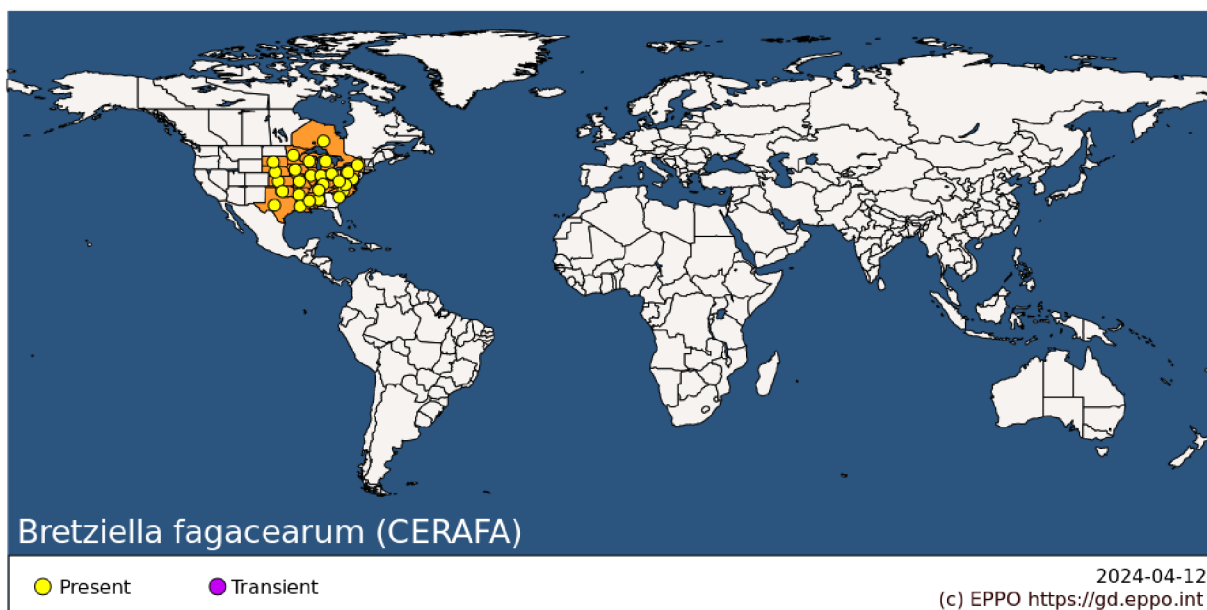
3.4.1 Vadnutí dubu

Vadnutí dubu je vážnou chorobou napadající rostliny z rodu *Quercus*. Tato choroba byla poprvé popsána ve 40. letech 20. století (de Beer et al. 2017). Byla považována za snadno zvládnutelnou chorobu, co lze snadno udržet v mezích (Juzwik et al. 2011). Ovšem s narůstajícím povědomím o epidemiologii se momentálně této chorobě přikládá větší váha. Vadnutí dubu se tedy aktuálně považuje za jednu z nejvíce signifikantních chorob ohrožujících duby celosvětově (de Beer et al. 2017). Choroba vadnutí dubu je způsobena houbou rodu *Ceratocystis* širokou veřejností známá jako *Ceratocystis fagacearum* (Juzwik et al. 2011). Tento rod byl původně popsán jako patogen sladkých brambor – batát (de Beer et al. 2017).

Houba je přenášena pomocí hmyzích vektorů. A to kůrovci *Pseudopityophthorus minutissimus* a *P. pruinosus*, nebo také brouky *Arrhenodes minutus* z čeledi dlouhanovití (*Brentidae*) a dále brouci z čeledi lesknáčkovití (*Nitidulidae*) (“Škodlivé organismy: vadnutí dubu” 2014).

V České republice se tento patogen momentálně nevyskytuje ovšem dle prováděcího nařízení Komise (EU) 2019/2072, přílohy II. části A je *B. fagacearum*, včetně jeho přenašečů kůrovců *Pseudopityophthorus minutissimus* a *P. pruinosus* a dlouhana *Arrhenodes minutus*, škodlivým organismem a měli bychom se řídit základními fytosanitárními opatřeními jako jsou zákaz dovozu rostlin dubu a kaštanovníku (s listy, i jen řezané větve) z mimoevropských zemí. U rostlin z USA musí být potvrzeno, že nepochází z oblasti napadené výše zmíněným patogenem (“Škodlivé organismy: vadnutí dubu” 2014).

Ovšem i přesto, že onemocnění vadnutí dubu je podle “Škodlivé organismy: vadnutí dubu” (2014) v České republice nonexistentní, vyjádřil de Beer et al. (2017) obavu o šíření tohoto patogenního organismu, neboť je velmi invazivní a neměli bychom ho tedy podceňovat ani v rámci Evropy. Současné rozšíření choroby viz Obrázek č. 2 Mapa zobrazující rozšíření onemocnění vadnutí dubu (“*Bretziella fagacearum*(CERFA)” 2013).



Obrázek č. 2 Mapa zobrazující rozšíření onemocnění vadnutí dubu (“*Bretziella fagacearum*(CERAFA)” 2013)

3.5 Vektoři

V následující kapitole budou vyjmenováni signifikantní vektoři a informace o nich. Bude zmíněna i ochrana proti nim a o každém budou podány specifické informace s ním související.

Patogen není schopen samovolně infikovat rostlinu, z toho důvodu potřebuje využit určitého média, pomocí něž se dostane dovnitř. Tímto médiem jsou právě hmyzí vektoři.

3.5.1 Polokřídli (*Hemiptera*)

Hmyzí vektoři se nejčastěji rekrutují z řádu *Hemiptera*, neboť mají bodavě sací ústní ústrojí (stylet), kterým naruší pletiva rostliny a mohou tak přenášet patogeny (Mitchell 2004).

Hemiptera je největší řád neholometabolního (s proměnou nedokonalou) hmyzu mající více jak 100 000 popsaných druhů. Tento řád je rozdělen na čtyři podřády *Sternorrhyncha* (mšicosaví, např. mšice, mery, červci, molice), *Auchenorrhyncha* (křisi, např. cikády, křisci, svítilky, ostnohřbetky), *Coleorrhyncha* („mechovky“) a *Heteroptera* (ploštice, např. klopušky, vroubenky, kněžice, zákeřnice). Většina druhů z řádu *Hemiptera* se živí rostlinnými pletivy, ale někteří z podřádu *Heteroptera* jsou predátorskými. *Heteroptera* je nejrozmanitější skupina řádu *Hemiptera*, má více jak 40 000 druhů (Mitchell 2004). V kontrastu s druhy krmící se rostlinnou stravou mají více diverzifikovaný způsob příjmu potravy – od rostlin, hub, malých bezobratlých až po krev. Jedná se o morfologické adaptace na prostředí vzniklé po dlouhé časové etapě (Song & Zhang 2023).

3.5.2 Mšice (*Aphidomorpha*)

Mšice hrají klíčovou roli pro přenos virů, neboť jsou vektor pro zhruba třetinu všech virů (Jayasinghe et al. 2021). Přenos z rostliny na rostlinu je pro virus proces, bez kterého je pro něj nemožné přežít, a proto si viry vyvinuly mnoho strategií, jak toho dosáhnout. Na rozdíl od jiných organismů přenášejících choroby virová onemocnění nelze korigovat pomocí

chemikálií. Existuje více jak 500 druhů mšic z nichž cca 100 je významným škůdcem pro plodiny primárně právě proto že jsou vektory virů (Jayasinghe et al. 2021). *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aphis craccivora* a *Aphis gossypii* jsou některé z nejznámějších druhů mšic, z kterýž každá je schopna přenášet více než 20 různých virů (podle CABI). Mšice jsou v řádu *Hemiptera*, podřád *Sternorrhyncha*, infrařád *Aphidomorpha* který se dělí na dvě nadčeledě *Aphidoidea* a *Phylloxeroideae* (Blackman & Eastop 2006). Přičemž většina rostlinných virů je přenášena mšicemi z čeledi *Aphididae* (Ng & Perry 2004).

Jedná se o hmyz s proměnou nedokonalou, chybí stádium kukly a nymfa se podobá dospělci. Ústní ústrojí je bodavě sací a směřuje dolů, dozadu. Většinou jsou vyvinuty 2 páry křídel. Některé mšice jsou bezkřídlé. Dospělci i nymfy sají rostlinné šťávy. Mají širokou škálu barev žlutou, zelenou, červenou, černou aj. (viz Obrázek č. 4 Zástupci infrařádu *Aphidomorpha* pod mikroskopem (Zdroj: vlastní fotografie) Životní cyklus mšic je poměrně komplikovaný a závisí na konkrétním druhu (Fryč & Rychlý 2014; Holý et al. 2021).

4700 druhů mšic bylo popsáno, ale skutečné číslo je vyšší, protože mnohé tropické a subtropické oblasti nejsou dostatečně prozkoumány. V ČR je známo zhruba 680 druhů mšic, které byly členěny do 6 čeledí, ale v současnosti jsou řazeny do jedné čeledi mšicovití (*Aphididae*). Asi 60 druhů k nám bylo zavlečeno z jiných částí světa (Fryč & Rychlý 2015).

Mšice, ať je jejich škodlivost jakákoliv, jsou přirozenou součástí přírody a jejich význam pro fungování ekosystému je zcela nepopíratelný. Jsou podstatnou součástí potravního řetězce. Celá řada dalších druhů je na ně vázána zcela nebo alespoň částečně. I v životě člověka hrají mšice pozitivní roli. Medovice (exkrement mšic) tvoří 1/10 až 2/3 produkce medu včelstev. Na medovici jsou vázány i další organismy např. mravenci, kteří si mšice chovají „jako užitková zvířata“ starají se o jejich ochranu před nepříteli nepříznivým počasím (Fryč & Rychlý 2015).

Škody na rostlinách může působit asi 50 druhů. Rozhodující význam pro praxi je překročení prahu hospodářské škodlivosti a přenos rostlinných virů. Mšice patří mezi nejvýznamnější škůdce, kteří působí ekonomické ztráty, proto se přistoupilo k vybudování sítě sacích pastí, která sleduje množství migrujících jedinců. Tento monitoring dává krátkodobou prognózu, jenž vychází ze změn intenzity náletů. Lze tedy s dostatečným předstihem konstatovat kdy kde a jestli použít regulační zásah. Tato metoda pochází z Anglie (Fryč & Rychlý 2015).

3.5.2.1 Stylet mšice

Jedná se o aparát sloužící k akvizici virů a vazebné místo nepersistentních virů. Stylet mšice je dlouhá flexibilní trubice. Skládá se ze dvou maxilárních styletů na nichž jsou připojeny dva mandibulární stylety. Kanály maxilárních styletů se spojují v jeden velký. Stylet obsahuje dvě trubice. Jedna slouží k příjmu potravy a druhá jako slinný kanál. Tyto dvě části vznikají zablokováním maxilárních styletů. Mandibulární stylety naruší pletivo rostlin. Maxilární stylety se vnoří dovnitř. Narušení buněk je způsobeno mechanicky – pohybem mandibulárních styletů které jsou schopny se pohybovat nezávisle na sobě. Tento způsob je pro rostliny šetrnější ve srovnání s okusem a požerem. Z toho důvodu jsou mšice téměř ideálním přenašečem virů, neboť je velká šance, že obranný systém rostliny nezaregistruje sání mšice (Jayasinghe et al. 2021).

3.5.2.2 Partenogeneze

Mšice jsou ideálním přenašečem i proto, že se mohou rozmnožovat partenogenezí. Tedy, že samičí vajíčka nemusí být oplodněna, aby se z nich zrodila další generace. Pokud se mšice množí pomocí partenogeneze, jejich vlastní rychlost nárůstu v populaci je dvakrát rychlejší než u jiných podobně velkých druhů hmyzu, které se rozmnožují sexuálně. Mšice se po většinu roku množí pomocí partenogeneze, ovšem na podzim je potřeba větší genetická různorodost, aby jedinci přežili obtížnější podmínky během chladnějších dnů, tak se začnou rozmnožovat sexuálně (Jayasinghe et al. 2021).

Důležitým faktorem je, že embrya v matce-mšici nesoucí je, jsou též schopna samy tvořit embrya (Dixon 1992). Populace mšic tak roste exponenciálně. Snižuje se tak doba mezi narozením a dospělostí. Podporuje to tak dlouhodobou persistenci virů v rostlinách. Cyklus mšice od narození po dospělost tak trvá jeden týden, u jiných podobných druhů to trvá týdny čtyři (Jayasinghe et al. 2021). Mšice tak mají značnou reprodukční výhodu, kterou jako by snad převzaly od značně menších organismů (Dixon 1992).

3.5.2.3 Polyfenismus

Jedná se o rozdíl mezi jednotlivými generacemi.

Polyfenismus je významným biologickým faktorem mšic. Mšice jsou schopny produkovat jak okřídlenou formu (alátní), tak formu bez křídel (aptérní) (Jayasinghe et al. 2021). Alátní forma vyžaduje mnohem větší spotřebu energie na její produkci. Díky tomu, že se tyto formy produkují separátně, mohou mšice chytře rozdělit svou energii (Dixon et al. 1993). Produkce alátní formy závisí na hustotě populace mšic a kvalitě hostitelské rostliny (Jayasinghe et al. 2021). Stres z příliš vysoké populace způsobí, že se může až desetkrát zvýšit produkce alátních mšic (Müller et al. 2001). Ty pak odletí a přemístí se na jiného hostitele a tím podpoří přenos viru (Westwood et al. 2013).

Okřídlená varieta mšic je unášena větrem na velké vzdálenosti. Tím se může snadno dostat do nových oblastí a zavléct tam infekci. Mšice využívají k rozmnožování partenogenezi, proto stačí k udržení populace na novém místě pouze jeden jedinec. Do ČR tak byly zavlčeny např. ruské obilné mšice *Diuraphis noxia* (1997) nebo ruské obilné mšice *Diuraphis noxia* na netýkavkách, *I. glandulifera* ze Sibíře (1968) (Havelka et al. 2005).

3.5.2.4 Kolonizace hostitelské rostliny

Mšice se musí dostat k infikované rostlině, aby mohla získat virus, přijmout virus do svého těla a přenést ho na nového (zdravého) hosta (rostlinu) (Ng & Falk 2006). Vlivem evoluce si viry vyvinuly mnohé mechanismy, aby mohly maximálně ovlivnit předchozí kroky k zajištění co nejjistějšího a nejbezpečnějšího přenosu na nové hosty (Jayasinghe et al. 2021).

Mšice mohou kolonizovat rostlinu, ale nemusí (Jayasinghe et al. 2021).

- 1) Přechodný non-vektor – přistane na rostlině, ale nekolonizuje ji ani ji neinfikuje virem.
- 2) Přechodný vektor – nekolonizuje, ale přenáší virus.
- 3) Kolonizující non-vektor – kolonizuje, ale nepřenáší vir.
- 4) Kolonizující vektor – kolonizuje a přenáší vir.

(Jayasinghe et al. 2021)

Přechodné vektory jsou hlavními přenašeči nepersistentních a některých semipersistentních virů ve styletu. Což je významným nebezpečím pro plodiny, neboť stačí krátká doba krmení mšicí na rostlině a stane se infikovanou (Jayasinghe et al. 2021).

Kolonizující vektory jsou hlavními přenašeči persistentních a některých semipersistentních virů v předních vnitřnostech. Tyto viry potřebují k přenosu delší dobu krmení mšice na rostlině. Viry lákají mšice na infikované rostliny. Létající mšice primárně vyhledávají nové hostitelské rostliny (Jayasinghe et al. 2021).

1) Jak jsou mšice lákány na viry nakažené rostliny

Mšice lépe vnímají žluté barvy, proto je pravděpodobné, že usednou na napadenou rostlinu, která je zežloutlá následkem virové infekce (Jayasinghe et al. 2021).

2) Prvotní kontakt s rostlinou, průzkum

Mšice se rozhoduje, zda na rostlině přetrvá, nebo zda se přesune na jinou rostlinu. Mšice prozkoumávají rostlinu a hledají vhodné místo pro penetraci styletem, přičemž provádí typický pohyb tykadél. Rovněž po přistání se pohybují po těle rostliny, neboť různý druh saje na různých částech rostlin. *M. persicae* např. preferuje kolonizaci rubu listů před svrchní stranou (Jayasinghe et al. 2021).

3) Zkušební sání, akvizice a inokulace virů pocházejících ze styletu

První sání obvykle trvá kratší dobu než minutu a zasahuje pouze epidermální buňky. Mšice mohou rostlinu takto „otestovat“ a když se jim nebude zamlouvat tak přelétají na jinou nebo na jinou část téže rostliny (Nault & Styer 1972). I při takovémto zkoušení se mohou mšice „nakazit“ virem z rostliny a následně ho přenášet. (Např. Potyvirus, CMV) Pokud je rostlina nenakažená, tak virus cestuje ze slinných žláz mšice přímo do ní (Jayasinghe et al. 2021).

4) Penetrace hlouběji pod epidermis

Část mezi epidermis a floémem. Mšice se primárně živí floémem – floémovou mizou, proto mšice zaboří svůj stylet hlouběji do mezibuněčných prostor (Nault & Styer 1972). Tato fáze může trvat minuty až několik hodin (Jayasinghe et al. 2021).

5) Penetrace floému, inokulace virů floému

Některé viry jsou schopny se pohybovat pouze ve floému. (Luteovirus, closterovirus atd.) Punkce floému je následována vpravením slin do floému, přičemž spolu se slinami se do něj dostanou i viry popř. viriony (Jayasinghe et al. 2021).

6) Sání floému, akvizice

Slinění během krmení pokračuje, ovšem vlivem vzniklého hydrostatického tlaku se sliny nedostanou do floému. Sliny se tak dostávají do kanálu určenému ke krmení (Jayasinghe et al. 2021).

3.5.2.5 Retence patogenu ve vektoru

Vir musí zůstat v těle mšice, dokud není přenesen na hostitelskou rostlinu. To, jak dlouho musí v těle mšice zůstat, aby byl schopen se přenést na rostlinu závisí na konkrétním viru. Může se jednat o vteřiny ale i o dny. To, jak je vir schopen cirkulovat pak rozhoduje, zda skončí ve styletu či ve slinných žlázách (Jayasinghe et al. 2021).

3.5.2.6 Efekt pobytu patogenu ve vektoru

Interakce mezi mšicemi a hostitelskou rostlinou a jejich biologie je výrazně ovlivněna rostlinnými viry. Jedná se na příklad o změnu nutriční kvality hostitelských rostlin. Mšice nakažená virem může být více odolná proti teplu, spíše si vybere rostlinu nenakaženou (Jayasinghe et al. 2021).

3.5.2.7 Vývojový cyklus

Přezimuje vajíčko na primárním zimním hostiteli. Brzy zjara se z něj vylíhne zakladatelka fundatrix která dá vzniknout několika partenogenetickým generacím na jarním listí primárního hostitele. Partenogenetické samičky žijí asi měsíc a vyprodukují 50-100 nymf. Koncem jara listí stárne začíná být jako potrava nevhodné a objevují se jarní okřídlení migranti, kteří se stěhují na sekundární hostitele. Tam se během léta a podzimu vyvíjí větší počet generací bezkřídlých jedinců. V průběhu podzimu se stávají sekundární hostitelé nevyhovujícími. Klesá obsah výživných látek, zkracuje se den, snižuje se teplota a vyvíjí se generace samiček produkující jedince obou pohlaví. Ti migrují na zimní hostitele, kde samičky kladou po oplození přezimující vajíčka. Mšice jejichž vývoj probíhá výše popsaným způsobem s přezimujícími vajíčky jsou označovány jako holocyklické. Při anholocyklickém vývoji přezimují mšice ve stadiu partenogenetické samičky. Druhy vyvíjející se celou dobu na jediné hostitelské rostlině označujeme jako monocyklické, druhy dicyklické v průběhu roku hostitele střídají. (Fryč & Rychlý 2014)

Mšice mají obvykle více generací v jednom roce, jedinci různých generací jsou tvarově odlišní a sají na různých hostitelských rostlinách. Obvykle mívají mšice holocyklický vývoj. Ten spočívá ve střídání pohlavních a nepohlavních generací. Primární rostlina bývá dřevina, kde přezimují, zde přežívá několik generací, pak přijde okřídlená generace, přesune se na novou hostitelskou rostlinu, na které žijí na období jaro-léto. Často se jedná o byliny (Honěk et al. 2021).

3.5.2.8 Ochrana před mšicemi

Mšice jsou z části regulovány afidofágy jako jsou např. bejlmorka, slunéčko, pestřenka, zlatoočko, mšicomar aj (Honěk et al. 2021). Pro udržení rovnováhy populace mšic je důležitá biodiverzita prostředí. Výskyt parazitů a parazitoidů podpoří kvetoucí rostliny. Jejich nektar a pyl zase přiláká afidofágy, kteří se živí mšicemi. Při překročení prahu škodlivosti by se mělo zasáhnout pomocí certifikovaného přípravku proti mšicím vhodným pro pěstovanou plodinu (Holý et al. 2021).

Langoya a Rijn (2008) zdůrazňují důležitost pestrosti květu, což podpoří nepřátele mšic např. pomocí kvetoucích pásů po obvodu.

Dle Elwella & Masse (1995) napomůže regulace mravenců k omezení populace mšic, neboť mravenci chovají mšice za účelem sběru jejich medovice. Mravenčí kolonie lze korigovat např. pomocí kypření půdy nebo závlahou, larvy se tak dostanou na povrch, budou zkonsumovány nebo je spálí slunce (Elwell & Mass 1995).

Dalším prostředkem na regulaci mšic je též neem azaal. Jedná se o biopesticid z výtažku tropické rostliny *Azadirachta indica*, přičemž účinná látka se propije skrz list a koluje v celém systému rostliny (Dvořák & Mičák 2013). Při sání mšic dojde k utlumení její aktivity. Larvy ve velké míře ihned zahynou. Mírná mortalita se vyskytuje i u imag. Imaga jsou pak neplodná. I přesto že se jedná o biopesticid je důležité ho aplikovat za bezvětří, neboť mnohé rostliny jsou na něj značně citlivé. Obzvláště ovocné stromy konkrétně hrušně (NeemAzal příbalový leták 2015).

Nelze však opomenout, že biologická ochrana, jakou je např. právě neem azaal, je neselektivní, tedy nehubí pouze mšice a z toho důvodu se její použití nedoporučuje (Dvořák & Mičák 2013).

Dále lze z rostlinných přípravků použít např. chilli papričky, kopretiny, anýz, pažitku, česnek, cibuli, ředkvičky, petržel, lichořeřišnici větší, bojínek luční, pohanku obecnou. Kopretiny však ve větší míře mohou zahubit i predátory, kteří jsou důležití pro rovnováhu ekosystému, jíž chceme docílit (Dvořák & Mičák 2013). Můžeme použít jak výtažek z dané rostliny nebo pěstovat společně s plodinou tzv. intercropping. Intercropping cibule je velmi účinný u PVY brambor (Potts & Gunadi, 1991).

Jako konkrétní příklad je možno uvést PVY. Vhodnou prevencí proti této viróze je předkličování a mulčování. Předkličování hlíz snižuje výskyt PVY až o 50 %. Mulčování reguluje populaci mšic a díky tomu lze snížit infekci PVY o 28 % (Dvořák & Mičák 2013).

Alternativní možnost ke zmírnění výskytu PVY je mechanické odstranění natě napadené mšicemi případně tzv. „green crop lifting“. Při „green crop lifting“ je nať při sklizni ještě zelená, neodstraňuje se, jedná se vlastně o velmi brzkou sklizeň, díky tomu je o 17 % méně PVY viru. Ovšem naopak dochází k poklesu výnosu o 18 %. Dalšími nevýhodami jsou zvýšené nároky na techniku, nevyzrálость hlíz, zvýšené mechanické poškození a hniloby (během skladování) (Dvořák & Mičák 2013).

Ovšem rozhodně není správné pokoušet se vyhubit mšice zcela. Jen udržovat jejich počet v adekvátní míře. Neboť mšice slouží jako potrava pro jiný prospěšný hmyz (Holý et al. 2021).

Jako další možnost ochrany před mšicemi je možné využít i parazitických vosiček a parazitických hub (Fryč & Rychlý 2014).



Obrázek č. 4 Zástupci infrařádu *Aphidomorpha* pod mikroskopem (Zdroj: vlastní fotografie)

3.5.3 Křísi (*Auchenorrhyncha*)

Jedná se o hmyz s proměnou nedokonalou, chybí stádium kukly a nymfa se podobá dospělci. Ústní ústrojí je bodavě sací a směřuje dolů, dozadu. Většinou jsou vyvinuty 2 páry křídel. První pár je většinou u kříسů zcela nebo z části sklerotizovaná. Dospělci i nymfy sají rostlinné šťávy (Holý et al. 2021).

Křísi patří do řádu polokřídých (*Hemiptera*). Na území České republiky je momentálně registrováno 430 druhů. Jsou řazeni do 5 čeledí z nichž je nejpočetnější čeleď křískovití (*Cicadellidae*) (Šefrová 2015).

Křísi jsou polyfágní. Tj. jsou schopni se živit rostlinami, které nejsou blízce příbuzné (Beanland et al. 2000).

Jelikož jsou křísi primárně fytofágní, jejich hlavní význam spočívá v přenosu patogenních organismů na rostliny. Jsou významnými škůdci polních plodin, ovocných dřevin, chmelu, révy i okrasných rostlin (Šefrová 2015).

Na příklad (*Laodelphax striatellus*) je významným přenašečem tzv. „rice stripe Tenuivirus“ (Lee 2023). Dále křísi přenáší i bakteriózy jako na příklad onemocnění způsobená bakterií *Xylella fastidiosa*. Tato bakterie napadá citrusy a je rozšířená obzvláště v jižní části Spojených států amerických (Overall & Rebeck 2017).

Přítomnost křísi lze zjistit smýkáním, nebo pomocí odchyty na barevné misky. Jejich regulace pomocí insekticidů je nepodstatná viz kapitola o fytoplazmách (Stillson et al. 2020).

3.5.3.1 Morfologie

Křísi mají širokou trojúhelníkovou hlavu. Bodavě sací ústrojí směřuje šikmo pod hrud'. Mají krátká tykadla. Křídla jsou střechovitě složena nad zadečkem. Třetí pár nohou může být skákavý. (Viz Obrázek č. 5 Zástupce podřádu *Auchenorrhyncha* pod mikroskopem (Zdroj: vlastní fotografie)) Příbuzné druhy lze rozlišit podle kopulačních orgánů. (Šefrová 2015).

3.5.3.2 Vývoj

Samičky kladou vajíčka přímo do pletiv rostlin pomocí kladélka na konci zadečku. Larvy jsou méně sklerotizované než dospělci. Prochází 5 instary, při třetím svlékání se začínají tvořit křídla (Šefrová 2015).



Obrázek č. 5 Zástupce podřádu *Auchenorrhyncha* pod mikroskopem (Zdroj: vlastní fotografie)

3.5.4 Ploštice (*Heteroptera*)

Ploštice (*Heteroptera*) jsou významnou skupinou řádu polokřídých (*Hemiptera*) (Šefrová 2015). V České republice bylo zaznamenáno přes 850 druhů, které jsou zařazeny do 44 čeledí (Aukema 2013). Většina druhů ploštic žije na souši, ale existují i takové druhy, které se vyvíjí nebo přímo žijí na vodní hladině. Některé dravé druhy se podílejí na bioregulaci bodavě savého hmyzu. Ovšem naopak některé fytofágní druhy jsou škůdci polních a zahradních rostlin (Šefrová 2015).

3.5.4.1 Morfologie

Ploštice mají obvykle dorsoventrálně zploštělé tělo. Mají bodavě sací ústní ústrojí. Na hlavě mají výrazné lící laloky (*geanae*) a čelní lalok (*tylus*). Hřbetní strana předohrudi tvoří široký štít. Středohruď vybíhá na hřbetě ve štítek (*scutellum*). Křídla jsou v klidu ploše složená na zadečku. První pár je vytvořen v podobě polokrovek (*hemielytrae*), které jsou v bazální části sklerotizované a na vrcholu blanité (membrána). Druhý pár křídel je blanitý, někdy bývá zakrnělý nebo chybí. Chodidla ploštic jsou obvykle tříčlenná. Zadeček bývá po stranách rozšířený v lem (*konnexivum*). Ploštice mají vyvinuty řadu způsobů stridulace, odlišných u různých čeledí (Šefrová 2015).

3.5.4.2 Vývoj

Ploštice mají proměnu nedokonalou tzv. paurometabolií. Larvy projdou třemi instary, než se stanou dospělci. Živí se stejným typem potravy jako dospělci. Žijí ve skupinách pospolu. Ploštice mají obvykle během roku jednu až dvě generace. Kněžicovití obvykle přezimují ve spadném listí jako dospělci. Ovšem všeobecně ploštice nejčastěji přezimují ve formě vajíček. Vajíčka jsou vpravována do rostlinných pletiv pomocí kladélka (Šefrová 2015).

3.5.4.3 Ploštice jako vektor

Heteroptera jsou spojována s mnoha závažnými houbovými onemocněními jako na příklad rakovina stromů, bakteriální skvrnitost listů (*Pseudomonas cichorii*), fusariové vadnutí, a různé hniloby obilnin a luštěnin (Agrios 1980).

Ploštice mohou přenášet houbová onemocnění, fytoplazmy, bakterie, viry, prvoky. Přenos bakteriálních onemocnění mají na svědomí primárně jedinci z čeledi *Miridae* (konkrétně nejčastěji *Cimicomorpha*) naopak houbová onemocnění přenáší primárně čeleď kněžicovití (*Pentatomidae*) a vroubenkovití (*Coreidae*) nejčastěji jedinci z infrařádu *Pentatomomorpha*. Jsou zaznamenány i přenosy virů a fytoplazem, ovšem ty jsou zanedbatelné (Mitchell 2004).

Přenos patogenu je vázán na narušení pletiva a krmením vektoru na hostiteli. Ploštice *Heteroptera* nejsou považovány za vážnou hrozbu i přesto, že sdílí stejné stravovací návyky jako *Hemiptera*. Zjednodušeně by se způsob jejich krmení dal nazvat „narušit a spláchnout“. Nejprve dojde k penetraci cévní tkáně, pak se zahájí mechanismus osmotické pumpy, aby byl získán obsah buňky bez toho, aby byla narušena její stěna.

Průnik do pletiv rostliny probíhá pomocí styletu. Ke krmení používají soustavu styletů skládající se ze dvou maxilárních vnitřních styletů a ze dvou vnějších mandibulárních styletů.

Maxilární stylety – jedním jsou sliny tlačeny dolů a druhým jde potrava nahoru. Můžou produkovat dva druhy slin – řídké vodové a husté gelové (Miles 1968).

Heteroptera jsou větší než mšice nebo křísi, tedy i jejich stylet je větší. Velikost je důležitá, neboť širším kanálem projde více patogenních částic. Také to způsobuje větší poškození pletiv. Mšice dokážou perforovat tkáň bez poškození. Tedy se viry dostanou do neporušených buněk. (Pollard 1973). Oproti tomu mohutný stylet ploštic způsobí narušení. V některých případech tak dojde k porušení buněk. V některých se vytvoří princip osmotické pumpy a k narušení nedojde (Miles 1968).

Ústní ústrojí *Sternorrhyncha* je považováno za ideální pro přenos, neboť nezpůsobuje tolik poškození jako ústní ústrojí ploštic. Pro přenos je nutné, aby buňka zůstala neporušená. Proto bychom mohli říct že *Myridae* a druhy, které způsobí narušení buněk při krmení jsou velmi nepravděpodobnými přenašeči. Paradoxně i přesto lze najít výjimky jako je *E. nicotianae* (Mitchell 2004).

Problém je, že po krmení ploštic vznikají rakovinné léze a z nich dříve rostlinolékaři nemohli určit, zda se jedná o virovou nákazu, nebo pouze o poškození způsobené krmením ploštic (Mitchell 2004).

Virus je ve střevech, hemolymfě a výkalech, ale nikdy ne ve slinných žlázách. U ploštic je prodloužena doba infekční periody až na 9 dní. Patogen je přenášen z matky na vajíčko (Mitchell 2004).

3.5.5 Kůrovcovití (*Scolytinae*)

Kůrovcovití (*Scolytinae*) jsou podčeleď, jenž je součástí čeledi nosatcovití (*Curculionidae*). Většina z nich se vyvíjí pod kůrou lesních dřevin, na kmenech i větvích a tím způsobuje jejich poškození. Jejich aktivita může být způsobena suchem a extrémními teplotami. Brouci z podčeledi kůrovcovití obvykle bývají hnědě zbarvení v řádové velikosti do 10 mm (Zahradník & Knížek 2016).

Kůrovci jsou fytofágní nebo fytošugní, tedy škodí stromům sáním nebo žírem. Tím způsobují stres, díky němuž může dojít až k úhynu dřeviny. Kůrovcovití patří k nejvážnějším hmyzím škůdcům lesních porostů u nás, zejména na jehličnatých dřevinách (Knížek et al. 2007).

Rojení kůrovců probíhá na jaře v období dubna a května. Druhá generace se vyrobí v létě během července a srpna. V období mezi rojením, bychom měli provádět preventivní a ochranné zákroky viz kapitola ochrana a prevence, asanace (Lubojacký et al. 2018).

Ranger et al. (2016) uvádí, že náchylným vůči kůrovcovitým jsou právě oslabené rostliny pod různými stresovými faktory jako je sucho nebo naopak povodně, zamokření, chladové a mrazové poškození. Toto potvrzují Holuša & Trombik (2014) a ještě více upřesňují, že napadení kůrovci koreluje s disturbančními faktory působící na lesní porost. Jedná se na příklad o výkyvy v počasí – sněhové a větrné kalamity, sucho, zamoření aj. (Holuša & Trombik 2014).

3.5.5.1 Symptomy

Napadený strom lze identifikovat podle jasných symptomů provázených napadení kůrovci. Prvním symptomem na stojícím stromě jsou drtinky na patě kmene. Drtinky jsou drobné piliny, které kůrovci vyhrnují z nimi způsobených požerek. Na kmenech se objevují závrtky.

Následně dochází ke změně barvy jehličí, které pomalu rezne a začíná opadávat. V místě napadení dochází k opadu kůry. Po napadení kůrovcem bohužel strom již nejde zachránit. Musí se pokácet a následně asanovat. Proto je velmi důležitá prevence a regulace stavu kůrovců v lesích (Zahradník & Knížek 2016; Lubojacký et al. 2018).

3.5.5.2 Ochrana a prevence

V rámci prevence je doporučováno vyhledávat a odstraňovat atraktivní dřevo pro namnožení kůrovce, zejména polomrtvé dříví, dříví z těžby. Jednotlivé druhy kůrovců preferují jiné části stromů. Proto je nutné prevenci zacílit podle převládajícího druhu kůrovce. Atraktivní dříví by se mělo odstranit do března nejpozději do dubna v závislosti na rojení kůrovce. Hledat a likvidovat napadené dříví je nutné po celý rok. Měly by se kontrolovat zejména lokality, kde se kůrovec dříve vyskytoval, kalamitní holiny a osluněná stanoviště. Okamžitou asanací lze zabránit vyrojení brouků (Zahradník & Knížek 2016; Lubojacký et al. 2018).

Další možností jsou tzv. lapáky. Jedná se o pokácený, odvětvený strom, který slouží k odvrácení pozornosti od zdravých stromů. Je důležité je kontrolovat, když budou zaplněné vyrobít a přidat nové lapáky. Před rojením se lapáky asanují (Zahradník & Knížek 2016; Lubojacký et al. 2018).

Existuje varianta otrávených lapáků. Brouci jsou lákáni feromony na lapáky, které jsou ošetřeny schválenými insekticidy, jež je zahubí (Zahradník & Knížek 2016; Lubojacký et al. 2018). Nevýhodou otrávených lapáků je neúmyslné zahubení i ostatních členovců nejen kůrovce. Jsou méně účinné než obyčejné lapáky (Holuša & Trombik 2014).

Brouky lze zachytit i do feromonových lapačů. Brouci jsou lákáni feromony, následně narazí na překážku a spadnou do nádoby (Zahradník & Knížek 2016; Lubojacký et al. 2018).

Na začátku sezóny Ranger et al. 2016 doporučují rozmístit pasti. Tím lze zjistit jaká je abundance kůrovců v dané lokalitě a podle toho nastolit opatření. Vhodnou prevencí pro dřeviny zvláště náchylné kůrovci je použít insekticidy na bázi pyrethroidů zpočátku jara (Ranger et al. 2016).

3.5.5.3 Asanace

Asanace napadeného dřeva probíhá dvěma způsoby, a to mechanicky a chemicky. Při mechanické asanaci napadené dřevo ručně odřezáváme a ukrajujeme. Odřezané části pak pálíme, nebo štěpkujeme. U některých druhů kůrovce napadajících i větve lze použít pouze tuto metodu. Při chemické asanaci strom potřeme insekticidem. Pro kontrolu se přidá do přípravku barvivo. Insekticid aplikujeme pomocí zádového postřikovače. Postřik se aplikuje na suché dřevo a samotná vrstva postřiku musí zaschnout dříve, než začne pršet. Kmen musí být pokryt insekticidem ze všech stran. Chemickou asanací lze provést v jakémkoliv stádiu napadení kůrovcem. Pro nakládání s přípravky je nutné mít platné oprávnění (Zahradník & Knížek 2016).

Podle Ranger et al. (2016) je asanace dřevin až konečné řešení, ale naopak je důležité je jako prevenci udržovat vitální. Zvládnou se tak bránit patogenním organismům samy (Ranger et al. 2016).

3.5.5.4 Ambrosioví brouci

Mezi kůrovci existují druhy, jež mají symbiotický vztah s houbami. Tito brouci se neživí dřevěnou tkání stromů, ale pilinami, které se tvoří při vrtání chodeb brouků, a hlavně myceliem hub. Naopak brouk pomůže houbě tím, že při rojení ji přeneše na další strom a ta se tak může šířit. Tito kůrovci se nazývají tzv. ambrosioví brouci (Farrell et al. 2001).

Živí se velkou skupinou hub z oddělení *Ascomycota*. Nejznámější houba se nazývá podle anglického názvu těchto brouků (Ambrosia beetle) – *Ambrosia fungi* (*Ambrosiella*). Dále jsou kůrovci asociováni s ophiostomatální houbou (*Ophiostoma*), které usnadňují broukům přístup k floému stromů, které na svou ochranu používají pryskyřici. Další významné houby, které ambrosioví brouci přenášejí jsou *Ceratocystis* a *Ceratocystiopsis* (Farrell et al. 2001).

Jedním z významných ambrosiových brouků je *Xyleborus affinis*. Přítomnost *Xyleborus affinis* v České republice zmínil i Zahradník (2017).

Xyleborus affinis klade vajíčka do tzv. fungálních zahrádek, do epicentra houbové infekce. Jsou schopni se provrtat až hluboko do xylému. Tento způsob pěstování hub k potravě může připomínat listorezné mravence rodu *Atta*. Houby blokují pryskyřičné kanálky jehličnanů (Farrell et al. 2001).

Jednotlivé druhy kůrovců se obvykle specializují na určitý druh stromu, obvykle jehličnany. Ovšem ambrosioví brouci nikoliv. Mají širší spektrum hostitelských dřevin (Farrell et al. 2001; Ranger et al. 2016).

Dalšími zajímavými druhy z rodu *Xyleborus* jsou na příklad drtník ovocný (*Xyleborus dispar*) a drtník všežravý (*Xyleborus saxeseni*). Drtník ovocný napadá oslabené ovocné dřeviny. Zvláště slabší dřevo. Tvoří v něm chodby, které prorůstají symbiotickými houbami. Tento drtník se živí dřevem napadeným těmito houbami a plísněmi. Drtník všežravý naopak napadá tlusté větve oslabených dřevin. Ve dřevě vytvoří kapsovitou dutinu, která prorůstá symbiotickými houbami. Napadené dřevo pak požírá. Jak lze již vydedukovat z jeho jména, tento drtník napadá v podstatě všechny listnaté dřeviny (Horáková & Horák 2010).

Dále stojí za zmínku drtník prostřední (*Xyleborus monographus*). Živí se bělí dubů napadenou symbiotickými houbami. Ovšem výjimečně se může stát, že napadne i jiné listnáče s tvrdým dřevem či dokonce ovocné dřeviny. Jedná se o sekundárního technického škůdce pokáceného dříví (Horáková & Horák 2010).

Podle Eskalen et al. (2013) mají jisté druhy drtníků symbiotický vztah i s houbami *Fusarium*. Eskalen et al. 2013 zaznamenali rozšíření této houby ve spojitosti s ambrosiovými brouky v USA a Izraeli. Konkrétně na avokádovnicích v Kalifornii. Houba způsobuje, že voda nemůže proudit stromem, tedy nedostává živiny a umírá. Brouci se primárně živí houbou. Momentálně je nejasné, o jakého konkrétního brouka se jedná. Jediné, co je jisté je, že je z čeledi *Scolytinae* a je podobný drtníkům (Eskalen et al. 2013).

Xylosandrus germanus (Blandford) a *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky) (*Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae*) jsou dva nejvíce škodliví ambrosioví brouci. Samičky brouka vrtají chodby do dřeva větví a kmene. Hostitelská dřevina je infikována symbiotickými houbami *Ambrosiella* spp., které slouží jako potrava pro larvy i dospělé. Rostliny mohou být nakaženy i sekundární infekcí hub *Fusarium* spp. (Ranger et al. 2016).

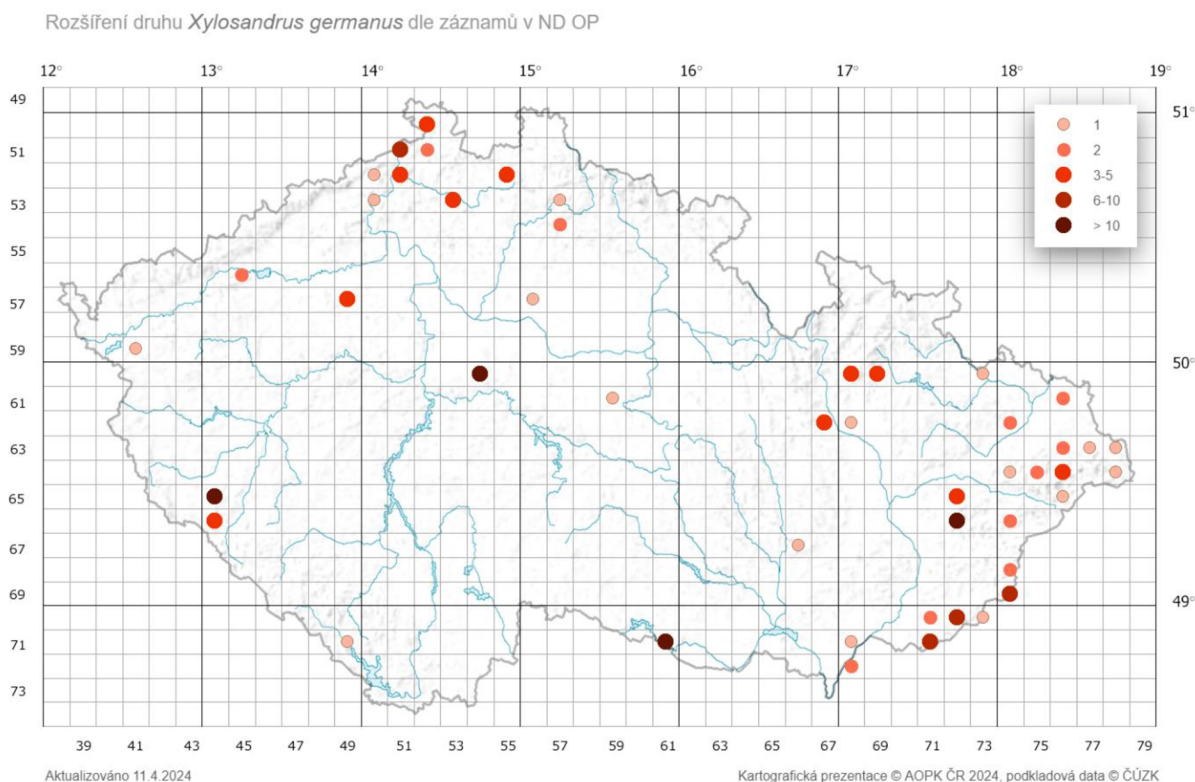
Xylosandrus germanus a *X. crassiusculus* jsou subtropické druhy nativní v jihovýchodní Asii (Ranger et al. 2016). Zahradník (2017) uvádí výskyt *X. germanus* v České republice (viz

Obrázek č. 6 Mapa rozšíření ambrosiového brouka *Xylosandrus germanus* v České republice (“Mapy výskytu *Xylosandrus germanus*” 2024) a Obrázek č. 7 Mapa výskytu ambrosiového brouka *Xylosandrus germanus* v České republice (“Mapy výskytu *Xylosandrus germanus*” 2024)), ovšem zdá se, že *X. crassiusculus* zatím nebyl na našem území zaznamenán.

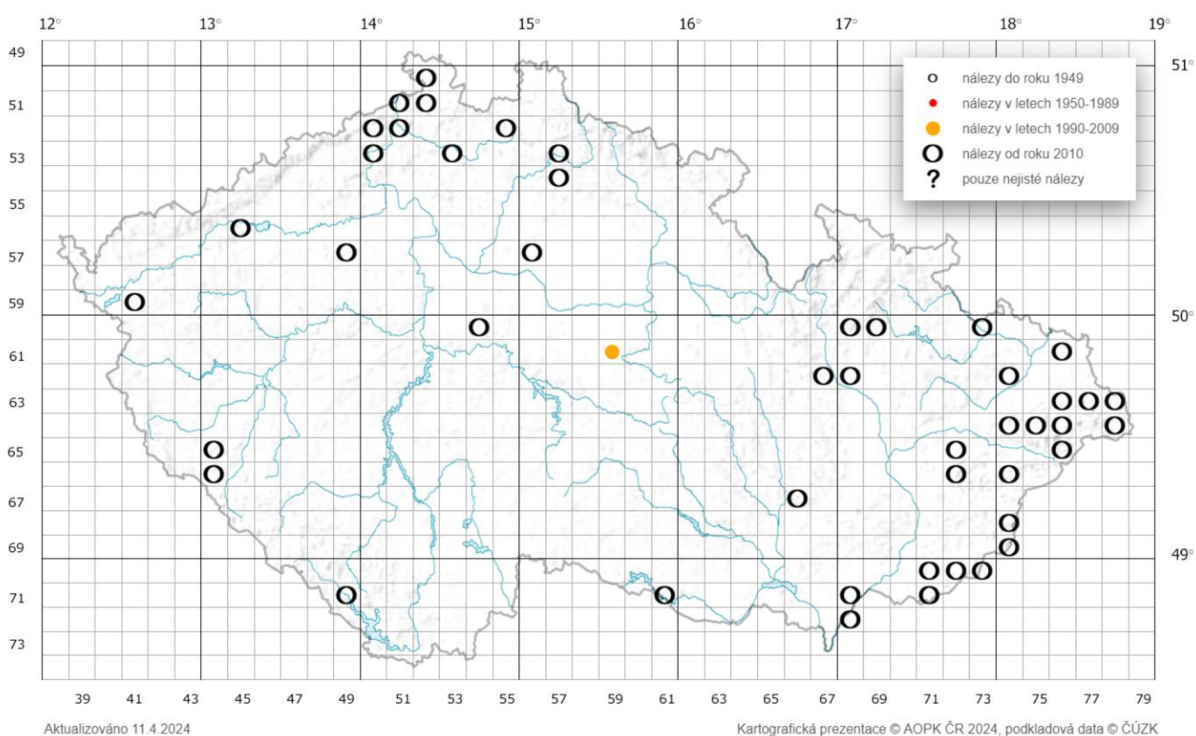
Tyto druhy je zvláště obtížné kontrolovat, neboť mají širokou škálu hostitelských rostlin, mají symbiotický vztah s houbami a rozmnožují se haplodiploidním způsobem (Ranger et al. 2016). Tj. z oplozeného vajíčka se vylíhne samice z neoplozeného vajíčka se vylíhne samec. Stejně jako se děje na příklad u včel či mravenců (Švand et al. 2004).

Samice přenáší spory v membránových vacích zvaných mycangia, které slouží k tomu, aby se spory udržely v čistých kulturách (Farrell et al. 2001; Ranger et al. 2016). Tyto mycangia jsou zachycená na hrudi (thoraxu), konkrétně na předohrudi (prothorax) a středohrudi (mesothorax). Spory těchto symbiotických hub samice zanesou do chodeb, které vrtají v hostitelské rostlině (Ranger et al. 2016). Tyto houby pak slouží nejen jako potrava pro brouky, ale i jako nástroj k zeslabení obrany stromu (Farrell et al. 2001).

Podle Fialy (2019) jsou ambrosioví brouci značným problémem. Článek Fialy (2019) ukazuje, že ambrosioví brouci zaujímají významnou pozici v rozložení kůrovcovitých na jimi zkoumaném území. (NPP Komorní hůrka) Tedy jsou velmi aktuální i pro Českou republiku (Fiala 2019).



Obrázek č. 6 Mapa rozšíření ambrosiového brouka *Xylosandrus germanus* v České republice (“Mapy výskytu *Xylosandrus germanus*” 2024)



Obrázek č. 7 Mapa výskytu ambrosiového brouka *Xylosandrus germanus* v České republice (“Mapy výskytu *Xylosandrus germanus*” 2024)

3.6 Ochrana rostlin

Ochranu rostlin můžeme dělit na aktivní a pasivní. Aktivní ochrana rostlin spočívá v syntéze obranných látek. Pasivní obrana závisí na morfologii a anatomii rostliny (trichomy, ostny, trny aj.) (Řepková 2013).

Dále lze ochranu rostlin dělit na konstitutivní a indukovanou. Konstitutivní obrana je předem daná. Je vytvořená jako fyzická bariéra (kutikula, buněčná stěna) či různé antimikrobiální látky (pouze pokud jsou přítomné i bez působení stresového faktoru). Indukovaná ochrana právě potřebuje nějaký takovýto spouštěč. Vyžaduje tedy určitou formu indukčního signálu ke své aktivaci (Řepková 2013).

Dále je vhodné zvýšit celkové fitness rostlin, a to dostatečnou závlahou, zajistit, aby rostliny měly dostatek draslíku, a hlavně je nepřehnojovat dusíkem. Tím zajistíme jejich odolnost vůči případné nákaze (Fryč & Rychlý 2014).

3.7 Vektoři jako bioregulátoři

Tato kapitola byla založena na hypotéze, že hmyzí vektor přenesení patogene na plevelnou rostlinu. Ta se nakazí a následně na patogen bude reagovat. Např. nebude se tolik šířit, zahyne, bude sterilní atd.

Ovšem v bioregulacích jsou primárně používány různé přírodní látky, fytohormony (např. kyselina salicylová jakožto rostlinný hormon (Mandal et al. 2021)). Nebo Olaiya et al. (2013) dále uvádí, že se zabývají bioregulátory jakožto chemickými látkami, které ovlivňují biologické reakce v rostlinných tkáních. Touto manipulací pomocí biochemie lze docílit lepší kvality

porostu plodin na úkor plevelu (Olaiya et al. 2013). Případně využití fytofágů, jež predují na generativních orgánech rostlin (Kinkorová 2004; Mézièrea et al. 2013).

Bioregulace se nemusí využívat jen proti plevelům, ale i proti hmyzu jako jsou mšice, mandelinky aj. K takovému účelu se využívají entomofágové jako například dravé ploštice z čeledi *Asopinae*, konkrétně druhy *Perillus bioculatus* Fabr., *Podisus maculiventris* Say, *Oplomus nigripennis* var. *pulcher* Dull (Agas'eva et al. 2016). Tento způsob bioregulace by se dal velmi dobře využít k regulaci hmyzích vektorů a tím docílit lepší ochrany rostlin před chorobami ve výše zmíněných kapitolách. V praxi se tato hypotéza zdá poněkud nepraktická, neboť např. mšice mívají dva hostitele, a to právě plevelnou a kulturní rostlinu. Nákaza z mšice tedy nakazí nejen plevel, ale následně i námi preferovanou kulturní rostlinu. Viz kapitola mšice popř. (Fryč & Rychlý 2014; Fryč & Rychlý 2015; Honěk et al. 2021). Z tohoto důvodu bude v této kapitole pouze všeobecně uvedeno, jak se provádí bioregulace a o co se jedná.

3.7.1 Bioregulace obecně

Biologická ochrana rostlin je významnou alternativou k regulaci plevelů. Obzvláště na místech, kde není možné použít herbicidy. Na příklad v blízkosti zdroje pitné vody. Metody biologické regulace spočívají v použití všech kontrolovatelných organismů jako jsou viry, bakterie, houby, nematoda a hmyz. Biologická ochrana tak splňuje náročná kritéria ekologická, ekonomická, etická i společenská (Kinkorová 2004; Mézièrea et al. 2013).

Integrovaná ochrana rostlin (do které patří právě bioregulace) je nutná k tomu, aby se zmenšily dopady herbicidů na životní prostředí. Ovšem vlivem modifikací ekosystémů (introdukce fytofágů predujících na plevelu) může dojít k vedlejším účinkům jako je přemnožení introdukovaných fytofágů. Neboť nově utvořený ekosystém upřednostňuje introdukované fytofágy. Herbicidy jsou značně problematické nejen kvůli kontaminaci vodních zdrojů, ale i kvůli redukci rostlinných druhů a následné ztrátě biodiverzity (Mézièrea et al. 2013).

Plevelu konkurují kulturním plodinám v široké škále parametrů jako jsou vláha, živiny, světlo, prostor. Toto platí nejen na orné půdě, ale i v sadovnictví, lesnictví, lukařství a pastvinářství. Z toho důvodu je nutné je udržovat na únosné hladině (Kinkorová 2004).

Významným zdrojem plevelů jsou pásy podél silnic, výsypky, skládky aj. Plevely se zde nekontrolovatelně množí (Kinkorová 2004). V současné době jsou nezastupitelným způsobem, jak kontrolovat plevel herbicidy, jež jsou součástí skupiny pesticidů. V současné době je užívání pesticidů na ústupu, proto je ideální příležitost věnovat pozornost alternativním způsobům regulace plevelu. (viz <https://1url.cz/Guxem>)

Dlouhodobá a intenzivní aplikace pesticidů má negativní dopad na životní prostředí. (viz Obrázek č. 8 Vliv pesticidů na životní prostředí (Clearwater et al. 2016)) Důsledky používání pesticidů mohou být nenávratné (Mézièrea et al. 2013).

Tato metoda se nejlépe uplatní u nově zavlečených druhů, které nemají přirozené nepřátele a u plevelů, co se nekontrolovatelně šíří. V takových případech se jedná o levné a ekologické řešení (Kinkorová 2004).

První pokusy o biologickou regulaci plevelu začaly již v 70. a 80. letech minulého století. Pro biologickou ochranu před plevely je klíčové zkoumání vztahu mezi fytofágem a hostitelskou rostlinou (Kinkorová 2004). Rosenthal et al. (1984) uvádějí, že se využívá minimálně 225 organismů k účelům bioregulace. K bioregulaci se primárně používají hmyzí

druhy z řádů: brouci (*Coleoptera*), motýli (*Lepidoptera*) a dvoukřídli (*Diptera*) (Kinkorová 2004).

I přes všechny klady bioregulací se najdou i nevýhody. Organismy, jež jsou k tomuto účelu využívány, bývají nepůvodní. I přesto, že je jejich chování pečlivě testováno v karanténních podmínkách, nelze předpovídat, jak budou reagovat na pro ně nový ekosystém. Dalším problémem je příbuznost plevelných rostlin s hospodářskými. Také je vždy otázkou, jak se bioregulátoři snesou s původními hmyzími druhy. Případně zda nevytlačí jim příbuzné domácí druhy. Nebo dokonce může dojít k zavlečení necílového organismu jako kontaminantu. Bioregulátor by měl být primárně zaměřen na regulování toho, čím se daný plevel rozmnožuje, tj. u asteraceae nažky atd. Plevel je rostlina nežádoucí z hospodářského hlediska (Kinkorová 2004).

3.7.1.1 Způsoby bioregulací

Způsoby bioregulace se dělí podle aplikačních technik a podle cíle ochranného zásahu:

- 1) klasická nebo inokulativní
- 2) “inundative or augmentative“
- 3) konzervativní
- 4) širokospektrální

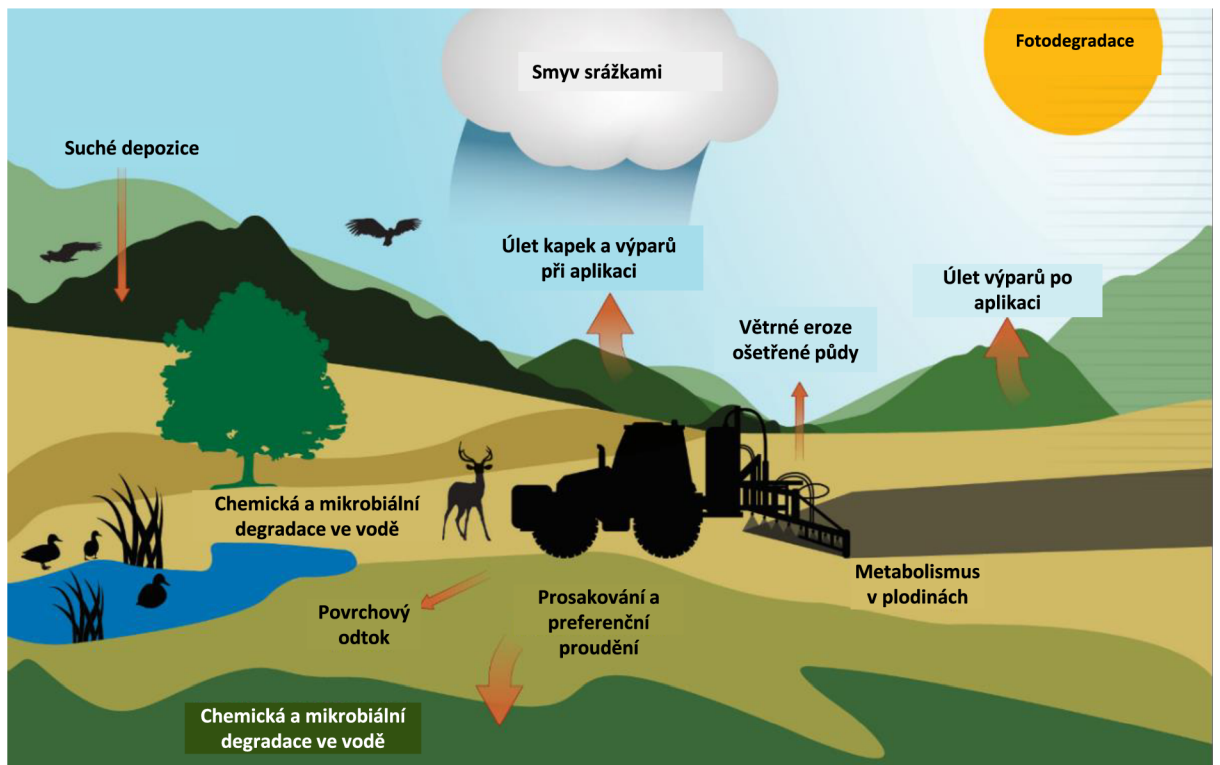
(Kinkorová 2004)

Inokulativní metoda spočívá v tom, že plevelná rostlina byla zavlečena do prostředí, kde nemá přirozené nepřátele. Do tohoto prostředí je tedy introdukován i její přirozený nepřítel. Tento fytofág pak zdomácní a stane se přirozeným v daném ekosystému. Používá se na víceleté druhy plevelu obzvláště na pastvinách a trvalých travních porostech (Kinkorová 2004).

Augmentativní metoda znamená zahuštění populace přirozených fytofágů, pokud se jedná o domácí plevel. Pokud se jedná o plevel nepřirozený pro dané prostředí dojde k introdukci fytofágů z přirozeného prostředí plevelu. Ovšem ti zde nezdomácní a je nutné je dodávat do přírody opakovaně. Tento způsob je vhodný k použití na jednoleté plevely. Ovšem tím, že je nutné fytofágy vypouštět do ekosystému opakovaně, znamenalo by to nutnost založení masových chovů daných fytofágů. Tedy je tato metoda náročná finančně, časově tak i na lidský faktor (Kinkorová 2004).

Konzervativní bioregulace slouží k omezení parazitů, predátorů a chorob působící na domácí fytofágy domácích plevelů (Kinkorová 2004).

Širokospektrální bioregulace je umělá manipulace s populací přirozených nepřátel domácích plevelů (např. pasoucí se se zvířata, vodní savci aj.) (Kinkorová 2004).



Obrázek č. 8 Vliv pesticidů na životní prostředí (Clearwater et al. 2016)

4 Závěr

- Hmyzí vektorů nepřímo způsobují významné škody na kulturních plodinách tím, že přenášejí mnoho patogenních činitelů způsobujících až letální choroby rostlin.
- Jako nejlepší způsob ochrany před těmito onemocněními se ukázalo nejvíce účinné omezení vektorů, podpora fitness rostlin a monitoring abundance nakažených vektorů. Ovšem stále se vyvíjí nové metody. Ukázalo se, že vhodnější jsou extenzivní metody šetrné vůči životnímu prostředí, a tedy není nutné zbytečně užívat pesticidů k hubení vektorů.
- Jak bylo zmíněno v kapitole ohledně vektorů jako bioregulátorů, tato cesta je zjevně lichá, nebo minimálně nedostatečně probádaná. Momentálně se zdá, že tento způsob regulace plevelu není vhodným řešením.

5 Literatura

- ‘*Candidatus Phytoplasma*’, a taxon for the wall-less, non-helical prokaryotes that colonize plant phloem and insects. 2004. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* **54**:1243-1255. Available from <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/ijs.0.02854-0> (accessed March 2024).
- Agas'eva IS, Ismailov VY, Nefedova MV, Fedorenko EV. 2016. The species composition and bioregulatory activity of entomophages in potato pest control system. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* **51**:401-410. Available at <http://www.agrobiology.ru/3-2016agaseva-eng.html> (accessed April 2024).
- Agrios G. 1980. Insect involvement in the transmission of fungal pathogens. Pages 293-324 in Maramorosch K, Harris K, editors. *Vectors of plant pathogens*. Academic Press, New York.
- Agrios GN. 1997. *Plant pathology*, 4 edition. Academic press, San Diego.
- Anderson PK, Cunningham AA., Patel N.G., Morales FJ, Epstein PR, Daszak P.2004. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in Ecology and Evolution* **19**:535–544.
- Attoui H, Becnel J, Belaganahalli S, Bergoin M, Brussaard CP, Chappell JD, Ciarlet M, del Vas M, Dermody TS, Dormitzer PR, Duncan R, Fang Q, Graham R, Guglielmi KM, Harding RM, Hillman B, Makkay A, Marzachi AC, Matthijnssens J, Mertens PPC, Milne RG, MohdJaafar F, Mori H, Noordeloos AA, Omura T, Patton JT, Rao S, Maan M, Stoltz D, Suzuki N, Upadhyaya NM, Wei C, Zhou H. 2012. The Double-Stranded RNA Viruses. *Virus Taxonomy: Classification and Nomenclature: Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*. Elsevier Academic Press 497–659.
- Aukema, B. 2013. *Fauna Europaea: Heteroptera*. Fauna Europaea version 2.6.2.
- Beanland L, Hoy CW, Miller SA, Nault LR. 2000. Influence of Aster Yellows *Phytoplasma* on the Fitness of Aster Leafhopper (*Homoptera: Cicadellidae*). *Annals of the entomological society of America* **93**:271-276. Available from <https://academic.oup.com/aesa/article/93/2/271/77344> (accessed March 2024).
- Blackman RL, Eastop VF. 2006. *Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs*. John Wiley & Sons Ltd.
- Blanc S, Drucker M, Uzest M. 2014. Localizing Viruses in Their Insect Vectors. *Annual Review of Phytopathology* **52**:403–425.
- Bragard C et al. 2020. Pest categorisation of the non EU phytoplasmas of tuber forming *Solanum* spp. *EFSA Journal* **18**:1-59. Available from <http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2020.6356> (accessed March 2024).
- *Bretziella fagacearum*(CERAFA). 2013. Available from <https://gd.eppo.int/taxon/CERAFA/distribution> (accessed April 2024).
- Cicero J, Brown JK. 2011. Functional anatomy of whitefly organs associated with Squash leaf curl virus (Geminiviridae:Begomovirus) transmission by the biotype of

Bemisia tabaci (Hemiptera:Aleyrodidae). Annals of the Entomological Society of America **104**:261–279.

- Clearwater RL, Martin T, Hoppe T. 2020. Environmental sustainability of Canadian agriculture: Agri-environmental indicator report series – Report #4. Available from <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/pesticides-5-2020/cs/> (accessed April 2024).
- de Beer ZW, Marincowitz S, Duong TA, Wingfield MJ. 2017. *Bretziella*, a new genus to accommodate the oak wilt fungus, *Ceratocystis fagacearum* (Microascales, Ascomycota). MycoKeys **27**:1-19. Available from <https://mycokeys.pensoft.net/articles.php?id=20657> (accessed March 2024).
- de Chaves MQ-G, Morán F, Barbé S, Bertolini E, de la Rosa FS, Marco-Noales E. 2023. A new and accurate qPCR protocol to detect plant pathogenic bacteria of the genus ‘*Candidatus Liberibacter*’ in plants and insects. Scientific Reports **13**:1-12. Available from <https://www.nature.com/articles/s41598-023-30345-0> (accessed July 2023).
- Dixon AFG, Horth S, Kindlmann P. 1993. Migration in insects: cost and strategies. Journal of Animal Ecology **62**:182.
- Dixon AFG. 1992. Constraints on the rate of parthenogenetic reproduction and pest status of aphids. Invertebrate Reproduction & Development **22**:159–163.
- Doi Y, Teranaka M, Yora K, Asuyama H. 1967. Mycoplasma- or PLT Group-like Microorganisms Found in the Phloem Elements of Plants Infected with Mulberry Dwarf, Potato Witches' Broom, Aster Yellows, or Paulownia Witches' Broom. Japanese Journal of Phytopathology **33**:259-266. Available from http://www.jstage.jst.go.jp/article/jjphytopath1918/33/4/33_4_259/_article (accessed March 2024).
- Dvořák P, Mičák L. 2013. Regulace mšic a virových chorob v porostech brambor. Pages 21-23 in Švachula V, Dvořák P, editors. Výzkum a zkušenosti – pěstování rostlin v ekologickém zemědělství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha-Uhřetěves.
- Elwell H, Maas A. 1995. Natural Pest & Disease Control. Natural Farming Network, Zimbabwe.
- Eskalen A, Stouthamer R, Lynch SC, Rugman-Jones PF, Twizeyimana M, Gonzalez A, Thibault T. 2013. Host Range of *Fusarium* Dieback and Its Ambrosia Beetle (*Coleoptera: Scolytinae*) Vector in Southern California. Plant Disease **97**:938-951. Available from <https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PDIS-11-12-1026-RE> (accessed April 2024).
- Farrell BD, Sequeira AS, O'Meara BC, Normark BB, Chung JH, Jordal BH. 2001. The evolution of agriculture in beetles (*Curculionidae: Scolytinae* and *Platypodinae*): *Scolytinae* and *Platypodinae*). Evolution **55**:2011-2027. Available from <https://academic.oup.com/evolut/article/55/10/2011/6758180> (accessed April 2024).
- Fiala T. 2019. Kůrovci (*Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae*) v národní přírodní památce Komorní hůrka. Západočeské entomologické listy **10**:34-39. Available from

<https://entolisty.cz/wp-content/uploads/2021/07/10-04-Fiala.pdf> (accessed April 2024).

- Fryč D, Rychlý S. 2014. Mšice: malý atlas do ruky. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Fryč D, Rychlý S. 2015. Mšice: malý atlas do ruky 2. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Ghanim M, Morin S, Czosnek H. 2001. Rate of tomato yellow leaf curl virus translocation in the circulative transmission path way of its vector, the whitefly *Bemisia tabaci*. *Phytopathology* **91**:188–196.
- Gutierrez S, Michalakis Y, Van Munster M, Blanc S. 2013. Plant feeding by insect Vectors can affect lifecycle, population genetics and evolution of plantviruses. *Functional Ecology* **27**:610–622.
- Havelka J, Husák Š, Starý P. 2005. Nová invazní exotická mšice v České republice. *Živa* **4**:174-175.
- Hogenhout S, Oshima K, Anmar E-D, Kakizawa S, Kingdom H, Namba S. 2008. Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects. *Molecular plant pathology* **9**:403-423. Available from <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1364-3703.2008.00472.x> (accessed March 2024).
- Holý K, Stará J, Kocourek F, Ouředníčková J, Skalský M, Pultar O. 2021. Invazní škodlivé organismy ovocných plodin v podmínkách ČR.
- Honěk A, Martinková Z, Platková H, Saska P, Skuhrovec J. 2021. Škůdci na obilninách a jejich přirození nepřátelé, 2021st edition. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Horáková J, Horák J. 2010. Fauna bezobratlých v ovocném sadu: Příspěvek k poznání biodiverzity a populačních hustot pomocí pasivních kmenových nárazových pastí. *Acta Pruhoniana* **96**:53-64. Available from <https://www.calla.cz/stromyahmyz/soubory/Acta96-Horakova,Horak.pdf> (accessed April 2024).
- Hull R. 2014. *Matthew's Plant Virology*. Page 1056. Academic Press, USA.
- Chen AY, Walker GP, Carter D, Ng JC. 2011. A virus capsid component mediates virion retention and transmission by its insect vector. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108**:16777–16782.
- Jayasinghe WH, Akhter MS, Nakahara K, Maruthi MN. 2021. Effect of aphid biology and morphology on plant virus transmission. *Pest Management Science* **78**:416-427.
- Juzwik J, Appel DN, MacDonald WL, Burks S. 2011. Challenges and Successes in Managing Oak Wilt in the United States. *Plant Disease* **95**:888-900. Available from <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-12-10-0944> (accessed April 2024).
- Kinkorová J. 2004. Perspektivy použití biologického hubení plevelů pomocí dvoukřídlých s cílem omezit používání pesticidů. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha. Available from <http://www.phytopsanitary.org/projekty/2003/vvf-10-03.pdf> (accessed April 2024).

- Kluth S, Kruess A, Tschardt T. 2002. Insects as vectors of plant pathogens: mutualistic and antagonistic interactions. *Oecologia* 133:193-199. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s00442-002-1016-3> (accessed July 2023).
- Knížek M, Zahradník P, Liška J. 2007. Současné nebezpečí přemnožení podkorního hmyzu – situace po orkánu Kyrill. Pages 51-52 in Pešková V, Holuša J, Liška J, editors. Aktuální problémy ochrany lesa. Zpravodaj ochrany lesa. Available from https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/03/zol_14_2007.pdf#page=52 (accessed April 2024).
- Koziel E, Otulak-Koziel K, Bujarski JJ. 2021. Plant Cell Wall as a Key Player During Resistant and Susceptible Plant-Virus Interactions. *Frontiers in Microbiology* 12:495.
- Kritzman A, Gera A, Raccach B, van Lent JWM, Peters D. 2002. The route of tomato spotted wilt virus inside the thrips body in relation to transmission efficiency. *Archives of Virology* 147:2143-2156. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s00705-002-0871-x> (accessed April 2024).
- Langoya LA, van Rijn PCJ. 2008. The significance of floral resources for natural control of aphids. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society meeting* 19: 67-74.
- Lee K-Y. 2023. Special issue: Relationship between insect vectors and plant pathogens. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 112. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/arch.21999> (accessed July 2023).
- Lubojacký J, Knížek M, Liška J. 2018. Symptomy napadení stromů kůrovci ve smrkových porostech. *Lesnická práce* 5:1-4. Available from https://voderady-dzbanov.cz/wp-content/uploads/2019/03/2018_kurovci_symptomy_napadeni_kurovcoveho_drivi_ve_smrkovych_porostech.pdf (accessed April 2024).
- Mandal BK, Sharma RP, Verma RK. 2021. To access the efficacy of bio-regulator against tomato leaf curl virus under dry farming condition of South Bihar. *The Pharma Innovation Journal* 10:453-457. Available from <https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue4/PartG/10-4-15-893.pdf> (accessed April 2024).
- Mapy výskytu *Xylosandrus germanus*. 2024. Available from https://portal.nature.cz/cs/w/druh-109331?p_1_back_url=%2Fhledej%3Fq%3Dx.%2Bgermanus#/ (accessed April 2024).
- Masson P, Hulo C, De Castro E, Bitter H, Gruenbaum L, Essioux L, Bougueleret L, Xenarios I, Le Mercier P. 2013. ViralZone: recent updates to the virus knowledge resource. *Nucleic Acids Research* 41:D579–D583.
- Mézière D, Lucas P, Granger S, Colbacha N. 2013. Does Integrated Weed Management affect the risk of crop diseases? A simulation case study with blackgrass weed and take-all disease. *European Journal of Agronomy* 47:33-43. Available from [10.1016/j.eja.2013.01.007](https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.01.007) (accessed April 2024).
- Miles, P.W. 1968. Insect secretions in plants. *Annual Review of Phytopathology*. 3: 137-164

- Mitchell PL. 2004. *Heteroptera* as vectors of plant pathogen. *Neotropical entomology* **33**:519-545.
- Molki B, Ha PT, Cohen AL, Crowder DW, Gang DR, Omsland A, Brown JK, Beyenal H. 2019. The infection of its insect vector by bacterial plant pathogen "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" is associated with altered vector physiology. *Enzyme and Microbial Technology* **129**:1-8. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014102291930095X> (accessed March 2024).
- Müller CB, Williams IS, Hardie J. 2001. The role of nutrition, crowding and interspecific interactions in the development of winged aphids. *Ecological Entomology* **26**:330–340.
- Munyaneza JE. 2024. Zebra chip infected potato tuber. Available from <https://gd.eppo.int/taxon/LIBEPS/photos#> (accessed April 2024).
- Nault LR, Styer WE. 1972 Effects of sinigrin on host selection by aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **15**:423–437.
- NeemAzal příbalový leták. 2015.. BioCont Laboratory. Available from https://www.osetreno.cz/fotky45354/fotov/_ps_115neemazal.pdf (accessed April 2024). Kuznetsova MA. 2024. Discoloration in potato crop. Available from <https://gd.eppo.int/taxon/PHYPAS/photos#> (accessed April 2024).
- Ng JC, Falk BW. 2006. Virus–vector interactions mediating nonpersistent and Semipersistent transmission of plantviruses. *Annual Review of Phytopathology* **44**:183–212.
- Ng JCK, Perry KL. 2004. Transmission of plant viruses by aphid vectors. *Molecular Plant Pathology* **5**:505–511.
- Olaiya OC, Gbadegesin, Nwauzoma, BA. 2013. Bioregulators as tools for plant growth, development, defence and improvement. *African Journal of Biotechnology* **12**:4987-4999. Available from <http://academicjournals.org/journal/AJB/article-abstract/A53F8A430218> (accessed April 2024).
- Overall LM, Rebek EJ. 2017. Insect Vectors and Current Management Strategies for Diseases Caused by *Xylella fastidiosa* in the Southern United States. *Journal of Integrated Pest Management* **8**:1-12. Available from <https://doi.org/10.1093/jipm/pmx005> (accessed April 2024).
- Pirone P. 1964. Aphid transmission of a purified stylet-borne virus acquired through membrane. *Virology* **23**:107–108.
- Pirone TP, Blanc S. 1996. Helper-dependent vector transmission of plant viruses. *Annual Review of Phytopathology* **34**:227–247.
- Pirone TP, Harris KF. 1977. Nonpersistent transmission of plant viruses by aphids. *Annual Review of Phytopathology* **15**:55–73.
- Pollard, D.G. 1973. Plant penetration by feeding aphids (*Hemiptera: Aphidoidea*): A review. *Bulletin of Entomological Research*. **62**: 631-714.
- Ranger CM et al. 2016. Biology, Ecology, and Management of Nonnative Ambrosia Beetles (*Coleopteraa: Curculionidae: Scolytinae*) in Ornamental Plant Nurseries:

- Curculionidae*. Journal of Integrated Pest Management 7:1-23. Available from <https://academic.oup.com/jipm/article/2658135/Biology>, (accessed April 2024).
- Rosenthal SS, Maddox DM, Brunetti K. 1984. Biological Methods of Weed Control. California Weed Conference, California.
 - Řepková J. 2013. Odolnost rostlin k patogenům. Available from <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js13/genetika/web/pages/07-rezistence-k-patogenum.html> (accessed March 2024).
 - Song N, Zhang H. 2023. A comprehensive analysis of higher-level phylogenetic relationships of *Hemiptera* based on transcriptome data. Journal of Systematics and Evolution 61:572-586. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jse.12855> (accessed March 2024).
 - Stillson PT, Bloom EH, Illán JG, Szendrei Z. 2020. A novel plant pathogen management tool for vector management. Pest Management Science 76:3729-3737. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.5922> (accessed April 2024).
 - Šafránková I. 2014. Choroby okrasných rostlin. Odborná publikace. Brno.
 - Šefrová H. 2015. Křisi (*Hemiptera: Cicadomorpha*) škodící na řepě. Listy cukrovarnické a řepařské 131:100-101. Brno. Available from http://www.cukr-listy.cz/on_line/2015/PDF/100-102.pdf (accessed April 2024).
 - Šefrová H. 2015. Ploštice (*Hemiptera: Heteroptera*) škodící na řepě. Listy cukrovarnické a řepařské 131:60-63. Available from http://www.cukr-listy.cz/on_line/2015/PDF/60-63.pdf (accessed April 2024).
 - Škodlivé organismy: vadnutí dubu. 2014. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22f0e607cab71df633e669e5db6852851b%22#rlp|so|choroby|detail:f0e607cab71df633e669e5db6852851b|popis (accessed March 2024).
 - Švand DJ, Shearman ACD, Oldroyd BP. 2004. Molecular basis of sex determination in haplodiploids. Trends in Ecology and Evolution 19:1-3.
 - Tian T, Rubio L, Yeh HH, Crawford B, Falk BW. 1999. Lettuce infectious yellows virus: in vitro acquisition analysis using partially purified virions and the whitefly *Bemisia tabaci*. Journal of General Virology 80:1111–1117.
 - Trombik J, Holuša J. 2014. Kůrovci na smrku a chřadnutí smrku. Pages 31-34 in Novák J, Dušek D, editors. Chřadnutí smrku v oblasti severní a střední Moravy. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Opocno. Available from https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/04/Sbornik_Budisov_2014_final_komp.pdf (accessed April 2024).
 - Výkladový slovník: *Endomycetales*. 2020. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/atlas/vykladovy-slovník/endomycetales&asort=E> (accessed March 2024).
 - Walker PJ, Siddell SG, Lefkowitz EJ, Mushegian AR, Dempsey DM, Dutilh BE, Harrach B, Harrison RL, Hendrickson RC, Junglen S, et al. 2019. Changes to virus taxonomy and the International Code of Virus Classification and Nomenclature

ratified by the 28 International Committee on Taxonomy of Viruses. Archives of Virology **164**:2417–29 2429.

- Westwood JH, Groen SC, Du Z, Murphy AM, Anggoro DT, Tungadi T, Luang-In V, Lewsey MG, Rossiter JT, Powell G. 2013. A trio of viral proteins tunes aphid-plant interactions in *Arabidopsis thaliana*. PLOS One **8**:1–18.
- Whitfield AE, Falk BW, Rotenberg D. 2015. Insect vector-mediated transmission of plantviruses. Virology **479**:278-289.
- Wijkamp I, Peters D. 1993. Determination of the median latent period of two Tospoviruses in *Frankliniella occidentalis*, using a novel leaf disk assay. Phytopathology **83**:986–991.
- Zahradník P, Knížek M. 2016. Lýkožrouti na smrku a sucho. Lesnická práce 4:1-8. Available from https://www.cernic.cz/sites/default/files/2016_los_letak_sm_a_sucho.pdf (accessed April 2024).
- Zahradník P. 2017. Seznam brouků (Coleoptera) České republiky a Slovenska: Checklist of beetles (*Coleoptera*) of the Czech Republic and Slovakia. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy.

6 Samostatné přílohy

Tabulka 1 – Příklady necirkulativně přenášených onemocnění (Whitfield et al. 2015)

Onemocnění	Vektor	Transitní protein	Kde se patogen nachází v těle vektoru
Tobacco etch virus (TEV)	Mšice	CP, HC-PRO	Stylet
Virus mozaiky okurky na zelenině a okrasných rostlinách, Cucumber mosaic virus (CMV)	Mšice	CP	Stylet
Virová mozaika brukvovitých, Cauliflower mosaic virus (CaMV)	Mšice	CP, P2, P3	Stylet, acrostyle
Lettuce infectious virus (LIYV)	Molice	Cpm	Stomodeum ³

³ Stomodeum: přední střevo, jeho části jsou dutina ústní, hltan, jícen, vole, žvýkací žaludek.

Tabulka 2 – Příklady cirkulativně přenášených onemocnění (Whitfield et al. 2015)

Onemocnění	Vektor	Transitní protein	Kde se patogen nachází v těle vektoru
Virus žluté zakrslosti ječmene, Barley yellow dwarf virus (BYDV)	Mšice	CP-RTP	Mesenteron, Proctodeum ⁴
Komplex virů lžičkovitosti listů rajčet, Tomato yellow leaf curl disease (TYLCV...)	Molice	CP	Mesenteron, filtrační komora (ve vylučovací soustavě)
Virová bronzovitost rajčete, Tomato spotted wilt virus (TSWV)	Třásněnky	GN	Mesenteron
Rice dwarf virus (RDV)	Křísci	P2	Mesenteron, filtrační komora
Maize mosaic virus (MMV)	Svítilky (?) (fulgomorpha)	G	Mesenteron

⁴ Proctodeum: zadní střevo, jeho části jsou ileum (tenké střevo), colonum (tlusté střevo), rectum (řitní otvor).

