

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra ochrany rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Reakce genotypů ozimé a jarní pšenice na infekci BYDV

Diplomová práce

**Václav Škarýd
Rostlinolékařství**

**Vedoucí práce prof. Ing. Pavel Ryšánek, CSc.
Konzultant Ing. Ondřej Veškrna, Ph.D.**

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Reakce genotypů ozimé a jarní pšenice na infekci BYDV" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád(a) bych touto cestou poděkoval Prof. Ing. Pavlovi Ryšánkovi za vedení diplomové práce. Zároveň bych rád poděkoval Ing. Ondřeji Veškrnovi, PhD. Za konzultace při všech částech diplomové práce. Nádále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům společnosti Selgen a.s. za pomoc při praktické části této práce a VÚRV Ruzyně za poskytnutí infekčních mšic využitých při provádění polních testů.

Reakce genotypů ozimé a jarní pšenice na infekci BYDV

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá Žlutou virovou zakrslostí ječmene na ozimé a jarní pšenici. Cílem práce bylo charakterizovat tento patogenní organismus, popsat jeho projevy a sumarizovat faktory, které mají vliv na jeho epidemiologii. V literární části jsou stručně popsány další virové choroby, které se běžně v České republice vyskytují na porostech ozimé a jarní pšenice. Dále je popsána fyziologie virové infekce u rostlin obecně, porozumění fyziologickým změnám působících na rostlinu je totiž klíčovým faktorem při vysvětlení vysoké variability projevu symptomů u různých genotypů. Následuje popsání samotného patogenního organismu, symptomů, které na rostlinách působí a jsou popsány jeho patotypy a s nimi související vektorů této choroby. Důležitou součástí také bylo vysvětlení principů genetického založení odolnosti a jmenování některých zdrojů odolnosti. Poslední část byla věnována metodám testování odolnosti proti BYDV.

V praktické části byla popsána metodika chovu mšic a polních pokusů využitých k hodnocení odolnosti rostlin ozimé a jarní pšenici k infekci Virem žluté zakrslosti ječmene. V rámci symptomatického hodnocení byly vedeny pokusy s ozimou pšenicí na lokalitě ve Stupicích v letech 2019-2021 a jarní pšenicí ve stejném období. Výnosové pokusy ozimé a jarní pšenice probíhaly na stejné lokalitě v sezóně 2019-2020. Bylo zjištěno, zda má infekce vliv na výnos a kvalitu pšenice. Dále byla porovnána reakce jednotlivých genotypů na napadení virem.

Bylo potvrzeno, že infekce BYDV má vliv jak na výnos, tak na kvalitu ozimé i jarní pšenice. Dále se také potvrdilo, že různé genotypy pšenice reagují na infekci virem žluté zakrslosti pšenice různým způsobem.

Klíčová slova: BYDV, Rezistence, Symptomatické hodnocení, Výnos, Kvalita

The reaction of winter and spring wheat genotypes to BYDV infection

Summary

This thesis is focused on Barley Yellow Dwarf Virus on winter and spring wheat. The goal of this work was to describe this plant pathogene, its expression on the host plant and to summarize the factors effecting BYDV epidemiology. The literary research part briefly describes other important wheat viruses that occur in The Czech Republic. The effects of virus infection on plant physiology are explained, as they are a key factor to understanding the high variability that takes place when different genotypes are infected. BYDV is then described, the symptoms of infection are mentioned and different serotypes are described as well as aphid vectors that are strongly connected to them. A key part was explaining the genetical principles of plant resistance (or durability) and some resistance sources are mentioned. The last part is focused on methods available for BYDV resistance testing.

The practical part of this thesis describes the methodology of breeding the aphid vectors and the methodology of field testing used to evaluate the resistance of winter and spring wheat to BYDV infection. In the symptomatic evaluation part, there were 4 tests conducted. 2 tests with winter wheat in the 2019-2020 and 2020-2021 seasons and 2 tests with spring wheat in the same time period. The yield tests with spring and winter wheat took place in Stupice station in 2019-2020. The main focus was to evaluate the effect of BYDV infection on wheat yield and grain quality. The reaction of different genotypes to virus infection was described.

It was confirmed that Barley Yellow Dwarf Infection effects both yield and grain quality in winter and spring wheat. It was also confirmed that different genotypes of wheat react to the infection in a different manner.

Keywords: BYDV, Resistance, Symptomatic evaluation, Yield, Quality

Obsah

1	Úvod	- 8 -
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	- 9 -
3	Literární rešerše	- 10 -
3.1	Viry pšenice	- 10 -
3.1.1	Virová čárkovitá mozaika pšenice	- 10 -
3.1.2	Virová zakrslost pšenice	- 10 -
3.1.3	Fyziologie virové infekce u rostlin	- 11 -
3.1.3.1	Význam hostitelské rostliny	- 11 -
3.1.3.2	Rezistence, imunita, náchylnost	- 11 -
3.1.3.3	Vstup do rostlinné buňky	- 12 -
3.1.3.4	Vliv na fotosyntézu	- 12 -
3.1.3.5	Vliv na respiraci	- 12 -
3.1.3.6	Vliv na metabolismus sacharidů	- 13 -
3.1.3.7	Vliv na metabolismus Dusíku	- 13 -
3.1.3.8	Vliv na metabolismus fosforylovaných složek	- 13 -
3.1.3.9	Vliv na metabolismus sekundárních rostlinných metabolitů	- 14 -
3.1.3.10	Vliv na růstové stimulatory	- 14 -
3.2	Virus žluté zakrslosti ječmene	- 15 -
3.2.1	Patotypy	- 16 -
3.2.2	Symptomy	- 16 -
3.2.3	Přenos	- 17 -
3.2.3.1	Mšice střemchová	- 17 -
3.2.3.2	Monitoring mšic	- 17 -
3.2.3.3	Vliv infekce rostlin na mšice	- 18 -
3.2.4	Epidemiologie	- 18 -
3.3	Možnosti ochrany	- 19 -
3.3.1	Chemická ochrana	- 19 -
3.3.2	Šlechtění na odolnost	- 19 -
3.3.2.1	Zdroje odolnosti	- 19 -
3.3.2.2	Pyramiding	- 20 -
3.4	Metody testování na odolnost k BYDV	- 21 -
3.4.1	Polní testy	- 21 -
3.4.1.1	Přirozená infekce	- 21 -
3.4.1.2	Umělá infekce	- 21 -
3.4.1.3	Symptomatické hodnocení	- 22 -

3.4.2	Nepřímé metody	- 22 -
3.4.2.1	ELISA a RT-qPCR.....	- 22 -
3.4.2.2	Analýza DNA.....	- 23 -
4	Metodika	- 24 -
4.1	Pokusná lokalita	- 24 -
4.1.1	Průběh počasí během testování.....	- 24 -
4.2	Chov vironosných mšic	- 25 -
4.2.1	Založení infekčního chovu mšic	- 25 -
4.2.2	Udržování infekčního chovu mšic	- 26 -
4.2.3	Rozšíření infekčního chovu mšic.....	- 26 -
4.2.4	Založení produkčního chovu pro polní inokulace	- 27 -
4.2.5	Časový postup.....	- 27 -
4.2.6	Příprava k polní inokulaci obilnin	- 27 -
4.3	Design pokusu.....	- 27 -
4.3.1	Jednořádkové pokusy	- 29 -
	- 29 -	
4.3.1.1	Soubor testovaných genotypů v jednořádkových pokusech.....	- 30 -
4.3.2	Výnosový pokus ozimé pšenice 2020.....	- 32 -
4.3.3	Výnosový pokus jarní pšenice 2020	- 33 -
4.3.4	Statistika.....	- 34 -
5	Výsledky.....	- 35 -
5.1	Jednořádkové pokusy	- 35 -
5.1.1	Ozimá pšenice 2020.....	- 36 -
5.1.2	Ozimá pšenice 2021	- 39 -
5.1.3	Jarní pšenice 2020.....	- 42 -
5.1.4	Jarní pšenice 2021.....	- 43 -
5.2	Výnosové pokusy	- 45 -
5.2.1	Ozimá pšenice 2020.....	- 45 -
5.2.2	Jarní pšenice 2020.....	- 46 -
6	Diskuze.....	- 48 -
6.1	Jednořádkové pokusy	- 48 -
6.1.1	Výnosové pokusy	- 49 -
7	Závěr	- 51 -
8	Literatura.....	- 53 -
9	Samostatné přílohy	- 57 -

1 Úvod

Virus žluté zakrslosti ječmene (barely yellow dwarf virus, BYDV) je z celosvětového hlediska považován za jednoho z nejvýznamnějších virových patogenů kulturních rostlin s potenciálem působit významné výnosové ztráty. Ačkoliv se z hlediska českých pěstitelů jedná spíše o minoritní chorobu v porovnání s houbovými patogeny ozimé pšenice, historické výskyty epidemií BYDV, které způsobily významné výnosové ztráty, připomínají potřebu zabývat se danou problematikou pro budoucí možné zvýšené výskyty této choroby. Vzhledem k virové podstatě choroby jsou možnosti ochrany pouze preventivní a zaměřují se především na eliminaci přenašečů. Neméně důležitá je evaluace možných příčin zvýšeného výskytu BYDV či jeho schopnosti působit ztráty na výnosech. Tyto poznatky se mohou z hlediska ochrany projevit například v optimalizaci agrotechniky jednotlivých odrůd, a tedy sníženém významu této virové choroby. (Veškrna 2008)

Důležité je však zmínit, že skutečná frekvence výskytu BYDV na území ČR není pravidelně monitorována. Vzhledem k nespecifickým symptomům a významné proměnlivosti je třeba předpokládat, že infekce BYDV může být zaměňována za symptomy působení dalšího fytopatogenního činitele či za projevy nesprávné výživy rostlin. Některé studie naznačují, že vzhledem k okolnostem souvisejícím se změnou klimatu by mohl narůstat význam viru žluté zakrslosti ječmene (Trebicky et al. 2015; Nancarrow et al. 2014). Změny v ekologii BYDV jsou zmiňovány jako příklad nárůstu významu virových chorob při zvyšování teploty a změnách koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, a tak je i nadále třeba věnovat tomuto problému pozornost, a to patrně s narůstající důležitostí.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotézy

Různé genotypy ozimé a jarní pšenice projevují odlišnou reakci na infekci BYDV.
Infekce BYDV snižuje výnos a jakost ozimé a jarní pšenice.

Hlavním cílem práce je otestovat vybraný soubor genotypů ozimé a jarní pšenice na odolnost proti BYDV.

Vedlejší cíle práce

Zhodnotit vliv infekce BYDV na výnos a jakost ozimé a jarní pšenice.
Dodržet metodiku infekce a hodnocení odolnosti k BYDV.

3 Literární rešerše

3.1 Viry pšenice

Virové choroby na pšenici způsobují redukcí výnosu, snižují kvalitu produkce a mohou vést k silnějšímu napadení rostlin dalšími patogeny. Míra poškození je však velmi závislá na podmínkách ročníku a prostředí. Na pšenici se může přirozeně vyskytovat až 30 druhů virů, vážnější ekonomické ztráty však působí pouze několik z nich.

3.1.1 Virová čárkovitá mozaika pšenice

Virová čárkovitá mozaika pšenice je způsobena virem WSMV – wheat streak mosaic virus. Po WDV a BYDV se jedná pravděpodobně o třetí nejzávažnější virovou chorobu obilnin vyskytující se v České republice. Tento virus se poprvé objevil ve 20. letech 20. století v Severní Americe a v České republice byl poprvé diagnostikován Dr. Vackem v 80. letech století minulého. Přenašečem tohoto viru je roztoč *Aceria tosichella*. Tento roztoč má široké hostitelské spektrum a vyskytuje se na většině kulturních i nekulturních druhů z čeledi *Poaceae*. Dále je tento virus přenášen také osivem, ale to pouze cca do 1,5 % z celkových nálezů. Mezi první příznaky napadení patří tvorba nepatrných a velmi častých proužků souběžných s žilnatinou objevujících se brzy po oteplení na jaře. V průběhu vegetace dochází k redukcí kořenového systému rostlin a retardaci růstu nadzemních částí. V neposlední řadě virus poškozuje klas, redukuje velikost semen a snižuje jejich počet v klase, ovlivňuje pekařskou kvalitu sklizeného zrna. V poslední fázi infekce může dojít až k nekróze pletiv a úhynu celé rostliny. Výnosové ztráty se při napadení WSMV velmi liší. K nejsilnějším redukcím výnosu dochází při brzké infekci po vzejití ozimých plodin. Při tomto způsobu infekce se výnosové ztráty pohybují v rozmezí od 18 do 83 % (Kumar et al. 2016).

3.1.2 Virová zakrslost pšenice

Virus zakrslosti pšenice (wheat dwarf virus, WDV) je v současné době nejvýznamnějším virovým patogenem obilnin v České republice. První popsání a prokázání virového původu onemocnění proběhlo v roce 1961 v bývalém Československu (Vacke 1961). Jedná se o významnou chorobu zejména v centrální a východní Evropě, výskyty jsou však popsány například ve Francii, Severní Evropě nebo Číně. Nejčastěji se tento virus vyskytuje v nížinatých a teplejších oblastech ČR s nižším úhrnem srážek. Vektorem tohoto viru je pouze křísek polní (*Psamotetix alienus*). Ačkoliv se rozlišují dva kmeny, „pšeničný“ a „ječný“, ekologie kříska polního ho předurčuje spíše k infekcím ozimé pšenice. (Veškrna 2009).

Od šedesátých do osmdesátých let minulého století byl WDV pravidelně zaznamenáván ve většině oblastí, k výraznějším hospodářským škodám však docházelo pouze výjimečně. Přibližně v polovině osmdesátých let však byl zaznamenán narůstající význam této choroby a pravidelně se začaly objevovat ročníky s výraznějšími ekonomickými škodami. V roce 2002 byly zaznamenány vysoké ekonomické škody způsobené až kalamitním výskytem tohoto viru. Běžně pěstované odrůdy v České republice se pohybují ve spektru od náchylnějších po mírně tolerantnější. Náchylné odrůdy ve většině případů nepřezimují,

tolerantní odrůdy však i přes mírně vyšší odolnost zaznamenávají výraznou redukci výnosu, a to až do 90 % (Vacke 2002).

3.1.3 Fyziologie virové infekce u rostlin

Symptomy napadení pšenice virovým patogenem jsou si ve většině případů velmi podobné. Poměrně často může docházet ke špatné polní diagnostice, vzhledem k podobným projevům virové infekce na pšenici (Veškrna 2008). Pro porozumění značné podobnosti všech virových infekcí na rostlinách je a jejich značné variabilitě je třeba fyziologickým procesům probíhajícím uvnitř rostliny po napadení virem.

Význam virové infekce a multiplikace na fyziologii hostitelské rostliny stále nejsou do plna pochopeny. Stejně jako u mikrobiálních infekcí, rozvoj virových chorob je výsledkem komplexních interakcí mezi patogenem a hostitelem. Rozvoj patogenu uvnitř hostitele a vývoj symptomů může být významně ovlivněn podmínkami prostředí. Pokud nejsou tyto podmínky striktně dodržovány, může často docházet k protichůdným výsledkům, a tak tedy v tomto oboru nedochází k významným pokrokům. Virové patogeny jsou fundamentálně odlišné od bakteriálních či houbových patogenů. Absence jakéhokoliv samostatného metabolismu, charakteristická latentní perioda následující infekci a infekčnost nukleové kyseliny izolované z virových partikulí jasně naznačují, že viry nelze porovnávat s ostatními patogenními organismy. Metody molekulární biologie umožnily významný pokrok v porozumění biologii genomu rostlinných virů a virové replikaci. Bohužel tento rozvoj není doprovázen podobným porozuměním efektu virové infekce na fyziologii hostitelských rostlin (Berger et al. 2007).

3.1.3.1 Význam hostitelské rostliny

Je známé, že genotyp hostitelské rostliny má významný vliv na události následující vstup viru do jejích buněk. Pojmy jako imunita, rezistence, tolerance a citlivost jsou používány k popisu exprese rostlinného genotypu. Pokud jsou na rostlině zjevné symptomy virové infekce, nebo je tato rostlina vhodná k virové replikaci i bez vývoje prokazatelných symptomů, dá se taková rostlina označit za hostitelskou rostlinu daného viru. Tento koncept hostitelských rostlin je však těžko interpretován v jiných případech, jako je například podprahová infekce. Jak zmiňuje Matthews (1981), rozsah hostitelů může být vcelku bezvýznamný, protože je testována pouze část rostlinných druhů, o nehostitelských rostlinách není vždy referováno a testování na bezsymptomatickou infekci není tak časté.

3.1.3.2 Rezistence, imunita, náchylnost

Odpověď na infekci celé rostliny může poskytnout klamný dojem o schopnosti rostlinného genomu podpořit replikaci viru. Citlivost nebo imunita operuje na čtyřech úrovních. Tyto se vzájemně nevylučují a u dané hostitelské rostliny se mohou objevit různé interakce závislé na fyziologickém stavu rostliny, při kterém do infekce vstupují. Při absolutní imunitě se virus nereplikuje, ani pokud do buňky vstoupil. Důvody nejsou známy, ale je velice pravděpodobné, že se jedná o komplex faktorů. Některé viry se zpočátku replikují uvnitř infikované buňky, ale nepřenášejí se do buněk ostatních. Tento jev se nazývá podprahová infekce. Na třetí úrovni snížená náchylnost hostitelské rostliny omezí virus na pár

buněk v okolí bodu vstupu. Při absolutní náchylnosti je většina rostlinných buněk infikována. Toto je nejčastější stav, při kterém jsou interakce mezi virem a hostitelskou rostlinou studovány. Je však třeba zmínit, že absolutní citlivost je vzácnost. Většina rostlin je funkčně rezistentní k většině virů (Lebedeff 1931).

3.1.3.3 Vstup do rostlinné buňky

Nukleová kyselina se odděluje od proteinu rostlinných virů v počáteční fázi infekčního procesu, pravděpodobně jako předchozí krok vstupu nukleové kyseliny do rostlinné buňky, ve které je nukleová kyselina chráněna před deaktivací a je schopná se projevit na metabolismu infikované buňky. Dá se považovat za prokázané, že viry mění svůj stav a snižují svoji stabilitu krátce po inokulování do listů (Geoffrey 1934).

3.1.3.4 Vliv na fotosyntézu

Barevné změny typické pro většinu virových chorob naznačují, že chlorofyl buď není syntetizován stejně jako ve zdravých rostlinách, nebo je část chlorofylu zničena jakožto efekt virové infekce. Snížená fotosyntéza však nemusí být pouze výsledkem snížené hladiny chlorofylu v napadených listech. Jak fotosyntetická fosforylace, tak Hillova reakce jsou sníženy v chloroplastech napadených listů (Balachandran et al. 1997).

3.1.3.5 Vliv na respiraci

Již v roce 1899 byla poprvé zjištěna zvýšená aktivita oxydázy v listech tabáku infikovaných virem mozaiky tabáku. Většina autorů odvozuje respiraci buď z příjmu kyslíku, nebo z výdeje oxidu uhličitého do prostředí. Někteří autoři však využívají změnu teploty jako hodnotu navazující na změny v dýchání. Yarwood (1953) prokazuje, že infekce listů jakýmkoliv počtem virů a hub vede k zvýšené teplotě v napadených pletivech. Podobné zvýšení teploty lze pozorovat i v poraněných listech.

Ačkoliv některé studie uvádějí zvýšenou respiraci ve virem infikovaných pletivech, některé další uvádějí i snížení respirace při stejných podmínkách. Ačkoliv tyto výsledky nepřinášejí žádné uspokojivé vysvětlení, výzkum jednotlivých kroků jako rozklad karbohydrátů a přeměna energie tyto trendy vysvětlují. Aktivita hexokinázy je zvýšená v hlízách napadených svinutkou a mozaikovými viry, fosfoglukomutáza a enoláza jsou sníženy v hlízách napadených svinutkou. Aktivita enolázy se zvýšila v listech napadených stejným virem v porovnání s listy zdravých rostlin. Dehydrogenáza je aktivována virovou infekcí. Martin (1958) pozoroval, že aktivita cytochromové oxydázy je významně zvýšena u rostlin tabáku napadených TMV. Další enzymy, někdy označované jako terminální oxydázy, byly také zkoumány. Oxydáza kyseliny askorbové se při virové infekci zvyšuje a další studie naznačují, že je změněna i koncentrace polyfenoloxidy. Studie ukazují, že v listech rajčat napadených virem X bramboru je aktivita polyfenoloxidy zvýšena po počátečním snížení následujícím inokulací. Zvýšená aktivita polyfenoloxidy není typická pouze pro virové infekce, ale také pro houbové. Aktivita polyfenoloxidy je uváděna jako jeden z faktorů hypersenzitivní reakce. Navzdory některým protichůdným výsledkům se dá považovat za prokázané, že respirace je zvýšena po napadení virovými částicemi. Změna teploty, zvýšený

příjem kyslíku a zvýšená aktivita dýchacích enzymů prokazatelně ukazují na zvýšení respirace ve virem infikovaných rostlinách. Je dlouho známo, že poranění buněk vede ke zvýšení dýchání, a i dokonce malé podráždění tuto aktivitu stimuluje. Je tedy zcela logické, že jak houbové, tak bakteriální infekce dýchání zvyšují a virové infekce nejsou výjimkou. Dá se tedy usuzovat, že zvýšené dýchání je nespecifickou reakcí na infekci a jedná se pouze o jeden z aspektů vázaných na změny syntetické aktivity vázaných na infekci či mechanické stimuly (Merrett & Bayley 1969).

3.1.3.6 Vliv na metabolismus sacharidů

Snížená fotosyntetická aktivita, spojená se zvýšenou aktivitou respiračních enzymů naznačuje, že v napadených pletivech klesá koncentrace asimilátů, tedy karbohydrátů. Pro mozaikové choroby je snížená koncentrace asimilátů vskutku typická. Při virózách způsobujících žloutnutí je však opak pravdou. Akumulace karbohydrátů, zejména škrobu, je dlouhou dobu pozorována v listech jakožto důsledek infekce. Virem způsobené narušení v metabolismu karbohydrátů je zodpovědné za škrobové léze. Po fotoaktivní periodě mají místa lokální infekce nižší koncentraci škrobu než okolní nenapadená pletiva, zatímco po vystavení tmě mají infikovaná pletiva vyšší koncentraci škrobu než ta nenapadená. Infekce tedy snižuje syntézu a translokaci škrobu. Škrob se také zdržuje v místech infekce, protože enzymy zodpovědné za přeměnu škrobu v cukry a naopak jsou deaktivovány (Dunlap 1930).

3.1.3.7 Vliv na metabolismus Dusíku

Jelikož replikace viru znamená syntézu virově specifických abnormálních proteinů, změny v metabolismu dusíku infikovaných rostlin jsou nevyhnutelnými důsledky virové infekce. Rostliny infikované virem mozaiky tabáku (tobacco mosaic virus, TMV) obsahovaly kromě viru různá množství abnormálních proteinů serologicky vázaných na TMV (Takahashi et al. 1952). Otázkou je, zda jsou rostliny schopny syntézu těchto virových proteinů provádět navíc při svém normálním metabolismu, nebo je toho dosaženo snížením syntézy hostitelských proteinů. Studie prokazují, že se jedná spíše o druhé tvrzení. Celkový obsah dusíku v rostlinách tabáku infikovaných TMV celkově nebyl vyšší, v mnoha případech pak nižší než u zdravých rostlin. Proteiny TMV tedy byly syntetizovány na úkor rostlinných proteinů. Toto se dělo zejména u zastíněné části rostlin, kdy probíhá hydrolýza normálních rostlinných proteinů. U dobře vyživených rostlin se však obsah dusíku zvýšil, takže nebyla postížena syntéza rostlinných proteinů. Pokud je však replikace virů dokončena, neprobíhá zde změna obsahu dusíku oproti zdravým rostlinám. Veškerý dusík je tedy využit pro syntézu nových virů. V rostlinných pletivech je také výrazně navýšen obsah vodorozpustného dusíku, a to zejména amidů.

3.1.3.8 Vliv na metabolismus fosforylovaných složek

Jelikož fosforylované sloučeniny mají fundamentální význam ve spoustě metabolických procesů, virem navozené změny v metabolismu těchto sloučenin mohou vést k významné disbalanci metabolických procesů v rámci celé rostliny. Syntéza virové nukleové kyseliny je nejzákladnějším procesem replikace a tím pádem už samotná replikace je narušením

metabolismu fosforylovaných sloučenin. Celkový obsah fosforu v rostlinách je nezměněn, mění se však jeho rozložení. Vyšší část fosforu je u infikovaných rostlin soustředěna v nukleových kyselinách a musí tak nutně docházet ke změnám v metabolismu fosforu u rostlin (Crum et al. 1988).

3.1.3.9 Vliv na metabolismus sekundárních rostlinných metabolitů

Ačkoliv byla provedena řada výzkumů zkoumajících vliv virové infekce na metabolismus sekundárních rostlinných produktů, pouze o fenolických látek se došlo ke stabilním výsledkům. Různé fenolické látky se hromadí v pletivech napadených rostlin, ale jestli je tento fenomén vázán přímo na virovou infekci či jestli je spojen s aktivitou polyfenoloxidázy prozatím není známo (Mishra et al. 2020).

3.1.3.10 Vliv na růstové stimulanty

Zpomalení růstu, někdy spojené se stimulací postranních pupenů je pravděpodobně nejčastějším obecným symptomem rostlinných virů a různé teratologické změny jsou typické pro řadu virových chorob. Virem vyvolané změny v produkci auxinu jsou zodpovědné za růstové změny napadených rostlin. Řada prací uvádí snížený obsah rozpustného auxinu v rostlinných pletivech napadených rostlinnými viry. Dále také zmiňují zvýšený obsah látek, které mají přímý negativní efekt na růst rostlin či látek, které inhibují auxin. Zda je retardace růstu způsobena přímo sníženým obsahem auxinu či zvýšeným obsahem těchto látek není přesně popsáno, pravděpodobně se však jedná o společný efekt těchto dvou faktorů (Mishra et al. 2020).

3.2 Virus žluté zakrslosti ječmene

V současné době se BYDV vyskytuje ve většině regionů ve světě a pravidelně způsobuje lokální epidemie, povětšinou spojené s populační dynamikou vektorů. Viry žluté zakrslosti pšenice se pravděpodobně vyvinuly v Severní Americe. Původními hostitelskými rostlinami jsou pravděpodobně trávy původní v Severní Americe, ale virulentní jsou na „exotických“ druzích (včetně kulturních plodin), které rozšiřují rezervoár viru, což má zase za následek vyšší incidenci na druzích původních. Při optimálních podmínkách se virové populace zvyšuje na epidemickou úroveň jak na kulturních, tak na nekulturních druzích. BYDV byl poprvé rozpoznán jako problém ve Spojených státech v roce 1890, kdy dosáhl epidemické situace na ovsu a byl rozšířen po celém Středozápadu. V té době neklasifikovaný vektor, dnes popsán jako *Schizapis graminum*, byl do USA pravděpodobně introdukován ze Spojeného Království v roce 1882, což by odpovídalo se zvýšením výskytu BYDV v následném období. Další epidemický výskyt se objevil v roce 1907, následně byla také publikována první práce pojednávající o této chorobě (Manns 1909). Původní domněnkou bylo, že tento patogen napadá pouze oves, ovšem později bylo prokázáno, že se vyskytuje také na pšenici, ječmenu, žitu a dalších obilninách. Za původce této choroby byla považována symbiotická asociace dvou bakterií, a že byla částečně přenášena „rostlinými blechami“, které byly později klasifikovány jako mšice. Odhadem také bylo, že jsou tyto bakterie vázány na půdu a mohou tak na pozemku přetrvávat po řadu let. Takto byl patogen vnímán skoro po 50 let až do roku 1951, kdy se choroba rozšířila na kulturní porosty ječmene v Kalifornii. Po této epidemii Oswald a Houston (1953) popsali původce choroby jako virus, který je persistentně přenášen několika druhy mšic. Tato studie byla klíčová pro další zkoumání BYDV jako původce žluté virové zakrslosti ječmene (Walls et al. 2019).

BYDV je jediným členem rodu *Luteovirus* a je zařazen do čeledi *Luteoviridae*. Původně byla tato skupina definována jako viry, které nejsou přenosné mechanicky ale pouze mšicemi, a to cirkulativně. Cirkulují uvnitř mšice, ale nemnoží se v ní, v rostlině se nacházejí pouze ve floému. Virové kapsidy představují 25 nm velké dvacetistěnné částice, které jsou tvořeny 22 kDa coat proteinem a minoritní složkou přibližně 52 kDa enkapsidační a 5.7-kb RNA. (D'Arcy et al. 2000). Cytopatologické a serologické rozdíly prvně vedly k rozdělení sérotypů BYDV do dvou podskupin. Následné sekvencování nukleotidů odhalilo, že odlišnosti mezi sérotypy jsou příliš velké na to, aby se jednalo o jeden druh viru. Sérotyp RPV (BYDV-RPV) byl nově pojmenován cereal yellow dwarf virus (CYDV-RPV) a zařazen do rodu *Polerovirus* společně se se čtyřmi dalšími viry nezpůsobujícími žlutou virovou zakrslost ječmene, které patřily do *Luteoviridae*. V současné době je BYDV klasifikován jako dva viry, BYDV-MAV a BYDV-PAV, které jsou ale z většiny identické až na strukturální geny, které kódují afinitu k vektorům. Dají se tedy označit za sérotypy téhož viru a z fytopatologického hlediska k nim lze takto přistupovat. Existují však ukazatele, které naznačují, že rod *Luteovirus* (BYDV-MAV a BYDV-PAV) má více společných znaků s čeledí *Tombusviridae* než s čeledí *Luteoviridae* (Miller et al. 2002).

3.2.1 Patotypy

Virus žluté zakrslosti ječmene je přenášen širokým hostitelským spektrem mšic živících se na rostlinách z čeledi *Poaceae*. V prvotním výzkumu Rochow (1969) odhalil, že mezi různými patotypy BYDV a různými druhy přenašečů tohoto patogena existuje velmi blízká vazba. Tento fakt vedl ke klasifikačnímu systému založeném na specifitě viru k vektorovi. Izoláty přenášené *Rhopalosiphum padi* jsou nazývané RPV (nyní CYDV-RPV), izoláty přenášené *Sitobio avenae* jsou nazývané MAV a izoláty přenášené oběma druhy jsou nazývány PAV. Dále se vyskytují izoláty mšičí obilnou (*Schizaphis graminum*) nazývané SGV a izoláty přenášené mšičí kukuřičnou (*Rhopalosiphum maidis*) nazývané RMV. V neposlední řadě jsou zde ještě patotypy přenášené jak *Rhopalosiphus padi*, tak *Schizaphis graminum* označované jako GPV. Pravděpodobně však existují i další patotypy s jinou specifitou k přenašečům. Vzhledem k tomu, že serologické odlišnosti mezi jednotlivými patotypy souhlasí se zmíněnou specifitou k vektorům, nazývají se nyní serotypy. Schopnost přenášet virus žluté zakrslosti pšenice však také ovlivňuje biotop, ve kterém se mšice nachází a variabilitu v této schopnosti také nalezneme mezi různými jedinci (Young & Filichkin 1999).

3.2.2 Symptomy

Typ a intenzita reakce hostitelské rostliny k virové infekci velmi závisí na genotypu infikované rostliny, patotypu viru, stáří rostliny v době infekce a je dále ovlivňována podmínkami prostředí. Reakce hostitelských rostlin k infekcím viry jsou tedy velmi variabilní, stejně jako následné výnosové ztráty. Infekce BYDV má devastující účinek na výnos a kvalitu obilnin. Nejvýraznější příznaky jsou pozorovány na ovsu, kde dochází k červenání listů a výrazné sterilitě. Mezi další příznaky patří redukce výšky a zpoždění metání. Nejčastějšími symptomy na ječmenu a pšenici jsou především chloróza listů a redukce výšky, jsou však méně výrazné než u ovsa. Rostlinné fyziologické procesy jsou narušeny přítomností viru, který se množí ve floému hostitelské rostliny. Napadené buňky floému jsou zničeny a translokace asimilátů produkovaných listy je snížena. Výsledkem toho je akumulace sacharidů, které zvyšují hmotnost sušiny, inhibice fotosyntézy a redukce obsahu chlorofylu, což má za následek diskoloraci a tloušťnutí listů (Kaddachi et al. 2014).

Obilné viry z čeledi *Luteoviridae* mohou způsobit významné redukce výnosu, zejména v ozimém ječmenu a ozimé pšenici. Velký vliv v tomto případě hraje četnost výskytu vektora, klimatické podmínky a technologie pěstování. BYDV je schopen způsobit významné globální škody u obilnin, a to v rozsahu do 46 % u pšenice seté, 25 % u ječmenu setého a 15 % u ovsa setého (Larkin et al. 2002).

Infekce BYDV-PAV má u pšenice významný efekt na výnos, objemovou hmotnost a obsah dusíkatých látek. Ošetření infikovaných parcel fungcidem a hnojení NPK má vliv na výnos a objemovou hmotnost, nikoliv však na obsah dusíkatých látek. Nejvyššího obsahu dusíkatých látek dosahují porosty infikované virem. Aplikace fungcidů a přihnojování NPK hnojivem má významný vliv na snížení negativních efektů infekce BYDV na pšenici (Chrpová et al. 2020).

3.2.3 Přenos

Virus žluté zakroslosti pšenice je přenášen více než dvaceti druhy mšic, které většinou žijí na rostlinách z čeledi *Poaceae*. Mezi nejčastější přenašeče BYDV v České republice patří mšice střemchová (*Rhopalosiphum padi*), kyjatka ošení (*Sitobion avenae*), nebo mšice broskvoňová (*Myzus persicae*). Virus se po sání na infikované rostlině dostává do mšic sacím ústrojím a dále se pohybuje do tráviciho traktu. Do hemolymfy se virus dostává přes epitel tlustého střeva, a to ve formě vezikul. Odtud se postupně dostává do slinných žláz mšice a společně se slinami ho mšice slinným kanálem přenáší na další neinfikované rostliny. Mšice zůstává infekční po celý zbytek života, virus se v ní ovšem nemnoží. Jedná se tedy o přenos cirkulativní, perzistentní a nepropagativní (Veškrna 2008).

Důležitým faktorem při získání viru mšicemi je perioda sání mšice na infekční rostlině a koncentrace, ve které se virus v dané rostlině vyskytuje. Některé mšice jsou schopny nabýt viru v poměrně krátké době, jako minimum se uvádí 5-15 minut sání na infikované rostlině. Většina mšic však potřebuje tuto periodu delší a není schopna přenášet virus dříve, než po uplynutí šestnácti hodin. Přenos viru je tak plně vázán na konkrétní druh mšic a je plně řízen jejich životním cyklem a letovou aktivitou (Gray et al. 1991).

3.2.3.1 Mšice střemchová

Ačkoliv je virus žluté zakroslosti ječmene přenášen až několika desítkami druhů mšic, nejvýznamnějším vektorem této choroby v České republice je mšice střemchová. Jedná se také o druh nejčastěji používaný při umělé inokulaci. Primárním hostitelem této mšice je střemcha obecná (*Prunus padus*). Sekundárními hostiteli mohou být jak kulturní plodiny jako pšenice setá, ječmen setý či oves setý, tak nekulturní traviny běžně se vyskytující na našem území. Vajíčka této mšice přezimují na střemchách a na jaře se z nich líhnou zakladatelky, které se od poloviny května do poloviny června přesouvají primárně na porosty obilnin. Zde se vyvíjí přibližně 3-5 generací neokřídlených partenogeneticky se množících mšic. Při zhoršení stavu porostu obilnin či případně vysoké populační hustotě dochází ke vzniku okřídlených samiček, které se mohou přemísťovat na další plochy kulturních obilnin. V období voskové zralosti se samičky přesouvají na nekulturní druhy trav, výdrol či kukuřici, odkud na podzim zpětně migrují na primárního hostitele (Comeu 1983; Rostlinolékařský portál 2022).

3.2.3.2 Monitoring mšic

Monitoring mšic v České republice provádí ÚKZUZ pomocí nasávacích pastí typu Johnson-Taylor a v sezóně se pravidelně zveřejňují jeho výsledky v týdenních přehledech pod názvem Aphid Bulletin. Monitorování letové aktivity mšic je v České republice prováděno od roku 1992. Nasávací pasti jsou rozmístěny na pěti lokalitách reprezentujících hlavní pěstitelské oblasti. Pasti jsou každoročně v provozu od 1. dubna do 30. listopadu. Dále je k monitoringu využíváno Lambersových misek v porostech brambor, rozmístěných na čtyřech lokalitách v České republice. Denní úlovky mšic jsou každodenně analyzovány v Laboratoři diagnostiky škodlivých organismů rostlin Opava. Výsledky zveřejňované v přehledech Aphid

Bulletin je možno využít jak k zahájení sledování mšic v porostech, tak k prognóze výskytu virových infekcí a správnému načasování chemické ochrany (Rostlinolékařský portál 2022).

3.2.3.3 Vliv infekce rostlin na mšice

Fyziologické změny u rostlin vyvolané infekcí BYDV mají významný vliv na mšice. Symptomy infekce často u rostlin navozují stav, který se podobná běžnému stárnutí a dozrávání pšenice a dalších obilnin. Tento stav navozuje u mšic změny nejenom v jejich schopnosti množit se, ale ovlivňují i jejich chování a v nemalé míře také morfologii. Ačkoliv je pro navození vývoje okřídlených samiček nejdůležitější především fotoperioda, tuto změnu jsou ve vývoji jsou schopny zapříčinit i zmíněné symptomy. Na rostlinách infikovaných žlutou virovou zakrslostí ječmene je prokazatelně vyšší procento vývoje okřídlených samiček než na viruprostých kontrolách (Gildow 1983). Změny v chování mšic však infekce BYDV nenavozuje pouze po kolonizování rostlin. Vzhledem k vyšším reprodukčním schopnostem mšic na infekčních rostlinách jsou k nim mšice přitahovány. Produkce volatilních látek těmito rostlinami se mírně liší od produkce těchto látek rostlinami prostých viru, a mšice jsou schopny tyto změny detekovat. Kombinace vlivů působících na mšice jak před kolonizací, tak po kolonizaci naznačuje, že BYDV je schopen svým působením na morfologii a fyziologii rostlin nepřímo ovlivňovat mšice a zvýšit tak rychlost rozvoje choroby v rámci porostu i mezi jednotlivými lokalitami (Medina-Ortega et al. 2009).

3.2.4 Epidemiologie

Klíčové faktory při rozvoji epidemie BYDV a následných výnosových ztrátách jsou zejména rozsah primárního zdroje infekce, datum náletu prvních mšic do porostu a aktivita mšic v rámci porostu. Dalším důležitou složkou je vliv teploty, dešťových srážek a větru na počet mšic, jejich pohyb a aktivitu a následně tedy na rozvoj infekce v plodině. Na začátku jara a během sušších let přežívají mšice a s nimi i BYDV zejména na nekulturních hostitelských rostlinách, a to travách. Vzhledem k potřebě větší vlhkosti se často vyskytují v příkopech u silnic, na okrajích potoků a řek a na zavlažovaných zahradách (Hawkes & Jones 2005).

Analýza historických dat prokazuje, že termín náletu prvních mšic je silně spojen s úhrnem srážek během pozdního léta a brzkého podzimu. Vyšší vlhkost půdy způsobená významnějšími srážkami stimuluje růst plevelných rostlin a výdrolu, které slouží jako zelený most, na kterém mšice přežívají a množí si před přeletem do plodin setých na podzim. Nedostatek srážek v tomto období znamená nižší počet těchto rostlin dostupných pro mšice, což má za následek pozdější nálety mšic za méně příznivých podmínek (Thackray et al. 2009).

3.3 Možnosti ochrany

Účinné metody pro eliminaci virové infekce na rostlinách neexistují. Správně zvolené agronomické postupy, jako třeba správně zvolený termín setí nebo omezení rozšíření mšic za využití insekticidů mohou významně pomoci k omezení infekce BYDV. Využívání vyšlechtěných odrůd s vysokou mírou odolnosti k viru žluté zakrslosti pšenice se jeví jako nejúčinnější metodou k eliminaci ztrát virem způsobených (Kosová et al. 2008).

3.3.1 Chemická ochrana

Jednou z možností ochrany porostu proti infekci BYDV je využití insekticidů pro snížení počtu mšic. Podstatou tohoto systému ochrany je zejména snížení přenosu viru v kulturní plodině. Vzhledem k tomu, že při detekci napadení mšicemi pouhou obhlídkou porostu už infekce ve značném rozsahu proběhla, je třeba využití spolehlivého systému monitoringu mšic pro správné načasování aplikace přípravku. Při chemické ochraně bylo proti mšicím využíváno zejména pyretroidů, např. alpha-cypermethrinu nebo beta-cyfluthrinu. Insekticidy na bázi těchto účinných látek jsou schopny redukovat výskyt mšic v porostu až o 75 % a zvyšují výnos zrna proti neošetřeným porostům až o 41 %. Tyto pyretroidy prokazují vyšší účinnost než ošetření primicarbem. Nejvyšších účinků dosahuje ošetření dvojitou dávkou pyretroidů společně s insekticidním mořením. Využívání chemických přípravků však může vést k vyselektování rezistentní populace mšic (McKirby & Jones 1996).

3.3.2 Šlechtění na odolnost

3.3.2.1 Zdroje odolnosti

Rozličné geny rezistence nebo tolerance k BYDV byly nalezeny v ječmenu a ovsu (McKenzie et al. 1985). Žádné významné geny rezistence nebo tolerance však nebyly nalezeny u pšenice. Některé odrůdy (např. Anza) však vykazovaly mírné známky odolnosti a bylo prokázáno, že zodpovědný za tuto reakci je gen pojmenovaný Bdv1, který je částečně efektivní a dominantní (Ayala et al. 2000). Testy provedené metodou ELISA v CIMMYT porovnávaly hodnotu titru viru v rostlinách mezi náchylnými odrůdami a genotypy nesoucími gen Bdv1. Hodnota tohoto ukazatele nebyla u odolných odrůd prokazatelně nižší než u náchylných kontrol, lze tedy konstatovat, že gen Bdv1 je gen tolerance, nikoliv rezistence. Tento gen je zodpovědný za pomalejší žloutnutí dospělých rostlin při infekci BYDV. Singh (1993) testoval propojení mezi genem Bdv1 a geny Lr34 a Yr18, které zodpovídají za částečnou rezistenci dospělých rostlin ke rzi pšeničné a rzi plevové. V pokusu se 115 liniemi F₃ a F₅ generace, vzniklých křížením náchylného kultivaru Jupateco 73S a rezistentních (symptomaticky tolerantních k BYDV) kultivarů Jupateco 73R a Condor, byla hodnocena náchylnost k jednotlivým chorobám. Rezistence u odrůd Jupateco i Condor je řízena jedním genem. Využití spojené klasifikace F₃ a F₅ linií k uvedeným chorobám naznačilo, že geny Lr34, Yr18 a Bdv1 jsou velmi blízce propojené nebo pod pleiotropní genetickou kontrolou.

Jelikož je známo, že gen Lr34 se nachází na dlouhém rameni chromozomu 7D, bylo usouzeno že gen Bdv1 se nachází na dlouhém rameni stejného chromozomu.

Nízká úroveň titru v odebraných vzorcích, a tedy pravděpodobná rezistence k BYDV byla prokázána u nekulturních druhů příbuzných pšenici, jako třeba *Thinopyrum intermedium*, *Thinopyrum ponticum* a *Thinopyrum elongatum*. Mechanismus rezistence u těchto druhů je nejčastěji vysvětlován jako schopnost inhibice replikace viru v rostlině. Křížením těchto druhů s ozimou pšenicí vedlo k získání genetických zdrojů s rezistencí Bdv2. Gen rezistence byl lokalizován na dlouhém rameni homologní skupiny 7 u *Thinopyrum intermedium*. Za pomoci tkáňových kultur byly části chromozomu nesoucí gen rezistence přeneseny ze zdrojové linie L1 na pšenici. Tímto způsobem bylo získáno 8 linií, označovaných jako TC linie, nesoucích translokace z *Th. Intermedium* (TC5, TC6, TC7, TC8, TC9, TC10, TC14, 5395). Tyto linie prokázaly pravou rezistenci sníženým obsahem titru viru. Některé z těchto linií však v polních podmínkách vykazují náchylnost k virové infekci (Ayala et al. 2001).

Translokovaná linie P29 a z ní odvozené linie P98134 a P961341 vykazovaly znaky rezistence. Při porovnání s náchylnými genotypy byly pozorovány snížené hodnoty absorbance u translokovaných linií. Genetický původ těchto zdrojů je stejně jako u genu Bdv2 v pšenici příbuzném *Thinopyrum intermedium* a gen rezistence je pojmenován Bdv3 (Kong et al. 2009).

Zhong 5, částečný amphiploid ($2n=56$), obsahuje 7 chromozomových párů z *Thinopyrum intermedium* přidaných ke kompletnímu genomu pšenice seté a prokázal rezistenci k BYDV, rzi plevové, rzi pšeničné a rzi travní. Z křížení tohoto genetického zdroje a ozimé pšenice byla vytvořen soubor disomických aditivních linií ($2n=44$) nazvaných Z1, Z2, Z3, Z4, Z5 a Z6, které vykazaly rezistenci. Z dalšího křížení mezi běžnou pšenicí a genetickým zdrojem Zhong 5 byly získány 2 linie ($2n=42$). Tyto linie byly pojmenovány Yi 4212 a HG 295. Biochemická a cytologická analýza indikují, že pár chromozomů *Thinopyrum intermedium* nahradilo pár chromozomů pšenice seté (Tang et al. 2000).

Zhang et al. (2009) zmiňují ještě další geny rezistence, Bdv3 a Bdv4, jejich účinnost však není prověřena v polních podmínkách a v současné době jsou tedy spíše předmětem výzkumů, než zdrojem odolnosti k rezistentnímu šlechtění.

3.3.2.2 Pyramiding

Pyramiding je proces, který využívá aditivních nebo multiplikativní efektů několika genů rezistence. Některé studie popisují úspěšné provedení pyramidingu majorgenů kódujících rezistenci k patogenům a dalším stresům. Prokázalo se, že využití většího počtu majorgenů odpovědných za rezistenci projevuje vyšší úroveň odolnosti k patogenům než při využití jednoho genu rezistence. Při úspěšném provedení rekombinace a projevení synergistické úrovně napadení existuje možnost využití takových rekombinací jako genetických zdrojů. Výrazně se projevuje pyramiding především při využití již prolomených genů rezistence, kdy odolnost rostlin významně narůstá. Při využití neprolomeného genu rezistence je synergismus nevýznamný a odolnost takové rostlin je závislá především na tomto genu. V současné době v podstatě neexistují významné příklady využití pyramidingu v zemědělské praxi. Jedním z problémů při kombinování genů rezistence je ten, že efekt pyramidingu je výrazně vyšší, pokud je u některého z genů použitých v rekombinaci

nepřekonána rezistence. Zejména u pohlavně se množících patogenů je však pravděpodobnost překonání rezistence poměrně vysoká. Pokud se však nějaký takový gen rezistence vyskytuje jako genetický materiál v některém ze šlechtitelských programů, je ho povětšinou využito a odrůda nesoucí neprolomený gen rezistence je registrována. Jedním z výrazných efektů pyramidingu by tedy mohlo být snížení schopnosti patogenů překonat gen rezistence a zachování účinnosti použité rekombinace po delší dobu než při využití jednotlivých genů (Mundt 2018).

3.4 Metody testování na odolnost k BYDV

3.4.1 Polní testy

Mezi výhody polního testování patří především možnost hodnocení rostliny v přirozených podmínkách ve shodě s podmínkami na běžných komerčních porostech. Nevýhodou je proti tomu závislost na podmínkách prostředí, vysoká pracnost, časová a prostorová náročnost.

3.4.1.1 Přirozená infekce

Využití přirozeného výskytu vironosných mšic je možné pouze v případě, že se na testovací lokalitě pravidelně vyskytují mšice přenášející virus žluté zakrslosti pšenice. Infekční tlak je možné podpořit využitím metod, které podporují výskyt přenašečů. Mezi takové metody patří například vysévání „zelených mostů“ v okolí pokusného pozemku nebo zvolení co nejčasnějšího termínu setí (Rasmussen & Shaller 1959).

Pokus je nutné designovat především s ohledem na přenašeče. Jako kontroly je obvykle využíváno opakování, které je mořeno insekticidním přípravkem zabraňujícím infekci těchto parcel zejména v počátečních fázích růstu. Po uplynutí doby účinnosti insekticidního mořidla je třeba v kontrolních opakováních vytvořit insekticidní clonu. Mezi sledované parametry nejčastěji patří míra zakrslosti rostlin, úroveň diskolorace a procento napadených rostlin v parcele. Hodnocení je prováděno symptomaticky v době metání na stupnici 0–9, kdy je 0 hodnocena parcela nevykazující žádné symptomy napadení virem. Dále je možno hodnotit redukci výnosu oproti neinfikované kontrole. Ačkoliv se na lokalitě můžou mšice přenášející BYDV vyskytovat pravidelně, vzhledem k rozdílným podmínkám prostředí není jistota každoroční infekce a není možno zajistit rovnoměrné napadení pokusných parcel, a to jak prostorově, tak časově (Weisz et al. 2005).

3.4.1.2 Umělá infekce

Nejpoužívanější metodou využívanou k hodnocení odolnosti rostlin pšenice k infekci BYDV je v současné době polní inokulace mšicemi z umělých skleníkových chovů. K vyšlechtění nových odolných odrůd pšenice je zapotřebí technika, která umožňuje spolehlivé zajištění infekce vysokého počtu zkoumaných genotypů každý rok. Nejdůležitější stránkou této metody je především správná znalost biologie mšic, které jsou jedinými přenašeči viru žluté zakrslosti ječmene a není možné je nahradit. Mšice smíchané s talkem (mastenec mletý) se k sobě nelepí a je možné je takto přechovávat a přimísťovat z umělého

chovu na testované rostliny. Nejpoužívanějším vektorem je mšice střemchová, která je schopna vydržet vyšší teploty a vyšší vzdušnou vlhkost spojenou s chovem ve skleníku. Byly testovány i další druhy mšic, jako třeba kyjatka travní (*Metopolophium dirhodum*), které se však neprokázaly k umělým infekcím rostlin jako zcela vhodné. Chov mšic se tedy zaměřuje především na mšici střemchovou, nevylučuje však nutně ostatní druhy mšic, které jsou schopny přežít v podmínkách daného chovu. Důležitým aspektem této metody jsou také dostatečné a kvalitně vybavené prostory, kde je nutné chov infekčních mšic vést (Comeau 1983; Comeau 1976).

3.4.1.3 Symptomatické hodnocení

Pro symptomatické hodnocení se využívá stupnice, kterou vyvinuli Shaller a Qualset (1980). Jedná se o stupnici založenou na hodnocení barevných změn, redukcii odnožování, redukcii výšky a redukcii velikosti klasů v době kvetení. Pro pšenici je však tato stupnice pouze orientační, neodpovídá totiž skutečnému úrovní odolnosti k infekci BYDV. U ječmene a ovsa je však hodnota projevu symptomů dobrým ukazatelem odolnosti (Comeau 1986). Pro skutečné odvození odolnosti je tak třeba využívat dalších ukazatelů, jako třeba hmotnosti tisíce semen, počet klásků na rostlinu či hmotnost zrna na plochu. Literatura se liší v doporučených sledovaných parametrech, většina z nich se však využívá k odvození indexu náchylnosti. Jedná se o uměle vytvořený parametr, který kombinuje symptomatické hodnocení s hodnotou výnosových parametrů. Vzorec pro výpočet indexu náchylnosti využívaný v České republice odvodili Šíp et al. (1997).

Procentní redukce u parametrů hmotnost zrna na klas a hmotnost zrna na plochu je přibližně 40 %. Ukazatel hmotnost slámy na plochu byl redukován pouze z 24 % a lze tak usoudit, že infekce BYDV z větší míry ovlivňuje generativní orgány. Největší význam pro redukcii výnosu představoval především ukazatel počet zrn na klas, v menší míře pak hmotnost tisíce semen a počet klasů na rostlinu. Podobných výsledků bylo dosaženo jak u ozimé, tak u jarní pšenice. Statistické korelační analýzy také prokazují, že lepších výsledků je dosažováno při analýze dat založených na infekční variantě pokusu než při porovnávání míry redukce parametrů mezi infekční a kontrolní variantou (Chrprová et al 1998).

3.4.2 Nepřímé metody

Nepřímé metody hodnocení odolnosti rostlin k infekci BYDV jsou založeny na laboratorních metodách a pěstování infekčních rostlin ve skleníku. Výhody těchto metod oproti polním testům jsou především v rychlosti provedení testů (možnost získání výsledku v řádu měsíců), nižší pracnosti a náročnosti na chov infekčních mšic. Výsledky nepřímých metod však nemusí nutně odpovídat výsledkům polních pokusů a rezistence odvozená těmito metodami tak nutně neznamena skutečnou odolnost rostlin k infekci (Veškrna 2008).

3.4.2.1 ELISA a RT-qPCR

Semikvantitativní ELISA je imunochemická diagnostická metoda, která stanovuje relativní množství viru v infikované rostlině. Rezistence takto stanovených genotypů je

založena na schopnosti rostliny bránit množení viru. Inokulace se provádí v počtu deseti mšic na týdenní klíčnou rostlinu. Následuje dvoudenní infekční perioda. V první fázi infekce jsou virem nejvíce postiženy kořeny, kde se virus také v největším množství množí, později však reprodukce probíhá i v nadzemních částech. Odběr vzorků je proveden 10, 20 a 31 dní po infekci v případě prvního listu, 5, 10 a 20 dní po infekci v případě odběru kořenů. Největších rozdílů v absorbanci mezi náchylnými a odolnými variantami je dosaženo 10 dnů po infekci. Tato metoda umožňuje získání výsledků v krátkém časovém úseku za použití malého počtu mšic, nezávisle na ročním období. Rozdíly v absorbancích mezi liniemi nesoucí gen rezistence a mezi náchylnými genotypy je uváděn v rozmezí 50–80 %. Velmi důležité při provádění této metody je však dbát na precizní odebrání identických sekcí listů mezi variantami. Některé odrůdy, u nichž imunochemické metody prokázaly rezistenci však tuto rezistenci nepotvrdili v polních pokusech (Henry et al. 2001; Ayala et al. 2002).

V současné době lze k stanovení relativní množství viru v infikované rostlině využít metodu RT-qPCR. Jedná se o metodu založenou na reverzní transkripci RNA a následné polymerázové řetězové reakci DNA. Je možno ji využít jak k detekci, tak ke kvantifikaci množství viru v rostlině. Jedná se o časově a finančně efektivnější alternativu k metodě ELISA (Jarošová & Kundu 2010).

3.4.2.2 Analýza DNA

Metoda detekce rezistentních linií na základě analýzy DNA byla umožněna objevem RFLP a RAPD markerů. Na počátku nového tisíciletí byl odvozen SSR (single sequence repeat) marker gwm37 (Ayala et al. 2001), který prokazuje polymorfismus mezi rezistentní linií TC14 a běžnými pšenicemi s nižší odolností. Jedná se o diagnostický kodominantní marker, který dokáže rozlišit jedince obsahující genetickou informaci *Thinopyrum intermedium* homozygotně nebo heterozygotně od jedinců, u kterých se genetická informace tohoto druhu nevyskytuje. Tolerance byla prokazatelně řízena několika QTL (Quantitative trait locus) s malým efektem, pro které nebyly nalezeny žádné diagnostické markery. Následné testy, které hodnotily účinnost tohoto markeru v závislosti na výsledcích kvantitativní ELISA, prokázaly, že asi 70 % rostlin markrem identifikovaných jako homozygoti vykazovaly nízkou úroveň titru viru. Tento marker však není v těsné vazbě na gen rezistence a při jeho využití ve šlechtění na odolnost k BYDV může docházet k rekombinacím, a tedy falešně pozitivním výsledkům (Henry et al. 2001).

Pro využití ve šlechtění bylo nalezeno několik dalších SSR, SCAR, RAPD nebo QTL markerů, které však neprokázaly silnou vazbu na geny rezistence a povětšinou se neprojevují snížením projevu genotypů v polních podmínkách. Tyto markery se tedy nedají s vysokou spolehlivostí použít v rezistentním šlechtění (Veškrna 2008).

4 Metodika

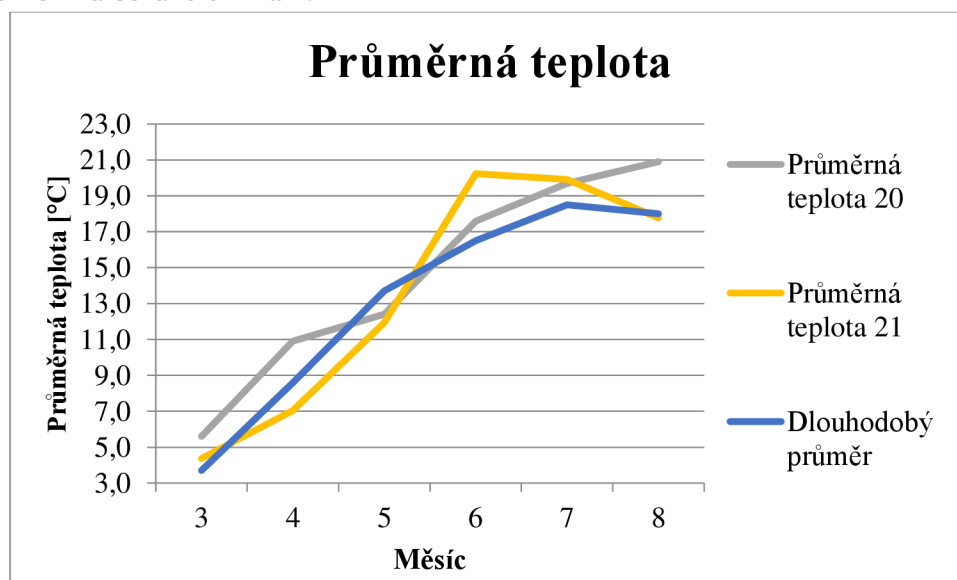
Odolnost genotypů ozimé a jarní pšenice byla testována dvěma nezávislými polními pokusy. V prvním byly odrůdy ozimé a jarní pšenice vysety v jednořádkovém výsevu a byly hodnoceny jejich projevy symptomů pomocí stupnice pro hodnocení symptomatické reakce. V druhém pokusu byly odrůdy ozimé a jarní pšenice vysety pomocí secího stroje Oyord do parcel o velikosti 9,8 m². Tento typ pokusu umožnil sledovat vliv infekce BYDV na výnos.

4.1 Pokusná lokalita

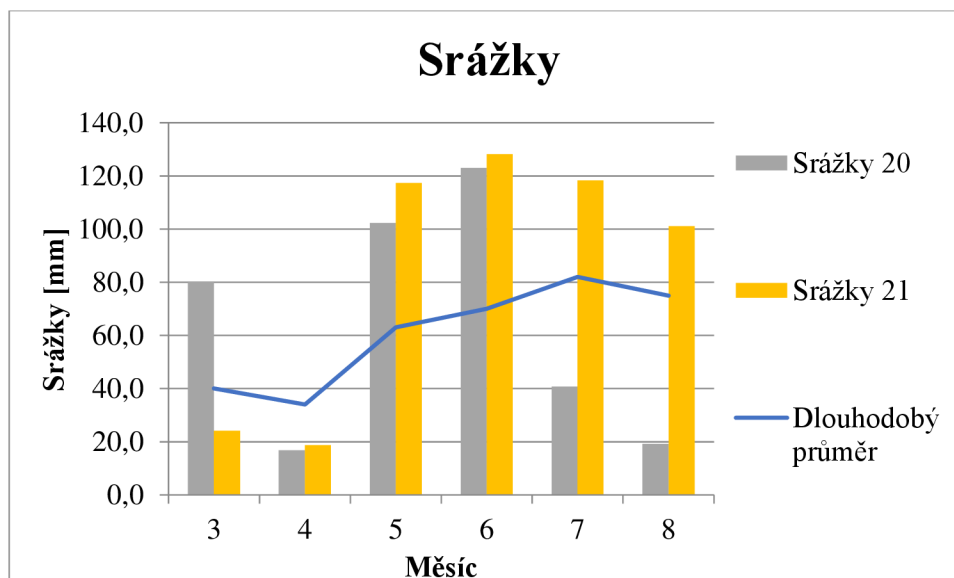
Polní pokusy probíhaly na Šlechtitelské stanici společnosti Selgen a.s. ve Stupicích. Šlechtitelská stanice se nachází v okrese Praha – východ ve Středočeském kraji na hranici s Hlavním městem Praha (50° 5'; 14° 25' E). Jedná se o řepářskou výrobní oblast nacházející se ve výšce 170-305 metrů nad mořem. Dominantním půdním druhem je středně těžká jílovitohlinitá půda s dominantním půdním typem hnědozem. Dlouhodobá průměrná teplota je 8,3 °C a průměrný roční úhrn srážek 588 mm. Půdní reakce se pohybuje v rozmezí 6,1-6,3 a jedná se tak o slabě kyselou půdní reakci. Hladina spodní vody se pohybuje na hranici 100-160 cm pod povrchem.

4.1.1 Průběh počasí během testování

Testování genotypů ozimé a jarní pšenice probíhalo v sezónách 2019–2020 a 2020–2021. Průběh počasí během sezóny, a to zejména v jarních měsících, může mít výrazný vliv na projevy symptomů i výnosové ukazatele. Průběh počasí na pokusné stanici ve Stupicích je znázorněn na obrázcích 1 a 2.



Obrázek 1 Průběh průměrných teplot v letech 2020 a 2021 na pokusné stanici Stupice



Obrázek 2 Průběh srážek v letech 2020 a 2021 na pokusné stanici Stupice

4.2 Chov vironosných mšic

Princip metody spočívá v odchovu vironosné populace mšice střemchové (*R. padi*) na rostlinách ječmene jarního (*Hordeum vulgare L.*) v kontejnerech. Každý jednotlivý kontejner s napěstovanými hostitelskými rostlinami je opatřen návlekiem (izolátorem) zhotoveným z průsvitné a prodyšné síťoviny (Wistar). Návlek poskytuje ochranu mšicím vůči jejich predátorům, zejména vůči parazitické vosičce mšicomarovi (*Aphidius colemani* Viereck). Brání rovněž migraci mšic z hostitelských rostlin. Uzavřené prostředí uvnitř izolátoru zároveň urychluje rozvoj populace mšic na hostitelských rostlinách a dosažení vysoce abundantní populace.

Odchov vironosných mšic probíhá ve VÚRV Praha – Ruzyně.

4.2.1 Založení infekčního chovu mšic

Pro založení skleníkového infekčního chovu (izolátů viru žluté zakrslosti ječmene-BYDV) lze použít některý z následujících postupů:

a) V terénu v porostu obilnin vykazujících symptomy napadení BYDV odebrat celé rostliny pro přesazení do kontejnerů ve skleníku. U rostlin odebraných v terénu je třeba sérologickým detekčním testem (ELISA) ověřit přítomnost BYDV. Rostliny vykazující pozitivní reakci se kolonizují viruprostými mšicemi, jež se nabývacím sáním stávají vironosnými; ty jsou pak základem infekčního chovu.

b) Populaci mšice střemchové odebrat v terénu z porostů obilnin napadených mšicemi. Jimi ve skleníku kolonizovat předpěstované rostliny ječmene jarního v kontejnerech. Po 20 dnech nabývacího sání na těchto hostitelských rostlinách imunochemicky (ELISA) ověřit účinnost infekce BYDV u náhodně odebraných vzorků listů z těchto rostlin. V případě pozitivního výsledku jsou pak základem infekčního chovu.

c) Populaci mšice střemchové odebrat v terénu z porostů obilnin napadených mšicemi. Část směsné populace mšic sebraných z porostů obilnin napadených

mšicemi imunochemicky (ELISA) otestovat na přítomnost BYDV. V pozitivním případě vironosnými mšicemi kolonizovat předpěstované rostliny ječmene jarního. Po 20 dnech nabývacího sání na těchto hostitelských rostlinách imunochemicky (ELISA) ověřit účinnost infekce BYDV u náhodně odebraných vzorků listů z těchto rostlin

Izoláty BYDV pro založení infekčního chovu lze také získat z chovů, kde se izoláty tohoto viru trvale udržují. Jednolivé kmeny BYDV: PAS, PAV, MAV lze stanovit a rozlišit metodou PCR

4.2.2 Udržování infekčního chovu mšic

Rostliny s izoláty BYDV vydrží životné přibližně 3-4 týdny (dle intenzity osídlení mšicemi), proto se postupně vysévá a udržuje dostatečný počet zdravých rostlin, které se na BYDV izoláty použijí. Pro tento účel se v pravidelných intervalech osévá ječmenem jarním 2–6 kontejnerů. Vhodné jsou k tomuto účelu středně odolné odrůdy. Rostliny jsou pěstovány v kameninových kořenáčích (osvědčily se jako vhodnější oproti plastovým kontejnerům z hlediska příznivějšího udržení vláhového režimu) o průměru cca 18 cm. Výsevek představuje 15–20 zrn/kořenáč. Oporu rostlin v kořenáčích zajišťují drátěné vzpěry. Rostliny jsou chráněny návleky (izolátory) z prodyšné a průsvitné textilie (Wistar); kontejnery se zaizolují ihned po vysetí. Po 3–4 týdnech, dle vzrůstu rostliny, se kolonizuje vironosnými mšicemi (cca 2-5 mšic/rostlina). Udržování chovu vironosných mšic na izoláty BYDV je nepřetržitý proces.

4.2.3 Rozšíření infekčního chovu mšic

Pro zajištění dostatku mšic pro kolonizaci produkčního chovu mšic je třeba infekční chov rozšířit. Jako hostitelská rostlina pro rozšířený infekční chov (a i pro produkční chov) je, tak jako u infekčního chovu mšic na izoláty BYDV, používán ječmen jarní. Rovněž výsevek představuje 15–20 zrn/kořenáč. Po 3–4 týdnech jsou rostliny přihnojovány minerálním hnojivem NPK (cca 1 kávová lžička/kořenáč). Poté jsou aplikovány drátěné vzpěry a nasazeny textilní izolátory.

Vzhledem k vyšší vzdušné vlhkosti, obvyklé pro pěstování ve skleníku, je vhodné rostliny ječmene v časných růstových fázích ošetřovat proti padlí (*Blumeria graminis*) fungicidy.

Následná infestace se provádí u dostatečně vzrostlých hostitelských rostlin ve fázi sloupkování (za 4–6 týdnů po vzejití). Jeden až dva dny před kolonizací hostitelských rostlin vironosnými mšicemi se provádí sklepávání mšic na rozměrný arch papíru. Papír je předem posypaný talkem (mastencem mletým), aby se zabránilo jejich slepování. Po sesypání takto sebraných mšic do zásobní plastové dózy jsou pak mšice za pomoci lodičky a štětečku přenášeny na předpěstované hostitelské rostliny (cca 2-5 mšic/rostlina). Kolonizaci hostitelských rostlin lze také provést ostříháním mšicemi osazených listů rostlin (infikované BYDV, cca 50 jedinců/list) a jejich zavěšením na kolonizované rostliny.

Kolonizace se doporučuje provést ve dvou termínech: kolonizovat polovinu ze založeného souboru kořenáčů a po 10 dnech kolonizovat druhou polovinu. Tato postupná kolonizace se doporučuje s ohledem na případné přemnožení mšic a eventuálně následné odumírání těchto rostlin.

Po provedené kolonizaci se návleky z textilie v dostatečné výšce nad rostlinou uzavřou a zavážou. Zálivku je vhodné uplatnit nejlépe až v následujícím dni, kdy aplikované mšice již sají na rostlinách a již nesetrvávají na povrchu zeminy. Režim v kóji ve skleníku je vhodné nastavit: 12/12 hod. den/noc, 18 °C teplota, přisvícení 2 hod. ráno (od 7 do 9 hod.) a 2 hod. odpoledne od 17 do 19 hod.

4.2.4 Založení produkčního chovu pro polní inokulace

Hostitelské rostliny ječmene jarního pro produkční chov se napěstují stejným způsobem jako pro rozšíření infekčního chovu. Rovněž režim v kóji ve skleníku je shodný s režimem pro rozšířený infekční chov.

4.2.5 Časový postup

Termín založení produkčního chovu mšic se odvíjí od termínu inokulace v polních podmínkách. Rostliny na poli jsou inokulovány ve fázi 2–3 listů, čehož je dosaženo zpravidla za 4 až 5 týdnů po setí, v závislosti na podmínkách vzcházení. Vysetí hostitelských rostlin pro produkční chov mšic je nutné načasovat 2 měsíce v předstihu před předpokládaným termínem setí na poli a přibližně 3 měsíce v předstihu je třeba vysít rostliny pro rozšířený infekční chov, aby byl zajištěn dostatek mšic pro kolonizaci produkčního chovu mšic.

4.2.6 Příprava k polní inokulaci obilnin

Sběr vironosných mšic se provádí sklepáváním z rostlin z produkčního chovu na rozměrný arch papíru. Při sklepávání je třeba použít dostatečné množství talku, aby se mšice neslepovaly. Mšice sklizené z hostitelských rostlin jsou na pole přenášeny v zásobních plastových dózách; doba mezi sběrem mšic z produkčního chovu a inokulací rostlin na poli by neměla přesáhnout 2 hodiny. Mšice by neměly být vystaveny přímému slunečnímu svitu. Při časové prodlevě lze mšice během dne infekce uchovávat při cca 7 °C (Štolcová et al. 2012).

4.3 Design pokusu

Pro zamezení výskytu půdních chorob a zajištění lepšího vzcházení bylo všechno osivo mořeno. V průběhu vegetace probíhalo ošetření porostu především insekticidními a herbicidními přípravky. Insekticidní clona předešla případné druhotné infekci kontrolních rostlin, které by mohla proběhnout za předpokladu přirozené výskytu přenašečů na pokusné lokalitě. Zamezila také infekci virem zakrslosti pšenice přenášeným křískem polním. Využití herbicidních přípravků je stěžejní především u řádkových pokusů, kdy rostliny nedosahují běžné pokrývnosti půdy a vyskytuje se mezi nimi neosetý prostor. V případě silnějšího zaplevelení pozemku (především jaro 2020) byl pozemek ručně odplevelen.

Všechny pokusy se podařilo infikovat v doporučené fázi, to je ve fázi dvou až tří listů. Infekce ozimých pšenic tak proběhly na podzim, zhruba 4–5 týdnů od setí a infekce jarních pšenic 4–5 týdnů od vysetí na jaře. Inokulace byla provedena pomocí vironosných mšic ze skleníkových chovů VÚRV Ruzyně. Použitým izolátem byl BYDV-PAV serologicky stanovený ve VÚRV Ruzyně. K patě každé rostliny bylo pomocí plastových lodiček umístěno

přibližně 10–15 vironosných mšic. Po uplynutí 7 dnů byly porosty ošetřeny insekticidním přípravkem (pyretroid) za účelem zamezení přenosu viru BYDV v porostu.

Ve fázi konce metání až začátku kvetení (BBCH 59-61) bylo provedeno symptomatické hodnocení dle stupnice Shaller & Qualset (1980; Tabulka 1). Stupnice je v rozsahu 0–9, kdy je nulou hodnocena rostlina, která neprojevuje žádné z typických symptomů. Stupnice zhodnocuje vliv infekce na barevné změny listů, míru redukce odnožování a redukce délky rostlin. Znaky byly porovnávány s neinfikovanou kontrolou (Veškrna 2009).

Tabulka 1 - Stupnice symptomatického hodnocení dle Shaller & Qualset (1980)

Body	Popis
0	Nejsou viditelné symptomy (imunní rostliny, bezsymptomní hostitelé, neinfikované rostliny)
1	Stopy žloutnutí na konci malého počtu listů, u některých obilnin (odrůd) červené zbarvení převažuje nad žlutým, habitus rostliny je silný
2	Ohraničené žloutnutí (červenání), větší rozměry žloutnoucích ploch ve srovnání se stupněm 1, více listů je zbarvených
3	Mírné až slabé žloutnutí (červenání), nevýznamná zakrslost, může se projevat vliv na odnožování
4	Mírné až silnější žloutnutí (červenání), rostliny jsou středně silné až silné
5	Silnější žloutnutí (červenání), rostliny jsou středně silné až slabé, občasné zakrslosti
6	Vysoký stupeň žloutnutí, malé klasy, patrné zakrslosti
7	Silné žloutnutí (červenání), malé klasy, střední zakrslost, slabý habitus rostliny
8	Téměř kompletně žluté (červené) listy, zakrslost, odnožování je zjevně redukováno (objevují se trsy – rozety), redukována velikost klasu, částečná sterilita
9	Výrazná zakrslost, kompletní žloutnutí (červenání), málo nebo žádné klasy, značná sterilita, předčasná zralost nebo zasychání rostliny

4.3.1 Jendořádkové pokusy

Všechny jendořádkové pokusy byly sety pomocí secího stroje typu seedmatic. Délka každého řádku byla 1,35 m. Ve všech jednořádkových pokusech bylo vyseto jedno infikované opakování a jedna neinfikovaná kontrola. Ve všech pokusech byly také obsaženy mírně náchylné a mírně odolné kontroly (různé pro ozimou a jarní pšenici).

Ve fázi plné zralosti bylo z každého opakování sklizeno deset klasů. Byla zjištěna hmotnost tisíce semen, celkový počet semen a hmotnost sklizených deseti klasů. Z uvedených ukazatelů byla vypočtena redukce hmotnosti zrna na klas (HZK), která se využívá pro výpočet indexu náchylnosti (SI) navrženého Šípem et al. (1997) podle vzorce v tabulce 2.

Tabulka 2 - Rovnice pro výpočet indexu náchylnosti (SI) dle Šípa & kol. (1997; HZK – Redukce hmotnosti zrna na klas, SH – Symptomatické hodnocení)

Typ	Rovnice
Ozimá	$SI = 4,42 \text{ HZK} + 0,19(10-SH)$
Jarní	$SI = 4,02 \text{ HZK} + 0,52(10-SH)$



Obrázek 3 - Jednořádkový pokus ozimé pšenice 2020



Obrázek 4 - Jednořádkový pokus ozimé pšenice 2020

4.3.1.1 Soubor testovaných genotypů v jednořádkových pokusech

Genotypy použité v jednořádkových pokusech se skládaly z mírně náchylných a mírně odolných kontrol, materiálů v procesu šlechtění společnosti Selgen a.s. a některých materiálů nově dostupných na českém trhu. Kompletní tabulka všech testovaných genotypů v jednotlivých pokusech se nachází v části Samostatné přílohy. Počet genotypů testovaných v jednotlivých pokusech obsahuje tabulka 3.

Tabulka 3 - Počet testovaných genotypů dle pokusů

Pokus	Počet genotypů
Jednořádkový pokus ozimé pšenice 2020	97
Jednořádkový pokus ozimé pšenice 2021	83
Jednořádkový pokus jarní pšenice 2020	52
Jednořádkový pokus jarní pšenice 2021	96

V odrůdovém pokusu jarní pšenice 2021 byl navržen k běžně testovanému souboru odrůd přiřazen soubor genotypů nesoucích gen rezistence (Tabulka 4). Všechny pšenice byly hodnoceny stejným způsobem a na konci byl porovnán soubor běžných odrůd s odrůdami nesoucími gen rezistence.

Tabulka 4 - Seznam rezistentních genotypů testovaných v jednořádkovém pokusu jarní pšenice 2021

Název odrůdy	Gen rezistence
Anza	Mírně odolná kontrola
Maringá 1	Odolná kontrola
WKL-91-138	Odolná kontrola
Jara	Náchylná kontrola
Leguan	Mírně odolná kontrola
CIM 0220	BDV 2
CIM 0221	BDV 2
CIM 0222	BDV 2
CIM 0223	BDV 2
CIM 0224	BDV 2
CIM 0225	BDV 2
CIM 0226	BDV 2
CIM 0227	BDV 2
CIM 0228	BDV 2
CIM 0229	BDV 2
CIM 0230	BDV 2
CIM 0231	BDV 2
CIM 0232	BDV 2
CIM 0233	BDV 2
CIM 0234	BDV 2
CIM 0235	BDV 2
CIM 0236	BDV 2
CIM 0237	BDV 2
QG 2.1	Neznámý

QG 4.37	Neznámý
SG-S1267-92	Neznámý
SG-1267-92/3*TC14290 E	Bdv2
SG-S26-98	Neznámý
SG-S26-98*SG-S113-98	Neznámý
SG-S45-98	Neznámý
SG-S604-96	Neznámý
TC14290E hladká	Bdv2
TC14290E osinkatá	Bdv2
TC14290E	Bdv2
TC14290J hladká	Bdv2
TC14290J osinkatá	Bdv2
TC14290J vouska	Bdv2
TC5	Bdv2
TC7	Bdv2
Z2	Bdv2
Z6	Bdv2

4.3.2 Výnosový pokus ozimé pšenice 2020

Výnosový pokus ozimé pšenice 2020 byl vyset secím strojem typu Oyord do parcelk o velikos 9,8 m². Jako testované odrůdy byly zvoleny středně odolné Skif a Adina. Jak je patrné z tabulky číslo 5, jak infekční, tak kontrolní varianta obou odrůd byla vyseta v pěti opakováních, a to ve výsevku 2, 3, 4, 5 a 6 miliónů klíčivých semen na hektar. Inokulace rostlin byla provedena vironosnými mšicemi na podzim ve fázi dvou až tří listů. Na každou parcelu byly mšice smíchané s talkem rovnoměrně aplikovány v odhadovaném množství 5-10 mšic na rostlinu. Termín setí i termín inokulace se shodoval s odrůdovým pokusem ozimé pšenice 2020.

Tabulka 5 - Design výnosového pokusu ozimé pšenice 2020

Odrůda	Varianta	Výsevek [MKS/ha]
Skif	Infekční	2
Skif	Infekční	3
Skif	Infekční	4
Skif	Infekční	5
Skif	Infekční	6
Skif	Kontrolní	2
Skif	Kontrolní	3
Skif	Kontrolní	4
Skif	Kontrolní	5
Skif	Kontrolní	6
Adina	Infekční	2
Adina	Infekční	3
Adina	Infekční	4
Adina	Infekční	5
Adina	Infekční	6
Adina	Kontrolní	2
Adina	Kontrolní	3
Adina	Kontrolní	4
Adina	Kontrolní	5
Adina	Kontrolní	6

Ve fázi konce metání až počátku kvetení bylo provedeno symptomatické hodnocení dle stupnice Shaller-Qualset (1980). Ve fázi plné zralosti byly parcelky sklizeny malomarcelkovým kombajnem a obilí bylo uloženo v látkových pytlích. Následně byl zjištěn výnos parcelky a provedena laboratorní analýza. Byla též zjištěna hmotnost tisíce semen, obsah dusíkatých látek a objemová hmotnost. Statisticky byla ověřena závislost sledovaných parametrů nejdříve pouze na infekci, poté na faktorech odrůda + infekce.

4.3.3 Výnosový pokus jarní pšenice 2020

Výnosový pokus jarní pšenice 2020 byl vyset secím strojem typu Oyord do parcel o velikost 9,8 m². Testovanou odrůdou byla Odeta při běžném výsevu 3,5 milionu klíčivých semen na hektar. Jak infekční, tak kontrolní varianta byly vysety v šesti opakováních. Každá z variant měla navíc 2 podskupiny, a to 3 parcelky fungicidně ošetřené a 3 parcelky bez fungicidního ošetření. Jednotlivé varianty jsou zobrazeny v tabulce číslo 6. Infekce rostlin byla provedena ve fázi dvou až tří listů. Na každou parcelku byly mšice stejně jako u pokusu s ozimou pšenicí aplikovány rovnoměrně v odhadovaném množství 5-10 mšic na rostlinu. Termín setí i termín infekce se shodovaly s odrůdovým pokusem jarní pšenice 2020.

Tabulka 6 - Design výnosového pokusu jarní pšenice 2020

Odrůda	Varianta	Fungicidní ošetření
Odeta	Infekční	Ano
Odeta	Infekční	Ano
Odeta	Infekční	Ano
Odeta	Infekční	Ne
Odeta	Infekční	Ne
Odeta	Infekční	Ne
Odeta	Kontrolní	Ano
Odeta	Kontrolní	Ano
Odeta	Kontrolní	Ano
Odeta	Kontrolní	Ne
Odeta	Kontrolní	Ne
Odeta	Kontrolní	Ne

Ve fázi konce metání až počátku kvetení bylo provedeno symptomatické hodnocení dle stupnice Shhaller-Qualset (1980). Ve fázi plné zralosti byly parcelky sklizeny malomarclovým kombajnem a obilí bylo uloženo v látkových pytlích. Následně byl zjištěn výnos parcelky a provedena laboratorní analýza. V té byla zjištěna hmotnost tisíce semen, obsah dusíkatých látek a objemová hmotnost. Statisticky byla ověřena závislost sledovaných parametrů nejdříve pouze na infekci, poté na faktorech infekce + ošetření.



Obrázek 5 - Výnosový pokus jarní pšenice 2020, kontrolní varianta Obrázek 6 - Výnosový pokus jarní pšenice 2020, infekční varianta

4.3.4 Statistika

K zpracování výsledků bylo využito programu Statgraphics Centurion. Analýza rozptylu byla provedena metodou ANOVA a k rozdělení do homologních skupin bylo využito Duncanova testu.

5 Výsledky

5.1 Jednořádkové pokusy

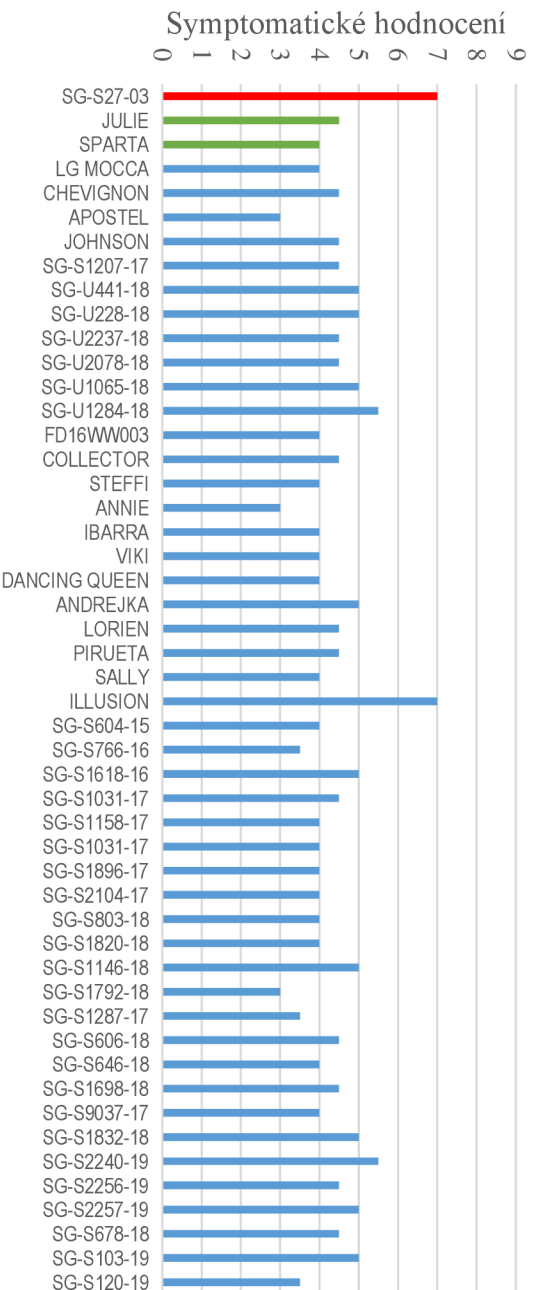
V jednořádkových pokusech byla provedeno symptomatické hodnocení genotypů. Dále byly měřeny některé výnosové ukazatele. Ve všech případech proběhla infekce úspěšně, infekční varianta vykazovala symptomy infekce BYDV a kontrolní varianta byla bez projevů. Poměrně častým jevem ve všech pokusech ale bylo, že při silném projevu jednoho symptomu byl potlačen symptom další. Nejčastěji se jednalo o případy, kdy byla u rostlin silně redukována výška, v takovém případě však nedocházela k tak výrazným barevným změnám, jako u zbytku souboru.

Tabulka 7 - Průměrné symptomatické hodnocení a průměrný index náchylnosti jednořádkových pokusů

Typ	Průměrné symptomatické hodnocení	Průměrný index náchylnosti
Jarní pšenice	4,47	4,55
Ozimá pšenice	4,76	2,76

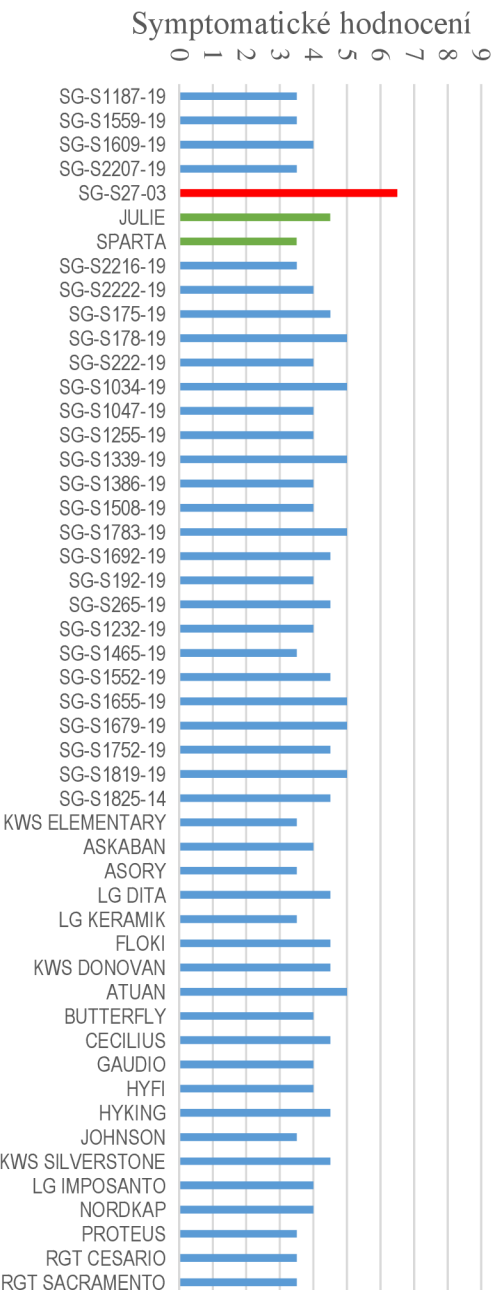
5.1.1 Ozimá pšenice 2020

Symptomatické hodnocení ozimé pšenice 2020



Obrázek 7 - Symptomatické hodnocení ozimé pšenice 2020 I. část

Symptomatické hodnocení ozimé pšenice 2020



Obrázek 8 - Symptomatické hodnocení ozimé pšenice 2020 2. část

Reakce genotypů ozimé pšenice na infekci BYDV jsou znázorněny na obrázcích 6 a 7. Zeleně jsou zvýrazněny středně až mírně odolné kontroly, červeně náchylná kontrola SG-S27-03. Průměrné symptomatické hodnocení v tomto roce bylo 4,3 a rozmezí se pohybovalo na stupnici od 3 do 7. Mezi odrůdy s nejcitlivější reakcí k infekci BYDV se tradičně zařadila mírně náchylná kontrola SG-S27-03 a odrůda Illusion. Ačkoliv se tyto odrůdy nedají označit za přímo náchylné, jejich reakce se výrazně lišila od zbytku testovaných odrůd. Tyto dvě odrůdy projevovaly výrazné změny ve své morfologii (výrazná změna barvy, redukce výšky,

produkce drobných klasů) a jejich schopnost produkce zrna byla výrazně ovlivněna a například fáze metání byla u infikované varianty posunuta až o několik dní. Některé testované odrůdy, jako například Apostel, Annie nebo SG-S1792-18 dosáhly v symptomatickém hodnocení lepších výsledků než mírně odolná kontrola Sparta. Projevy symptomů napadení u těchto odrůd byly velmi mírně nižší než u této kontroly (například menší redukce výšky, méně až žádné barevné změny), nejednalo se však o výrazný znak vyšší odolnosti.

Tabulka 8 - Průměrná hodnota HTS variant jednořádkového pokusu OP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměrná HTS [g]	Homologní skupina
Kontrolní	39,88	a
Infikovaná	40,39	a

V odrůdovém pokusu v roce 2020 infekce ozimé pšenice virem BYDV průměrně zvyšovala HTS o 1,27 %. Ačkoliv ve všech ostatních provedených pokusech byla zřejmá statisticky průkazná redukce HTS vlivem infekce BYDV, v tomto případě došlo dokonce ke zvýšení průměrné HTS po infekci (Tabulka 8). Mírně náchylné odrůdy prokazovaly redukcí HTS (SG-S27-03 16,04 %, Illusion 16,11 %). Odrůdy s nejlepším symptomatickým hodnocením se však nijak neodlišovaly od zbytku testovaného souboru. Například u genotypu SG-S1679-19 došlo k navýšení HTS o 19,21 %, ačkoliv v symptomatickém hodnocení dosáhla mírně podprůměrného hodnocení 5. Tyto výsledky prokazují, že k symptomatickému hodnocení je třeba přihlížet pouze jako k číselnému vyjádření projevovaných symptomů, a že není přímo vázáno ke změnám výnosových ukazatelů. Dále se zde velmi výrazně projevují rozdíly ročníků. Klíčová fáze pro rozhodnutí o HTS je tvorba a nalévání zrn (BBCH 71-19), a v případě dobrých podmínek v tomto období má infekce BYDV pravděpodobně pouze malý vliv na tento výnosový ukazatel.

Tabulka 9 - Průměrná hodnota hmotnosti 10 klasů variant jednořádkového pokusu OP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměrná hmotnost 10 klasů [g]	Homologní skupina
Kontrolní	21,29	a
Infikovaná	14,15	b

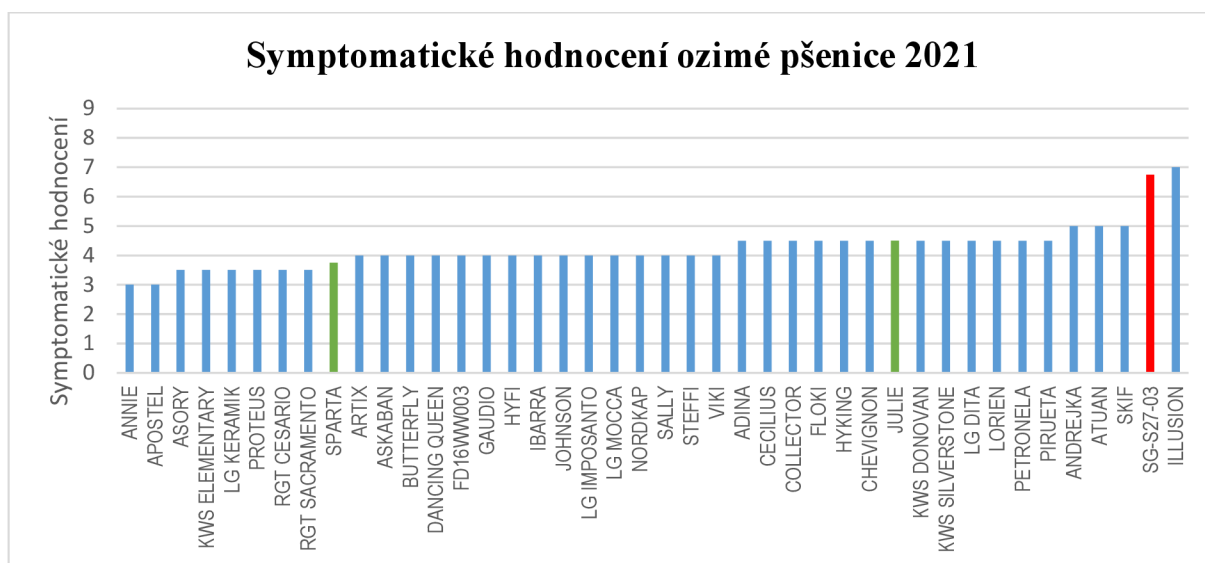
Posledním sledovaným ukazatelem byla v roce 2020 průměrná hmotnost deseti klasů odebraných při plné zralosti. Hmotnost deseti klasů ovlivňuje HTS a počet zrn na klas. Jak vyplývá z tabulky 9, průměrný počet zrn na klas infikované varianty byl vzhledem k zvýšené HTS vlivem infekce (Tabulka 8) výrazně snížený.

Tabulka 10 - 5 nejlepších a 5 nejhorších odrůd jendořádkového pokusu OP2020 dle indexu náchylnosti

Genotyp	Redukce hmotnosti zrna na klas [%]	Symptomatické hodnocení	Index náchylnosti
SG-S2216-19	Bez redukce	3,5	0,14
Annie	Bez redukce	3	0,20
SG-S604-15	Bez redukce	4	0,43
Askaban	0	4	0,76
SG-S1698-18	0,62	4,5	0,88
Illusion	57,14	7	3,85
SG-S1031-17	67,5	4,5	3,84
SG-S27-03	51,97	7	3,62
SG-U1284-18	58,09	5,5	3,61
Julie	59,16	4,5	3,47

V tabulce číslo 10 jsou vyjádřeny projevy odolnosti pěti odrůd s nejnižším a pěti odrůd s nejvyšším indexem náchylnosti. Mezi odrůdy s vysokou náchylností k infekci BYDV patří náchylná kontrola SG-S27-03 a Illusion. Tyto dva genotypy projevily nízkou odolnost již předchozích pokusech na pokusných lokalitách ve Stupicích a VÚRV Ruzyně a v roce 2020 tak předpokládaně tyto výsledky potvrdily. Překvapivě nejvyšší index náchylnosti měla odrůda Julie, která se v předchozích pokusech jevila spíše jako mírně odolná. Její symptomatické hodnocení však bylo výrazně vyšší než u dvou zmiňovaných citlivých odrůd a výpočet indexu náchylnosti ovlivnila zejména vysoká redukce hmotnosti zrna na klas (59,16 %), stejně jako u genotypu SG-S1031-17. Možným vysvětlením těchto projevů jsou podmínky ročníku. Z odrůd s nízkým indexem náchylnosti žádná z odrůd nevykazovala výrazné symptomy při polním hodnocení, žádná z těchto odrůd však také neprojevila známky rezistence, jak by nasvědčoval nízký index náchylnosti. Projevy symptomů těchto odrůd byly obdobné jako u mírně odolné kontroly Sparta (Index náchylnosti 1,58; Hodnocení symptomů 3,75).

5.1.2 Ozimá pšenice 2021



Obrázek 7 - Symptomatičké hodnocení odrůd ozimé pšenice 2021

Výsledky odrůdového pokusu jsou uvedeny na obrázku 9. Modrou barvou jsou v grafu vyznačeny hodnocené varianty, zelenou mírně odolné kontroly, červeně náchylná kontrola. Sledované genotypy ozimé pšenice se pro zjednodušení dají rozdělit podle hodnocení symptomů na dvě skupiny. První skupina obsahuje pšenice takové, které se dají označit jako do jisté míry odolné vůči infekci BYDV. Na těchto se projevují barevné změny v různé intenzitě, je redukována jejich výška a mírně je snížena i jejich schopnost odnožování, jsou však schopny dosáhnout všech fází BBCH v obdobných časových intervalech jako neinfikované kontroly. Do této skupiny patří genotypy, jejichž hodnocení symptomů se pohybuje v rozmezí 3-5. V omezené míře se zde projevují odlišnosti ve všech sledovaných vlastnostech, schopnost růstu a vývoje je však srovnatelná. Do této skupiny patří většina testovaných odrůd a pravděpodobně tedy i většina odrůd pěstovaných na našem území. Druhou skupinou jsou pšenice, které jsou citlivé k infekci BYDV a jejichž symptomy jsou výraznější než u první skupiny. Ačkoliv jsou schopny dosáhnout plného vývoje, zpravidla je silně redukována jejich výška, schopnost odnožování a srovnatelných fenologických fází dosahují později než neinfikované kontroly. Tyto genotypy se na stupnici hodnocení symptomů pohybují od 6,5 do 7 a v testovaném souboru se objevují pouze 2 genotypy s tímto hodnocením. V testovaném souboru se nevyskytovaly odrůdy, které by se vyznačovaly vyšší mírou odolnosti než genotypy z první skupiny, nebo naopak takové, jejichž citlivost k infekci BYDV by jim neumožňovala dosáhnout plného vývojového stupně.

Tabulka 11 - 5 nejlepších a 5 nejhorších odrůd jednořádkového pokusu OP2021 dle indexu náchylnosti

Genotyp	Redukce hmotnosti zrna na klas [%]	Symptomatické hodnocení	Index náchylnosti
SG-S1628-20	Bez redukce	5	0,52
SG-S192-19	9,61	7	0,99
SG-S1820-18	3,78	5,5	1,03
SG-S2255-16	9,09	6,5	1,07
LG Absalon	6,06	5	1,22
SG-S9037-17	37,77	5	2,62
SG-S1552-19	38,35	5	2,65
Wolverine	49,11	7,5	2,65
Mercedes	40,10	5	2,72
Illusion	53,02	7,5	2,82

Výsledky odrůdového pokusu 2021 (Tabulka 11) do jisté míry kopírují výsledky odrůdového pokusu z předchozího roku (Tabulka 10). Z pěti odrůd s nejnižším indexem náchylnosti jsou pouze dvě s nižším symptomatickým hodnocením, než je průměr celého testovaného souboru (5,29). Rozptyl indexu náchylnosti je však znatelně nižší než v roce předchozím. Žádná z testovaných odrůd dle symptomatického hodnocení nejevila výraznější známky rezistence. Zajímavou odrůdou je Wolverine, který je nově registrovaný ve Spojeném království. Jedná se o produkt šlechtění společnosti RAGT a je představován jako první pšenice vyšlechtěná pro evropský trh s rezistencí k BYDV. Genem odolnosti by měl být Bdv2. V polních pokusech ve Stupicích a izolátem BYDV-PAV však svou rezistenci nepotvrdil. Naopak se jednalo o jednu z nejcitlivějších testovaných odrůd v tomto pokusu. Ačkoliv byl jarní stav rostlin kontrolní varianty na dobré úrovni (Obrázek 10), infekce virem výrazně snížila její mrazuvzdornost a z vyšetého řádku infekční varianty přežilo pouze málo z nich (Obrázek 11). Odrůdou s nejvyšším indexem náchylnosti a zároveň s druhým nejhorším symptomatickým hodnocením byla odrůda Illusion, která v negativním smyslu předčila i náchylnou kontrolu SG-S27-03 (symptomatické hodnocení 8; index náchylnosti 2,25).



Obrázek 8 - Vyznačená kontrolní varianta odrůdy Wolverine

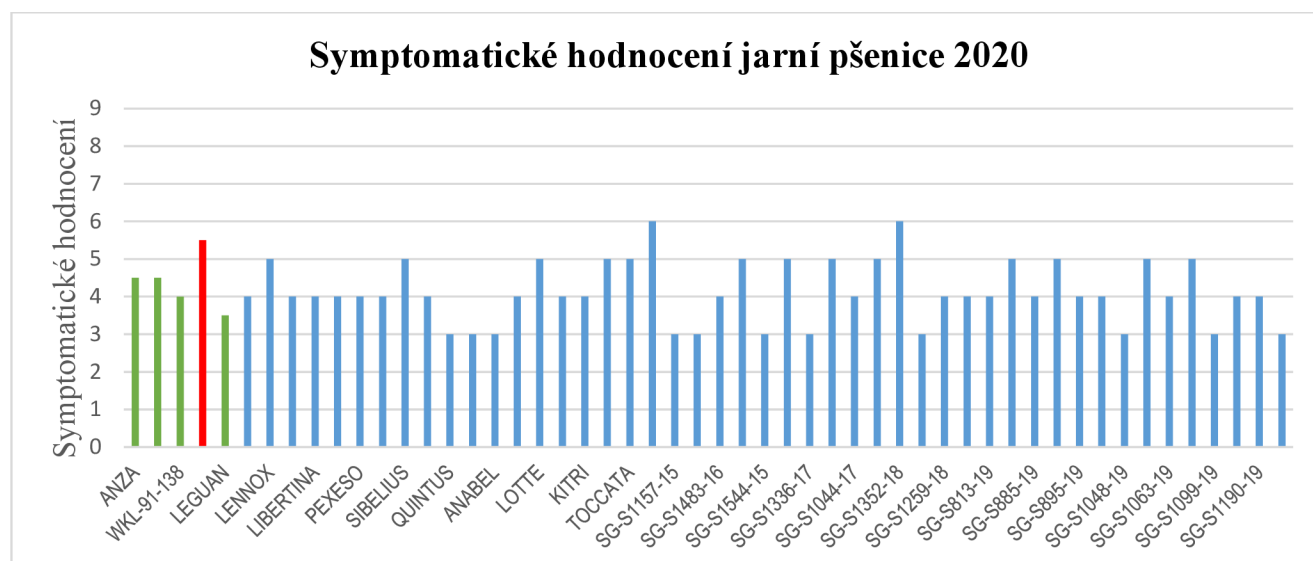
Obrázek 9 - Vyznačená infekční varianta odrůdy Wolverine

Tabulka 12 - Hodnoty průměrné hmotnosti 10 klasů a průměrné HTS pro jednořádkový pokus OP2021 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměrná hmotnost 10 klasů [g]	Homologní skupina hmotnosti 10 klasů	Průměrná HTS [g]	Homologní skupina HTS
Kontrolní	21,87	a	40,35	a
Infikovaná	10,51	b	31,49	b

U ozimé pšenice v roce 2021 měla infekce BYDV významný vliv na všechny sledované parametry. Redukce průměrné hmotnosti 10 klasů o 51,94 % také ukazuje na velmi vysokou redukci výnosu v tomto roce. Na výsledky pokusů v tomto roce se určitým způsobem projeví i náročnější podmínky oproti roku 2020 v zimním období. V tomto případě měla infekce vliv i na průměrnou hodnotu HTS (Tabulka 12), která byla v předchozím v infekční variantě mírně vyšší (1,28 %) než kontrolní varianta.

5.1.3 Jarní pšenice 2020



Obrázek 10 - Symptomatické hodnocení odrůd jarní pšenice 2020

Z výsledků symptomatického hodnocení odrůdového pokusu jarní pšenice 2020 (Obrázek 12) je patrné, že variabilita mezi testovanými genotypy jarní pšenice byla nižší než u pšenice ozimé. Rozmezí hodnocení bylo v tomto případě mezi 3 a 6. Ačkoliv se mezi testovanými odrůdami vyskytují kontroly (Maringá 1, Anza) nesoucí gen rezistence, projev infekce BYDV na těchto pšenicích nebyl výrazně odlišný od zbytku testovaného souboru. Za jeden z důvodů, proč je variabilita oproti ozimé pšenici snižena, je možno považovat termín infekce. Mšice jsou na rostliny aplikovány v obou případech v růstové fázi dvou až tří listů, rychlejší vývoj jarních pšeníc a odlišné podmínky v jarním období neumožňují tak výrazné projevy infekce, jako časná aplikace mšic na podzim. Tento ukazatel však nutně nepostihuje dopady na výnosové prvky a nedá se tak označit za důkaz vyšší tolerance jarních pšeníc k infekci BYDV. Žádná ze sledovaných odrůd neprojevovala známky jak vyšší, tak nižší úrovně odolnosti.

Tabulka 13 - Hodnoty průměrné hmotnosti 10 klasů a průměrné HTS jednořádkového pokusu JP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměrná hmotnost 10 klasů [g]	Homologní skupina hmotnosti 10 klasů	Průměrná HTS [g]	Homologní skupina HTS
Kontrolní	19,78	a	36,74	a
Infikovaná	8,69	b	30,18	b

Statistická analýza sledovaných znaků u pokusu jarní pšenice 2021 (Tabulka 13) prokázala vliv infekce BYDV na výnosové prvky. Výraznější vliv projevila především na hmotnost 10 klasů, stejně jako uvádí Chrsová (1998).

5.1.4 Jarní pšenice 2021

Tabulka 14 - Výsledky jednořádkového pokusu JP2021 pro genotypy nesoucí gen rezistence

Genotyp	Redukce hmotnosti zrna na klas [%]	Redukce HTS [%]	Symptomatické hodnocení	Index náchylnosti
ANZA	28,14	Bez redukce	5	2,08
MARINGÁ 1	39,92	Bez redukce	5	2,55
WKL-91-138	26,33	Bez redukce	5	2,01
JARA	17,08	4,24	6	1,83
LEGUAN	27,65	9,53	5	2,06
ANZA	41,61	22,14	5	2,62
CIM 0220	13,41	6,97	5	1,49
CIM 0221	25,98	26,78	6	2,18
CIM 0222	46,54	29,17	5	2,82
CIM 0223	42,74	33,41	5	2,67
CIM 0224	52,94	32,44	6	3,27
CIM 0225	50,65	24,02	5	2,99
CIM 0226	34,96	17,95	5	2,36
CIM 0227	20,22	20,95	5	1,76
CIM 0228	60,44	28,76	4	3,19
CIM 0229	33,38	20,99	4	2,10
CIM 0230	27,32	11,14	4	1,86
CIM 0231	7,75	20,27	5	1,26
CIM 0232	47,96	27,52	5	2,88
CIM 0233	30,79	18,52	5	2,19
CIM 0234	41,20	15,88	5	2,61
CIM 0235	35,78	11,60	5	2,39
CIM 0236	23,80	21,55	4	1,72
CIM 0237	34,38	23,18	5	2,33
JARA	7,14	Bez redukce	6	1,43
MARINGÁ	1,09	Bez redukce	4	0,80
QG 2.1	Bez redukce	Bez redukce	5	0,32
QG 4.37	38,58	Bez redukce	4	2,31
SG-S1267-92	48,82	22,68	5	2,91
SG-S1267-92/3*TC14290E	19,17	12,83	4	1,53
SG-S26-98	37,65	17,15	5	2,46
SG-S26-98*SG-S113-98	30,77	7,10	5	2,19
SG-S45-98	43,74	24,38	5	2,71
TC14290E HLADKÁ	42,19	14,93	5	2,65
TC14290E OSINKATÁ	43,14	20,25	5	2,68

TC14290J HLADKÁ	40,38	19,96	3	2,19
TC14290J OSINKATÁ	42,77	21,73	3	2,29
TC14290J VOUSKA	19,96	11,52	2	1,18
TC5	36,15	4,52	4	2,21
TC7	55,39	13,76	4	2,99
TC9	37,56	12,76	4	2,27
Z2	25,51	16,40	3	1,60
Z6	55,57	31,62	4	2,99

Tabulka 15 - Porovnání odrůd s genem rezistence a bez genu rezistence

Varianta	Symptomatické hodnocení	Redukce výšky [%]	Redukce HTS [%]	Redukce hmotnosti 10 klasů [%]
S genem rezistence	4,53	21,87	14,66	31,02
Bez genu rezistence	4,64	24,23	1,21	34,78

Porovnání reakce na infekci mezi skupinou genotypů bez známého genu rezistence a skupinou nesoucí geny rezistence pocházející z translokace *Thinopyrum intermedium* ukazuje tabulka 15. Vzhledem k vědeckým publikacím popisujícím geny rezistence k BYDV je překvapivé, že se obě varianty v symptomatickém hodnocení příliš neliší. Ani u dalších sledovaných ukazatelů pšenice s genem rezistence významně nepřevyšují běžný soubor testovaných genotypů (SI s genem rezistence 2,21; bez genu rezistence 2,46). Některé genotypy nesoucí gen rezistence projeví v polním testu znaky vyšší odolnosti (Tabulka 14), další odrůdy jako TC7, CIM0224 nebo Z6 však projevovaly vyšší než průměrnou náchylnost. U rezistentní varianty je výrazně vyšší redukce hmotnosti tisíce semen, která se tak více podílí na redukcí hmotnosti klasu než u varianty nerezistentní. Vzhledem k tomu, že běžný soubor testovaných odrůd obsahuje především materiály společnosti Selgen, které mají svůj genetický základ v běžně pěstovaných evropských odrůdách, a rezistentní materiály mají nejčastější původ v Mexiku, Číně a Austrálii, nemusí se nutně jednat o projevy genu rezistence, ale spíše celkově odlišnou stavbu rostliny. Cizí původ naznačuje pravděpodobný jiný režim pěstování, než je tomu běžné v České republice. Jednou z možností je, že se nejedná o rozdíl v intenzitě projevu infekce BYDV, pouze o odlišný způsob rostliny vyrovnání se virové infekci.

5.2 Výnosové pokusy

Ve výnosových pokusech byl hodnocen vliv infekce BYDV na výnos a kvalitu odrůd. Ve všech případech proběhla inokulace úspěšně, infekční varianty vykazovaly symptomy napadení a kontrolní varianta byla bez projevů. V žádném z pokusů se nepovedla 100% infekce parcel, pohybovala se však vždy okolo 90 % a u všech parcel byla srovnatelná.

5.2.1 Ozimá pšenice 2020

Tabulka 16 - Výsledky výnosu zrna výnosového pokusu OP2020

Varianta	Symptomatické hodnocení	Výnos zrna kontrolní vyrianty [t/ha]	Výnos infekční zrna varianty [t/ha]	Redukce výnosu [%]
Skif/2M	5	10,90	8,20	24,77
Skif/3M	5	11,80	9,98	15,42
Skif/4M	5	11,43	8,61	24,67
Skif/5M	5	11,92	9,39	21,22
Skif/6M	5	11,68	8,88	23,97
Adina/2M	4	10,37	6,76	34,81
Adina/3M	4	11,14	7,71	30,79
Adina/4M	4	11,78	7,79	33,87
Adina/5M	4	10,96	8,02	26,82
Adina/6M	4	11,80	8,32	29,49
\bar{x}		11,38	8,37	26,45

Tabulka 17 - Statistická analýza výnosu zrna výnosového pokusu OP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Odrůda + Infekce	Průměr skupiny [t/ha]	Homologní skupina
Adina I	7,20	a
Skif I	9,01	b
Adina K	11,21	c
Skif K	11,54	c

Průměrná hmotnost zrna z kontrolních parcel dosáhla v roce 2020 11,38kg a průměrná hmotnost zrna z infikovaných parcel 8,37 kg (Tabulka 16). Z tohoto vyplývá, že průměrná výnosová ztráta ozimých pšenic při infekci BYDV byla 26 %. Z výsledků zpracování dat ANOVA je patrné, že infekce virem žluté virové zakrslosti ječmene má prokazatelný vliv na výnos ozimé pšenice a existují rozdíly testovaných odrůd v schopnosti odolávat infekci (Tabulka 3). Ačkoliv je symptomatické hodnocení odrůdy Skif jak v odrůdovém (Obrázky 7 a 8), tak ve výnosovém pokusu (Tabulka 16) horší než u odrůdy Adina, její schopnost odolávat infekci BYDV a méně tak snižovat výnos je statisticky průkazně vyšší než u odrůdy Adina. Na výsledku se taktéž mohla projevit zvýšená schopnost odrůdy Skif kompenzovat výnos zdravými rostlinami, jelikož infekce neproběhla na 100 % rostlin. Z tohoto lze usuzovat, že k symptomatickému hodnocení odrůd lze přistupovat pouze jako k hodnocení variabilních

projevů infekce BYDV na sledovaných genotypch, ne jako relevantnímu ukazateli schopnosti odrůd odolávat infekci BYDV vedoucímu k nižší ztrátě na výnosech. Tímto způsobem by bylo možno odhalit odrůdy s vysokým stupněm odolnosti či naopak náchylnosti.

Tabulka 18 - Statistická analýza výsledků objemové hmotnosti výnosového pokusu OP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměr skupiny [kg/hl]	Homologní skupina
Adina I	82,2	b
Skif I	83,9	c
Adina K	81,6	a
Skif K	84,0	c

U odrůdy Adina se s infekcí objemová hmotnost snižuje, u odrůdy Skif je tomu naopak. Odrůda skif má jak v infekční, tak kontrolní variantě prokazatelně vyšší objemovou hmotnost než odrůda Adina. Výsledek měření objemové hmotnosti výnosového pokusu ozimé pšenice 2020 potvrzuje, že různé odrůdy pšenice reagují na infekci BYDV odlišným způsobem.

Tabulka 19 - Statistická analýza výsledků obsahu dusíkatých látek výnosového pokusu OP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměr skupiny [%]	Homologní skupina
Adina I	13,0	b
Skif I	13,1	b
Adina K	12,1	a
Skif K	12,5	ab

Obsah dusíkatých látek u infekční varianty výnosového pokusu ozimé pšenice 2020 je mírně vyšší než u varianty kontrolní (Tabulka 19). Prokazatelně se však zvýšený obsah dusíkatých látek vlivem infekce projevuje pouze u odrůdy Adina. Pravděpodobným vysvětlením tohoto výsledku je výrazně nižší výnos zrna (Tabulka 18) u infikovaných variant než u varianty kontrolní. Dále je patrné, že ve sledovaném ukazateli se reakce odrůd na infekci BYDV liší v menší míře než ve výnosu zrna a objemové hmotnosti.

5.2.2 Jarní pšenice 2020

Tabulka 20 - Statistická analýza výsledků výnosu zrna výnosového pokusu JP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměr skupiny [t/ha]	Homologní skupina
Infikovaná neošetřená	3,90	a
Infikovaná ošetřená	4,28	a
Kontrolní ošetřená	7,74	b
Kontrolní neošetřená	7,97	b

Vliv infekce virem BYDV má významný vliv na výnos jarní pšenice (Tabulka 20). Ošetření fungicidním přípravkem významně neovlivňuje výnos infikované parcely ani neinfikované kontroly. Neprůkazný vliv fungicidu v infikované i neinfikované variantě můžeme vysvětlit nízkým tlakem chorob a krátkou vegetační dobou jarního typu pšenice. Redukce výnosu byla 43,64 % a v případě odrůdy Odeta tak byla výrazně vyšší než u testovaných odrůd ozimé pšenice. Ačkoliv symptomatické hodnocení odrůdy Odeta v roce 2020 bylo 4 oproti průměru 4,18 a index náchylnosti 4,04 (průměr 5,25), takto významná redukce výnosu by odpovídala spíše náchylné odrůdě. Tento výsledek je dalším důkazem tvrzení, že symptomatické hodnocení pšenice není zcela relevantním ukazatelem odolnosti z hlediska schopnosti zachování výnosu.

Tabulka 21 - Statistická analýza výsledků objemové hmotnosti výnosového pokusu JP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměr skupiny [kg/hl]	Homologní skupina
Infikovaná neošetřená	74,87	a
Infikovaná ošetřená	74,87	a
Kontrolní ošetřená	72,77	b
Kontrolní neošetřená	72,70	b

Výsledky testování vlivu infekce na objemovou hmotnost (tabulka 21) potvrdily vliv infekce, nikoliv však vliv ošetření fungicidy. V tomto případě však infekce virem žluté zakrslosti pšenice prokazatelně objemovou hmotnost zvyšuje. Za pravděpodobný důvod lze považovat redukci HTS u infikovaných variant. Hodnota HTS neinfikované kontroly byla 38,00 gramů, zatímco varianta s infekcí dosáhla pouze 24,57 gramů.

Tabulka 22 - Statistická analýza výsledků obsahu dusíkatých látek výnosového pokusu JP2020 a zařazení do homologních skupin podle Duncan 95 %

Varianta	Průměr skupiny [%]	Homologní skupina
Infikovaná neošetřená	14,03	ab
Infikovaná ošetřená	14,53	b
Kontrolní ošetřená	13,83	ab
Kontrolní neošetřená	13,37	a

V případě výsledků obsahu dusíkatých látek (Tabulka 22) se projevilo mírné zvýšení obsahu dusíkatých látek u infikovaných parcel. Do jisté míry má na výsledky vliv také ošetření fungicidem. Mírné zvýšení obsahu dusíkatých látek u parcel infikovaných virem žluté zakrslosti ječmene lze vysvětlit tím, že infikované parcely mají výrazně nižší výnos a jsou tak schopny dusík ukládat do generativních orgánů ve vyšší koncentraci.

6 Diskuze

6.1 Jednořádkové pokusy

Tato diplomová práce navazuje na dřívější polní testování odrůd vedené v Kanadě (Comeau 1982), České republice (Šíp et al. 1995, Chrpová & Palicová 2018) nebo Mexiku (Henry & Segura 1999). Z výsledků uvedených publikací je patrné, že hodnoty symptomatického hodnocení a indexu náchylnosti se pohybují na podobné úrovni jako výsledky publikované v této práci. V polních pokusech se obecně nepotvrzuje vyšší odolnost genotypů nesoucích geny rezistence (Bdv2, Bdv3), které dosahují proměnlivých výsledků. Nejlepších výsledků dosahují odrůdy jako mírně odolná kontrola Sparta, u které je pravděpodobně odolnost k viru žluté zakrslosti pšenice založena polygenně (Chrpová & Palicová 2018). Stejných výsledků bylo dosaženo i v této práci, kdy genotypy nesoucí gen rezistence translokovaný z *Th. intermedium* nepotvrdily svou odolnost v polních pokusech s izolátem BYDV-PAV.

Veškna (2008) uvádí náchylnější reakci odrůd jarní pšenice než odrůd pšenice ozimé. V jeho pokusech bylo průměrné symptomatické hodnocení odrůd jarní pšenice 4,9, průměrný index náchylnosti 4,17. U jarní pšenice se jednalo o průměrné symptomatické hodnocení 5,4 a průměrný index náchylnosti 3,54. V této práci bylo dosaženo průměrného symptomatického hodnocení jarní pšenice 4,8 a průměrného indexu náchylnosti 2,76. Naopak u jarní pšenice bylo symptomatické hodnocení rovno 4,47 a index náchylnosti 4,55. Výsledky jednořádkového pokusu v této práci tedy mají opačný trend než výsledky Veškny. Jedním z možných vysvětlení jsou odlišné podmínky ročníku během testování. V sezónách 2019-2020 a 2020-2021 mohlo jarní počasí přispívat k mírnějšímu rozvoji symptomů ale výraznějšímu projevu redukce výnosových prvků u jarní pšenice. Dále se také mohl projevit odlišný soubor genotypů použitý v pokusech. Výsledky obou prací však potvrzují, polní symptomatické hodnocení není samostatně vhodným nástrojem k hodnocení odolnosti odrůd k infekci BYDV. Pro získání relevantních výsledků je třeba sledovat i další ukazatele, jako je například redukce hmotnosti zrna na klas. Podobné doporučení uvádí i Chrpová et al. (1998).

Dále také Veškna (2008) porovnává reakci odrůd jarní pšenice nesoucích gen rezistence s ostatními odrůdami. Ve výsledcích zmiňuje, že některé zdroje odolnosti (WKL91-138) dosahují dobrých výsledků, odrůdy s genem odolnosti se neosvědčily jako vhodné zdroje šlechtění odrůd s odolností k BYDV. Stejných výsledků bylo dosaženo i v této práci, kdy některé rezistentní odrůdy projevovaly dobrou odolnost k polní infekci BYDV (QG 2.1, bez redukce hmotnosti zrna na klas a hmotnosti tisíce semen, Index náchylnosti 0,32), průměrné hodnoty však nedosahovaly lepších výsledků než odrůdy bez genu rezistence. Jako významně náchylná se projevila také odrůda ozimé pšenice Wolverine, nesoucí gen Bdv2, které v jednořádkovém pokusu 2021 dosáhla druhého nejhoršího symptomatického hodnocení a třetího nejvyššího indexu náchylnosti.

Některé publikace se zaměřují na využití nepřímých metod k hodnocení rezistence k viru BYDV. Například Wang et al. (2018) porovnává náchylnou odrůdu Zhong 8601 s rezistentní odrůdou YW642. K zjištění rezistence bylo využito metod kvantitativní ELISA a kvantitativní real time RT-PCR. Výsledky porovnání relativního obsahu viru v rostlině

potvrzují, že YW642 je skutečně rezistentní odrůdou a Zhong 8601 vykazuje hodnoty titru v rozsahu náchylných odrůd. Polní testy v této práci však pracují s již ověřenými (nepřímou metodou) zdroji rezistence, které rezistenci na český izolát BYDV-PAV nepotvrdily. Jak potvrzuje Veškrna et al. (2008), hodnocení odolnosti na základě metod stanovení titru viru v rostlině se nejeví jako vhodná metoda ke šlechtění rezistentních genotypů.

Silva et al. (2022) se zaměřuje na nové metody sběru polních dat k hodnocení odolnosti rostlin pšenice k BYDV. Bylo využito metody HTP (High-Throughput Phenotyping) společně s vizuálním hodnocením symptomů. Výsledky ukazují vysokou korelaci HTP s vizuálním hodnocením symptomů. Při využití senzorů pro sběr dat je možno výrazně rozšířit kapacity testování polní odolnosti k BYDV. V polních pokusech Silvy et al. však bylo využito přirozené infekce dosažené dřívějším setím a insekticidním mořením kontrolních parcel. Tato metoda je však v České republice vzhledem k nižšímu tlaku BYDV obtížně použitelná. Mohla by být využita k testování odolnosti k WDV, které se v oblastech střední a jižní moravy každoročně vyskytuje na časně setých porostech ozimé pšenice. Faktorem nejvíce redukujícím rozsah testovaného souboru tak je v našich podmínkách skleníkový chov vironosných mšic. Ve stejné práci bylo využito GWAS (Genome-Wide Association Analysis) k určení QTLs vázaných na gen Bdv2. V souboru 346 genotypů ozimé pšenice bylo obsaženo 33 linií obsahujících Bdv2. Po úspěšné charakterizaci 7DL QTL byl tento marker využit k zhodnocení efektu Bdv2 na infekci virem žluté zakrslosti ječmene. Zmiňuje se, že tento gen rezistence ovlivňuje infekci virem asi z 10 % a má tak významný efekt. V jednořádkových pokusech jarní pšenice 2021 však nebyl prokázán vliv přítomnosti genu Bdv2 na intenzitu projevu napadení BYDV. Autoři však zmiňují, že výsledky jsou vázány na podmínky prostředí pokusné lokality, v tomto případě Kansasu, USA.

6.2 Výnosové pokusy

Chrpová a kol. (2020) zkoumali vliv ošetření a infekce virem žluté zakrslosti pšenice na výnos zrna, objemovou hmotnost a obsah dusíkatých látek. Výsledky prokázaly, že na redukcii/navýšení výnosu zrna má vliv jak infekce, tak fungicidní ošetření. Ve výnosovém pokusu jarní pšenice 2020 se však potvrdil pouze vliv infekce BYDV na snížení výnosu zrna. Vliv ošetření fungicidem nebyl statisticky průkazný v infikované i kontrolní variantě. Dále byl potvrzen vliv infekce BYDV a ošetření na objemovou hmotnost sklizené pšenice. Při hodnocení objemové hmotnosti byl znovu prokázán vliv infekce, nikoliv však ošetření. Infekce BYDV statisticky průkazně zvýšila objemovou hmotnost. Ošetření fungicidem vedlo k mírnému snížení, které ale bylo neprůkazné. V této diplomové práci byl zhodnocen také vliv infekce a ošetření na obsah dusíkatých látek. V tomto jediném případě se potvrdil mírný vliv jak infekce, tak fungicidního ošetření, kdy infekce i ošetření fungicidem vedly k vyššímu obsahu dusíkatých látek. To však nenavazuje na výsledky Chrpové a kol., kde byl prokázán pouze vliv infekce. Mírné odlišnosti lze vysvětlit použitím jarní, a nikoliv ozimé pšenice a odlišnou velikostí testovacích parcel ($9,8 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m}^2$). Shodou však zůstává, že infekce virem žluté zakrslosti ječmene na pšenici má prokazatelný vliv na redukcii výnosu zrna. Dále také Chrpová a kol. konstatují, že různé odrůdy ozimé pšenice reagují na infekci BYDV různým způsobem, což výnosový pokus ozimé pšenice potvrzuje.

Nancarrow et al. (2021) ve své práci uvádí, že pšenice pěstovaná v běžných agrotechnických podmínkách v Jiho-východní Austrálii v letech 2015, 2017 a 2018 může při infekci virem žluté zakrslosti pšenice redukovat výnos zrna až o 84 %. Takových výsledků nebylo dosaženo ve výnosovém pokusu ozimé ani jarní pšenice. Redukce výnosu jarní pšenice o 53,64 % při testování jarní pšenice na inokulovaných parcelách (9,8 m²) však potvrzuje, že infekce BYDV může mít významný vliv na redukci hmotnosti sklizeného zrna. Dále zmiňuje vliv infekce na sledované výnosové parametry, jako je hmotnost tisíce semen nebo počet zrn na klas. Až na jednořádkový pokus ozimé pšenice 2020 všechny ostatní provedené pokusy potvrzují vliv infekce viru na tyto parametry i v našich podmínkách. Odkazuje se také na vysokou variabilitu výsledků mezi jednotlivými pokusy, čímž vysvětluje význam různé odolnosti jednotlivých odrůd k infekci BYDV a podmínek ročníku. Variabilitu je možno sledovat také ve výsledcích pokusů této diplomové práce. Je tím zvýrazněna důležitost provádění polních testů za různých podmínek (víceletých pokusů) pro přesný popis vztahu mezi virem, genotypem a vektorem BYDV.

7 Závěr

Byl otestován vybraný soubor genotypů ozimé a jarní pšenice na odolnost proti BYDV. Byla dodržena metodika infekce a hodnocení odolnosti k BYDV. Polní testování a inokulace rostlin vyronosnými mšicemi byla provedena úspěšně. Všechny kontrolní varianty nevykazovaly projevy infekce BYDV a všechny infekční varianty splňovaly popis symptomů napadení virem žluté zakrslosti pšenice. Byla potvrzena hypotéza, že různé genotypy ozimé a jarní pšenice projevují odlišnou reakci na infekci BYDV, a to jak ze symptomatického, tak výnosového hlediska.

Byl zhodnocen vliv na výnos a jakost ozimé a jarní pšenice. Ve výnosových pokusech ozimé a jarní pšenice bylo prokázáno, že virus žluté zakrslosti pšenice má významný vliv na snížení výnosu zrna. Dále bylo prokázáno, že infekce virem BYDV ovlivňuje sledované výnosové (hmotnost tisíce semen, hmotnost zrna na klas) a jakostní (objemová hmotnost, obsah dusíkatých látek) ukazatele.

Bylo potvrzeno, že symptomatické hodnocení nemůže samo o sobě sloužit jako ukazatel odolnosti odrůd ozimé a jarní pšenice k BYDV. Vždy je potřeba provádět další hodnocení redukce výnosových prvků nebo celkového výnosu zrna. Genotypy, které nesou geny rezistence původem z *Th. intermedium* (Bdv2, Bdv3) nepřinášejí v našich podmínkách testu výrazné zlepšení projevů odolnosti proti ostatním genotypům.

8 Literatura

- Ayala L, Khairallah M, Van Ginkel M, Keller Bm Henry M. 2001. Expression of *Thinopyrum intermedium*-Derived Barley yellow dwarf virus Resistance in Elite Bread Wheat Backgrounds. *Phytopathology* **91**(1)
- Ayala L, Van Ginkel M, Keller M, Sing R. 2002. Identification of QTLs for BYDV tolerance in bread wheat. *Euphytica* **128**: 249-259
- Balachandran S, Hurry VM, Kelley SE, Osmond CB, Robinson SA, Rohozinski J, Seaton GGR, Sims DA. 1997. Concepts of plant biotic stress. Some insights into the stress physiology of virus-infected plants, from the perspective of photosynthesis. *Physiologia plantarum* **100**: 203-213
- Berger S, Sinha AK, Roitsch T. 2007. Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. *Journal of Experimental Botany* **58**(15-16): 4019-4026
- Comeau A. 1983. Trials on the resistance of cereals to barely yellow dwarf virus (BYDV). Report no. 4. Agriculture and food statistics, Quebec, Canada
- Comeau A. 1983. Aphid Rearing and Screening Methods for Resistance to Barley Yellow Dwarf Virus in Cereals. 60-71 in Brunett PA editor. *Barley Yellow Dwarf*. CIMMYT. Mexico
- Comeau A. 1986. Les cultivars de céréales résistants aux virus. 105-116 in *Les résistances génétiques des culture céréalières*. INRA. Paris
- Comeu A. 1976. Elevage en masse, cuillette et epandage sur le terrain des pucerons (*Aphidae*) vecteurs du virus de nanisme jaune de l'orge (BYDV). *Canadian Entomology* **108**:373-378
- Comeu A. 1983. Aphid Rearing and Screening Methods for Resistance to Barley Yellow Dwarf Virus. 60-71 in Brunett PA. *Barley Yellow Dwarf*, CIMMYT, Mexico
- Crum JC, Hu J, Hiddinga JH, Roth DA. 1988. Tobacco Mosaic Virus Infection Stimulates the Phosphorylation of a Plant Protein Associated with Double-stranded RNA-dependent Protein Kinase Activity. *The Journal of Biological Chemistry* **263**: 13400-13443
- D'Arcy CJ, Domer LL, Mayo MA. 2000. Family *Luteoviridae*. 775-784 in van Regenmortel et al. *Virus Taxonomy: Seventh Report of the International Committee on the Taxonomy of Viruses*. Academic Press. San Diego
- Dunlap AA. 1930. The Total Nitrogen and Carbohydrates, and the Relative Rates of Respiration, in Virus-Infected Plants. *American Journal of Botany* **17**:348-357
- Geoffrey S. 1934. The movement of tobacco mosaic virus within the plant. *Annals of Applied Biology* **21**(1): 90-111
- Gildow FE, 1983, Biology of Aphid Vectors of Barley Yellow Dwarf Virus and the Effect of BYDV on Aphids. 28-33 in Brunett PA editor. *Barley Yellow Dwarf*. CIMMYT. Mexico
- Gray SM, Power AG, Smith DM, Seaman AJ, Altman NS. 1991. Aphid Transmission of Barley Yellow Dwarf Virus: Acquisition Access Periods and Virus Concentration Requirements. *Phytopathology* **81**: 539-545
- Hawkes JR & Jones RAC. 2005. Incidence and Distribution of Barley Yellow Dwarf Virus and Cereal Yellow Dwarf Virus in Over-Summering Grasses in Mediterranean-Type Environment. *Australian Journal of Agricultural Research* **56**: 257-270
- Henry M, Segura J. 1999. Estimation of yield losses due to BYDV in wheat under artificial inoculation. *Phytopathology* **89**: S33

- Henry M, Van Ginkel M, Khairallah M. 2001. Marker-Assisted Selection for BYDV Resistance. in Wheat Research Highlights of the CIMMYT Wheat Program 1999-2000. CIMMYT. Mexico
- Chrprová J, Vacke J, Škorpík M, Šíp V. 1998. Odolnost hlavních drobnozrnných obilovin k viru žluté zakrslosti ječmene. VÚRV. Praha
- Chrprová J, Palicová J. 2018. Odolnost odrůd pšenice proti virovým chorobám (BYDV a WDV). Agromanuál. České Budějovice. Available from agromanual.cz (accessed April 2022)
- Chrprová J, Veškrna O, Palicová J, Kumar JK. 2020. The Evaluation of Wheat Cultivar Resistance and Yield Loss Thresholds in Response to Barley Yellow Dwarf Virus-PAV Infection. Agriculture **10**: 20
- Jarošová J, Kumar JK. 2010. Validations of reference genes as internal control for studying viral infections in cereals by quantitative real-time RT-PCR. BMC Plant Biology **10**: 146
- Kaddachi I, Souiden Y, Achouri D, Chéour F. 2014. Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV): Characteristics, Hosts, Vectors, Disease Symptoms and Diagnosis. International Journal of Phytopathology **3**(3):155-160
- Kong J, Anderson JM, Ohm HW. 2009. Segregation Distortion in Common Wheat of a Segment of *Thinopyrum intermedium* Chromosome 7E Carrying Bdv3 and Development of a Bdv3 Marker. Plant breeding **128**: 591-597
- Kosová K, Chrprová J, Šíp V. 2008. Recent Advances in Breeding of Cereals for Resistance to Barley Yellow Dwarf Virus – a Review. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding **44**(1): 1-10
- Kumar JK, Slavíková L, Chalupníková J. 2016. Virová čárkovitá mozaika pšenice: Choroba s narůstajícím významem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha
- Larkin P, Kleven S, Banks P. 2002. Utilizing Bdv2, the *Thinopyrum intermedium* source of BYDV resistance, to develop wheat cultivars. in Recent Advances and Future Strategies. CIMMYT. 60-63
- Lebedeff GA. 1931. Genetics of Resistance and Susceptibility to Diseases in Plants with Special Reference to Small Grains. Cornell university
- Manns TF. 1909. The Blade of Blight of Oats: A Bacterial Disease. Ohio Agricultural Experiment Station: Wooster **210**: 91-166
- Martin C. 1958. Etude de quelques deviations de metabolisme chez les plantes atteintes de maladies a virus [Doctoral thesis]. University of Paris. Paris
- Matthews REF. 1981. Plant Virology. Academic Press. New York
- McKenzie RIH, Burnett PA, Gill CC, Comeau A, Brown PD. 1985. Inheritance of Tolerance to Barley Yellow Dwarf Virus in Oats. Euphytica **34**: 681-687
- McKirdy SJ, Jones RAC. 1996. Use of imidacloprid and newer generation synthetic pyrethroids to control the spread of barley yellow dwarf luteovirus in cereals. Plant Disease **80**: 895-901
- Medina-Ortega KJ, Bosque-Pérez NA, Ngumbi E, Jiménez-Martínez ES, Eigenbrode SD. 2009. Rhopalosiphum padi (Hemiptera: Aphididae) Responses to Volatile Cues From Barley Yellow Dwarf Virus-Infected Wheat. Environmental Entomology **38**(3): 836-845
- Merrett MJ, Bayley J. 1969. The respiration of tissues infected by virus, The Botanical Review **35**: 372-392
- Miller AW, Liu S, Beckett R. 2002. Barley yellow dwarf virus: *Luteoviridae* or *Tombusviridae*?. Molecular Plant Pathology **3**(4): 177-183

- Mishra J, Srivastava R, Trivedi PK, Verma PC. 2020. Effect of virus infection on the secondary metabolite production and phytohormone biosynthesis in plants. *3 Biotech* **10**:547
- Mundt CC. 2018. Pyramiding for Resistance Durability: Theory and Practice. *Phytopathology* **108**(7): 792-802
- Nancarrow et al. 2014. The Effect of Elevated Temperature on Barley Yellow Dwarf Virus-PAV in Wheat. *Virus Research* **186**: 97-103
- Nancarrow N, Aftab M, Hollaway G, Rodoni B, Trebicki P. 2021. Yield Losses Caused by Barley Yellow Dwarf Virus-PAV Infection in Wheat and Barley: A Three-Year Field Study in South-Eastern Australia. *Microorganisms* **9**(3): 645
- Oswald JW, Houston BE. 1953. The yellow-dwarf virus disease of cereal crops. *Phytopathology* **43**: 128-136
- Rasmusson DC & Schaller CW. 1959. The inheritance of resistance in barley to the yellow-dwarf virus. *Agronomy Journal* **51**: 661-664
- Rochow WF. 1969. Biological Properties of Four Isolates of Barley Yellow Dwarf Virus. *Phytopathology* **59**(11): 1580-1589
- S, Li Z, Jia X, Larkin PJ. 2000. Genomic in situ hybridization (GISH) analyses of *Thinopyrum intermedium*, its partial amphiploid Zhong 5, and disease-resistant derivatives in wheat. *Theoretical and Applied Genetics* **100**: 344-352
- Shaller CW & Qualset CO. 1980. Breeding for resistance to barley yellow dwarf virus. 528-541 in *Proceedings of Third International Wheat Conference*. University of Nebraska, Nebraska
- Silva P, Evers B, Kieffaber A, Wang X, Brown R, Gao L, Fritz A, Crain J, Poland J. 2022. Applied phenomics and genomics for improving barley yellow dwarf resistance in winter wheat. Kansas State University. Kansas. Available from [biorxiv.org](https://www.biorxiv.org) (accessed April 2022)
- Singh (1993)
- Šíp V, Vacke J, Škorpík M. 1995. Reakce českých a slovenských odrůd pšenice ozimé na infekci virem žluté zakrslosti ječmene. *Genetika a Šlechtění* **31**(4): 253-266
- Šíp V, Radek J, Škorpík M, Vacke J. 1997. Comparison of different index estimates of BYDV resistance in cereals. 46 in *Advanced in Biometrical Genetics*. Poznan
- Štolcová J, Červená Z, Bártová Š, Chrpová J, Kumar JK. 2012. Metodika odchovu vironosné populace mšice střemchové (*Rhopalosiphum padi* L.) jako vektoru žluté virové zakrslosti ječmene (BYDV). Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.. Praha
- Takahashi WN, Ishii N. 1952. An abnormal protein associated with tobacco mosaic virus infection. *Nature* **169**: 419-420
- Trebicki et al. 2015. Virus Disease in Wheat Predicted To Increase With a Changing Climate. *Global Change Biology* **21**(9): 3511-3519
- ÚKZÚZ. 2022. Monitorování letu mšic – Aphid bulletin. Rostlinolékařský portál. Available from eagri.cz (accessed March 2022)
- ÚKZÚZ. 2022. mšice střemchová. Rostlinolékařský portál. Available from eagri.cz (accessed March 2022)
- Vacke J. 1961. Wheat dwarf virus disease. *Biologia plantarum* **3**: 228-233
- Vacke J. 2002. K nebezpečnému výskytu viróz na obilninách v letošním roce. *Rostlinolékař* **5**: 6-7
- Veškrna O, Sedláček T, Horčíčka P, Chrpová J, Šíp V, Vejl P, Slámová L. 2008. Virus žluté zakrslosti ječmene – odolnost pšenice a metody testování. 54-58 in *Významné choroby hlavních hospodářských plodin, Šlechtitelský seminář*. VÚRV, v.v.i., ČMŠSA. Praha

- Veškrna O. 2008. Význam BYDV při pěstování pšenice a možnosti rezistentního šlechtění [Doctoral thesis]. University of Southern Bohemia in České Budějovice. České Budějovice
- Walls J, Rajotte E, Rosa C. 2019. The Past, Present, and Future of Barley Yellow Dwarf Management. *Agriculture* **9**(1): 23
- Wang X, Rong W, Liu Y, Wang X, Zhang Z. 2018. Investigation of the mechanism of adult-stage resistance to barley yellow dwarf virus associated with a wheat-*Thinopyrum intermedium* translocation.
- Weisz R, Tarleton B, Murphy JP, Kolb FL. 2005. Identifying Soft Red Winter Wheat Cultivars Tolerant to Barley yellow dwarf virus. *Plant Disease* **89**(2): 170-176
- Yarwood CE. 1953. Heat of respiration of injured and diseased leaves. *Phytopathology* **43**: 675-681
- Young MJ, Filichkin SA. 1999. Luteovirus interactions with aphid vector cellular component. *Trends in Microbiology* **7**: 346-347
- Zhang Z, Lin Z, Xin Z. 2009. Research progress in BYDV resistance genes derived from wheat and its wild relatives. *Journal of Genetics and Genomics* **36**(9): 567-573

9 Samostatné přílohy

Tabulka 1 – Seznam použitých genotypů

Genotyp	Pokus
SG-S27-03	Odrůdový pokus OP20
JULIE	Odrůdový pokus OP20
SPARTA	Odrůdový pokus OP20
LG MOCCA	Odrůdový pokus OP20
CHEVIGNON	Odrůdový pokus OP20
APOSTEL	Odrůdový pokus OP20
JOHNSON	Odrůdový pokus OP20
SG-S1207-17	Odrůdový pokus OP20
SG-U441-18	Odrůdový pokus OP20
SG-U228-18	Odrůdový pokus OP20
SG-U2237-18	Odrůdový pokus OP20
SG-U2078-18	Odrůdový pokus OP20
SG-U1065-18	Odrůdový pokus OP20
SG-U1284-18	Odrůdový pokus OP20
FD16WW003	Odrůdový pokus OP20
COLLECTOR	Odrůdový pokus OP20
STEFFI	Odrůdový pokus OP20
ANNIE	Odrůdový pokus OP20
IBARRA	Odrůdový pokus OP20
VIKI	Odrůdový pokus OP20
DANCING QUEEN	Odrůdový pokus OP20
ANDREJKA	Odrůdový pokus OP20
LORIEN	Odrůdový pokus OP20
PIRUETA	Odrůdový pokus OP20
SALLY	Odrůdový pokus OP20
ILLUSION	Odrůdový pokus OP20
SG-S604-15	Odrůdový pokus OP20
SG-S766-16	Odrůdový pokus OP20
SG-S1618-16	Odrůdový pokus OP20
SG-S1031-17	Odrůdový pokus OP20
SG-S1158-17	Odrůdový pokus OP20
SG-S1031-17	Odrůdový pokus OP20
SG-S1896-17	Odrůdový pokus OP20
SG-S2104-17	Odrůdový pokus OP20
SG-S803-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S1820-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S1146-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S1792-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S1287-17	Odrůdový pokus OP20

SG-S606-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S646-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S1698-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S9037-17	Odrůdový pokus OP20
SG-S1832-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S2240-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S2256-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S2257-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S678-18	Odrůdový pokus OP20
SG-S103-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S120-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1187-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1559-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1609-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S2207-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S2216-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S2222-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S175-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S178-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S222-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1034-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1047-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1255-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1339-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1386-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1508-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1783-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1692-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S192-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S265-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1232-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1465-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1552-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1655-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1679-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1752-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1819-19	Odrůdový pokus OP20
SG-S1825-14	Odrůdový pokus OP20
KWS ELEMENTARY	Odrůdový pokus OP20
ASKABAN	Odrůdový pokus OP20
ASORY	Odrůdový pokus OP20
LG DITA	Odrůdový pokus OP20
LG KERAMIK	Odrůdový pokus OP20

FLOKI	Odrůdový pokus OP20
KWS DONOVAN	Odrůdový pokus OP20
ATUAN	Odrůdový pokus OP20
BUTTERFLY	Odrůdový pokus OP20
CECILIUS	Odrůdový pokus OP20
GAUDIO	Odrůdový pokus OP20
HYFI	Odrůdový pokus OP20
HYKING	Odrůdový pokus OP20
JOHNSON	Odrůdový pokus OP20
KWS SILVERSTONE	Odrůdový pokus OP20
LG IMPOSANTO	Odrůdový pokus OP20
NORDKAP	Odrůdový pokus OP20
PROTEUS	Odrůdový pokus OP20
RGT CESARIO	Odrůdový pokus OP20
RGT SACRAMENTO	Odrůdový pokus OP20
SG-S 27-03	Odrůdový pokus OP21
JULIE	Odrůdový pokus OP21
SPARTA	Odrůdový pokus OP21
MEGAN	Odrůdový pokus OP21
ADINA	Odrůdový pokus OP21
ILLUSION	Odrůdový pokus OP21
PETRONELA	Odrůdový pokus OP21
MERCEDES	Odrůdový pokus OP21
VILJA	Odrůdový pokus OP21
PIRUETA	Odrůdový pokus OP21
SG-S1207-17	Odrůdový pokus OP21
SG-U111-17	Odrůdový pokus OP21
SG-U9148-17	Odrůdový pokus OP21
SG-U551-16	Odrůdový pokus OP21
SG-U441-18	Odrůdový pokus OP21
SG-U217-19	Odrůdový pokus OP21
SG-U820-15	Odrůdový pokus OP21
SG-U1206-19	Odrůdový pokus OP21
SG-U2038-19	Odrůdový pokus OP21
SG-U1829-19	Odrůdový pokus OP21
SG-U2060-19	Odrůdový pokus OP21
SG-U2052-19	Odrůdový pokus OP21
ASORY	Odrůdový pokus OP21
IBARRA	Odrůdový pokus OP21
SG-S1825-14	Odrůdový pokus OP21
SG-S1618-16	Odrůdový pokus OP21
SG-S2255-16	Odrůdový pokus OP21
SG-S766-16	Odrůdový pokus OP21

SG-S1158-17	Odrůdový pokus OP21
SG-S2104-17	Odrůdový pokus OP21
SG-S1820-18	Odrůdový pokus OP21
SG-S1792-18	Odrůdový pokus OP21
SG-S1698-18	Odrůdový pokus OP21
SG-S9037-17	Odrůdový pokus OP21
SG-S2256-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S120-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S178-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S1255-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S1339-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S1508-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S705-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S737-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S2147-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S2176-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S175-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S1559-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S1025-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1744-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S2149-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S2150-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S2154-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S2213-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S747-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1049-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1572-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1610-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1614-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1742-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1896-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1905-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1990-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S2088-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S192-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S1552-19	Odrůdový pokus OP21
SG-S722-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1584-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1628-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1677-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1686-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1750-20	Odrůdový pokus OP21
SG-S1799-20	Odrůdový pokus OP21

SG-S1838-20	Odrůdový pokus OP21
WOLVERINE	Odrůdový pokus OP21
LG MOCCA	Odrůdový pokus OP21
CHEVIGNON	Odrůdový pokus OP21
COLLECTOR	Odrůdový pokus OP21
LG DITA	Odrůdový pokus OP21
LG KERAMIK	Odrůdový pokus OP21
SU TARROCA	Odrůdový pokus OP21
CROSSWAY	Odrůdový pokus OP21
CAMPESINO	Odrůdový pokus OP21
ASPEKT	Odrůdový pokus OP21
LG ABSALON	Odrůdový pokus OP21
ANZA	Odrůdový pokus JP20
MARINGÁ 1	Odrůdový pokus JP20
WKL-91-138	Odrůdový pokus JP20
JARA	Odrůdový pokus JP20
LEGUAN	Odrůdový pokus JP20
KWS AKVILON	Odrůdový pokus JP20
LENNOX	Odrůdový pokus JP20
KWS SHARKI	Odrůdový pokus JP20
LIBERTINA	Odrůdový pokus JP20
TOCCATA	Odrůdový pokus JP20
PEXESO	Odrůdový pokus JP20
GOLDSRING	Odrůdový pokus JP20
SIBELIUS	Odrůdový pokus JP20
KITRI	Odrůdový pokus JP20
QUINTUS	Odrůdový pokus JP20
ASTRID	Odrůdový pokus JP20
ANABEL	Odrůdový pokus JP20
ALICIA	Odrůdový pokus JP20
LOTTE	Odrůdový pokus JP20
ODETA	Odrůdový pokus JP20
KITRI	Odrůdový pokus JP20
PEXESO	Odrůdový pokus JP20
TOCCATA	Odrůdový pokus JP20
LIBERTINA	Odrůdový pokus JP20
SG-S1157-15	Odrůdový pokus JP20
SG-S763-16	Odrůdový pokus JP20
SG-S1483-16	Odrůdový pokus JP20
SG-S8763-17	Odrůdový pokus JP20
SG-S1544-15	Odrůdový pokus JP20
SG-S1153-16	Odrůdový pokus JP20
SG-S1336-17	Odrůdový pokus JP20

SG-S769-17	Odrůdový pokus JP20
SG-S1044-17	Odrůdový pokus JP20
SG-S867-18	Odrůdový pokus JP20
SG-S1352-18	Odrůdový pokus JP20
SG-S817-18	Odrůdový pokus JP20
SG-S1259-18	Odrůdový pokus JP20
SG-S810-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S813-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S865-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S885-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S890-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S895-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1045-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1048-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1058-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1063-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1096-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1099-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1116-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1190-19	Odrůdový pokus JP20
SG-S1282-19	Odrůdový pokus JP20
ANZA	Odrůdový pokus JP21
MARINGÁ 1	Odrůdový pokus JP21
WKL-91-138	Odrůdový pokus JP21
JARA	Odrůdový pokus JP21
LEGUAN	Odrůdový pokus JP21
QUINTUS	Odrůdový pokus JP21
ASTRID	Odrůdový pokus JP21
ANABEL	Odrůdový pokus JP21
ALICIA	Odrůdový pokus JP21
LOTTE	Odrůdový pokus JP21
ODETA	Odrůdový pokus JP21
KITRI	Odrůdový pokus JP21
PEXESO	Odrůdový pokus JP21
TOCCATA	Odrůdový pokus JP21
LIBERTINA	Odrůdový pokus JP21
EPONIA	Odrůdový pokus JP21
LEIJONA	Odrůdový pokus JP21
HYSTRIX	Odrůdový pokus JP21
PRETTY	Odrůdový pokus JP21
SG-S763-16	Odrůdový pokus JP21
SG-S1483-16	Odrůdový pokus JP21
SG-S8763-17	Odrůdový pokus JP21

SG-S1336-17	Odrůdový pokus JP21
SG-S1044-17	Odrůdový pokus JP21
SG-S867-18	Odrůdový pokus JP21
SG-S804-19	Odrůdový pokus JP21
TON1455-17	Odrůdový pokus JP21
SG-S885-19	Odrůdový pokus JP21
SG-S1058-19	Odrůdový pokus JP21
SG-S1063-19	Odrůdový pokus JP21
SG-S1048-19	Odrůdový pokus JP21
SG-S1190-19	Odrůdový pokus JP21
SG-S916-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S927-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S965-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S973-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S974-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1044-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1074-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1093-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1142-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1148-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1195-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1260-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1379-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1408-20	Odrůdový pokus JP21
SG-S1434-20	Odrůdový pokus JP21
KAPITOL	Odrůdový pokus JP21
UNIS	Odrůdový pokus JP21
GOLDSRING	Odrůdový pokus JP21
SIBELIUS	Odrůdový pokus JP21
CINDY	Odrůdový pokus JP21
CORALIA	Odrůdový pokus JP21
SEC 535-10-6	Odrůdový pokus JP21
WPB 09SW064-20	Odrůdový pokus JP21
Anza	Odrůdový pokus JP21
Maringá 1	Odrůdový pokus JP21
WKL-91-138	Odrůdový pokus JP21
Jara	Odrůdový pokus JP21
Leguan	Odrůdový pokus JP21
Anza	Odrůdový pokus JP21
CIM 0220	Odrůdový pokus JP21
CIM 0221	Odrůdový pokus JP21
CIM 0222	Odrůdový pokus JP21
CIM 0223	Odrůdový pokus JP21

CIM 0224	Odrůdový pokus JP21
CIM 0225	Odrůdový pokus JP21
CIM 0226	Odrůdový pokus JP21
CIM 0227	Odrůdový pokus JP21
CIM 0228	Odrůdový pokus JP21
CIM 0229	Odrůdový pokus JP21
CIM 0230	Odrůdový pokus JP21
CIM 0231	Odrůdový pokus JP21
CIM 0232	Odrůdový pokus JP21
CIM 0233	Odrůdový pokus JP21
CIM 0234	Odrůdový pokus JP21
CIM 0235	Odrůdový pokus JP21
CIM 0236	Odrůdový pokus JP21
CIM 0237	Odrůdový pokus JP21
QG 2.1	Odrůdový pokus JP21
QG 4.37	Odrůdový pokus JP21
SG-S1267-92	Odrůdový pokus JP21
SG-1267-92/3*TC14290 E	Odrůdový pokus JP21
SG-S26-98	Odrůdový pokus JP21
SG-S26-98*SG-S113-98	Odrůdový pokus JP21
SG-S45-98	Odrůdový pokus JP21
SG-S604-96	Odrůdový pokus JP21
TC14290E hladká	Odrůdový pokus JP21
TC14290E osinkatá	Odrůdový pokus JP21
TC14290E	Odrůdový pokus JP21
TC14290J hladká	Odrůdový pokus JP21
TC14290J osinkatá	Odrůdový pokus JP21
TC14290J vouska	Odrůdový pokus JP21
TC5	Odrůdový pokus JP21
TC7	Odrůdový pokus JP21
Z2	Odrůdový pokus JP21
Z6	Odrůdový pokus JP21
Adina	Výnosový pokus OP20
Skif	Výnosový pokus OP20
Odetá	Výnosový pokus JP20

