

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Vliv listové infekce rzi plevovou na výměnu plynů pšenice seté

Bakalářská práce

Autor práce: Jan Pecka

Obor studia: ABR

Vedoucí práce: doc. Ing. František Hnilička, Ph. D.

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci: "Vliv listové infekce rzi plevovou na výměnu plynů pšenice seté" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4. 2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval zejména doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph. D. za ochotu, nadšení, zápal a vtip, který prokázal při konzultacích a mailových korespondencích. Děkuji také všem mým spolužákům za vytvoření skvělé atmosféry při každé vyučovací hodině a za jejich vstřícného a týmového ducha. Poděkování také patří všem vyučujícím, které jsem měl za ty tři roky čest poznat, a kteří mě obohatili o své znalosti. Největší dík ovšem patří mé rodině, která mě neustále podporuje a uvnitř které se cítím být milován, a která mi dává sílu do všeho, co dělám. Na závěr bych chtěl ještě poděkovat Kačence, která mi pomohla vždy, když to bylo nejvíc potřeba.

Vliv listové infekce rzi plevovou na výměnu plynů pšenice seté

Souhrn

Pšenice setá (*Triticum aestivum*) je nejpěstovanější obilninou v České republice a výběr vhodného šlechtitelského materiálu a odolných odrůd je základním pilířem pro integrovanou ochranu rostlin a stabilní výnosy. Rez plevová (*Puccinia striiformis*) a rez travní (*Puccinia graminis*) mohou negativně působit na výnos jednotlivých odrůd pšenice seté. Cílem je tedy nalézt takové genotypy rostlin, které by mohly být použity pro další šlechtění vůči negativním vlivům zmiňovaných patogenů, a pomoci pěstitelům s výběrem odolných odrůd proti těmto onemocněním.

Pokus byl založen ve VÚRV, v. v. i. Praha – Ruzyně a ve šlechtitelské stanici Selgen, a. s., Stupice metodou latinského čtverce ve dvou opakováních s následujícími odrůdami: Annie, Artist, Bernstein, Frisky, Gordian, Julie, Pankratz, Rumor, Sailor a Tobak. Založení pokusů a agrotechnické zásahy během vegetace pšenice vycházely z metodiky polních pokusů a agrotechnických lhůt. Ochrana proti chorobám nebyla provedena. Rostliny pšenice byly infikovány rzí plevovou umělým rozprašením urediospor ve směsi s inertní látkou nebo injekčně do stébel jednotlivých odrůd ve vývojové fázi 59. DC. Pro inokulum byla použita směs urediospor množených na klíčících rostlinách ve skleníkových podmínkách. Infekce rzí travní proběhla na 7 z 10 sledovaných odrůd samovolně ve fázi 59. - 69. DC. U pokusných rostlin byla sledována rychlost fotosyntézy a rychlost transpirace. Odběry byly provedeny 3, 6 a 9 dní od inokulace. Pro stanovení rychlosti fotosyntézy a transpirace byl použit přenosný infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd.).

Ze získaných výsledků vyplývá, že infekce rzí plevovou snižuje rychlost fotosyntézy a transpirace u všech sledovaných odrůd. Nejnižší pokles v rychlosti fotosyntézy po 9 dnech stresového působení rzí plevovou byl zaznamenán u odrůdy Rumor ($1,0 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), naopak největší pokles u odrůdy Annie ($2,61 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Nejnižší pokles v rychlosti transpirace po 9 dnech stresového působení rzí plevovou byl zaznamenán u odrůdy Tobak ($0,1 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), naopak největší pokles u odrůdy Julie ($0,36 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Z výsledků je dále patrné, že infekce rzí travní snižuje u všech sledovaných odrůd rychlost fotosyntézy, avšak rychlost transpirace byla u některých odrůd zvýšena. Infekce rzí travní také působí s vyšší agresivitou a v kratším časovém úseku než infekce rzí plevovou. Nejnižší pokles v rychlosti fotosyntézy po 9 dnech stresového působení rzí travní byl

zaznamenán u odrůdy Sailor ($3,18 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), naopak největší pokles u odrůdy Bernstein ($3,98 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). V případě napadení rží travní je možné zaznamenat odlišné reakce na tento patogen v rámci rychlosti transpirace, kdy například u odrůdy Annie byl zaznamenán nárůst transpirace ($0,7 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), naopak u odrůdy Rumor byl efekt opačný a pokles v rámci sledovaných odrůd nejvyšší ($0,56 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Navrhované hypotézy, že existují genotypové rozdíly sledovaných odrůd pšenice seté ve fyziologické odezvě na působení zkoumaných patogenů a rozdíly mezi vlivem zkoumaných patogenů mezi sebou, byly potvrzeny. Ze získaných výsledků vyplývá, že jako šlechtitelský materiál pro šlechtění na odolnost vůči rži plevové lze vybrat odrůdy Rumor, Artist, či Gordian, naopak pro šlechtění na odolnost vůči rži travní odrůdy Sailor či Julie. Odrůda Tobak zaznamenala obdobné výsledky jak v odezvě na působení rží plevovou, tak na působení rží travní.

Klíčová slova: pšenice setá; rez plevová; rez travní; fotosyntéza; transpirace

The influence of wheat stripe rust infection on gas exchange characteristics of wheat

Summary

Wheat is the most often grown crop in The Czech Republic and selection of suitable breeding material and resistant varieties is an essential part of integrated pest management and stable yields. Wheat stripe rust (*Puccinia striiformis*) and stem rust (*Puccinia graminis*) can adversely affect the yield of different varieties of wheat. The aim is to find plant genotypes that could be used for further breeding against adverse effects of the mentioned pathogens and help growers with the selection of resistant varieties against diseases.

The experiment was carried out in VÚRV, v. V. I. Praha - Ruzyně and breeding station Selgen, a. S., Stupice by the latin square method in two repetitions with the following varieties: Annie, Artist, Bernstein, Frisky, Gordian, Julie, Pankratz, Rumor, Sailor and Tobak. The founding experiments and agro-technical interventions during the vegetation of wheat were based on the methodology of field trials and agro-technical periods. Protection against diseases were not performed. The wheat plants were infected with wheat stripe rust by artificial spraying of urediniospores in admixture with an inert substance or injected into straws of each variety in the development stage 59. DC. A blend of urediniospores propagated on germinating plants in greenhouse conditions was used for the inoculum. Stem rust infection occurred spontaneously at 7 out of 10 studied varieties in phase 59. - 69. DC. In the test plants photosynthesis rate and transpiration rate were observed. Samples were made 3, 6 and 9 days after inoculation. Portable infrared gas analyzer LCpro + (ADC Bio Scientific Ltd.) was used to determine the rate of photosynthesis and transpiration. The results indicate that the infection caused by wheat stripe rust reduces transpiration and photosynthesis rate in all studied varieties. The lowest decrease in photosynthetic rate was observed in Rumor ($1,0 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 9 days after stress exposure of wheat stripe rust, while the largest decrease was observed in Annie ($2,61 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). The lowest decrease in transpiration rate was observed in Tobak ($0,1 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 9 days after stress exposure of wheat stripe rust, while the largest decrease was observed in Julie ($0,36 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

The results also show that stem rust infection decreased in all investigated varieties photosynthesis rate, but the rate of transpiration in some varieties was increased. The infection of stem rust also affects of greater aggressiveness and in a shorter time than wheat

stripe rust infection. The lowest decrease in photosynthetic rate was observed in Sailor ($3,18 \mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), 9 days after stress exposure of stem rust, while the largest decrease was observed in Bernstein ($3,98 \mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). In the case of stem rust, it is possible to observe different responses to this pathogen at the rate of transpiration. For example, an increase in transpiration ($0.7 \text{ mmol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) was observed in Annie variety, whereas in Rumor variety the effect was opposite, the largest decrease from all of varieties And a decrease in the highest varieties ($0.56 \text{ mmol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

The proposes hypotheses claiming that there were differences observed in genotype varieties of wheat in the physiological response to pathogen exposure and examined the influence of differences between the investigated pathogens among themselves, were confirmed. The results show that as breeding material for breeding, for resistance against wheat stripe rust, can choose varieties Rumor, Artist, or Gordian, while breeding for resistance against stem rust varieties Sailor and Julie. Variety Tobak observed congenerous results in both responses to the influence of wheat stripe rust and stem rust.

Keywords: wheat; wheat stripe rust; stem rust; photosynthesis; transpiration

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce a hypotézy	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Botanická charakteristika pšenice seté (<i>Triticum aestivum</i> L.)	4
3.2	Historie a současnost pěstování pšenice seté	5
3.3	Obecná charakteristika stresů.....	7
3.3.1	Rozdělení stresových faktorů a interakce mezi nimi	7
3.3.2	Fáze stresu	9
3.4	Charakteristika rzi plevové	10
3.5	Vliv rzi plevové na rostliny	13
3.6	Charakteristika rzi travní	16
3.7	Vliv rzi travní na rostliny	19
4	Metodika pokusů	20
4.1	Pokusné rostliny.....	20
4.2	Založení pokusů.....	21
4.3	Průběh počasí.....	22
4.4	Měření fyziologických charakteristik.....	23
5	Výsledky	25
5.1	Průběh rychlosti fotosyntézy a transpirace u sledovaných odrůd.....	25
5.2	Porovnání sledovaných odrůd.....	36
6	Diskuze	40
6.1	Vliv rzi plevové na výměnu plynů.....	40
6.2	Vliv rzi travní na výměnu plynů.....	41
7	Závěr	43
8	Seznam použité literatury.....	44

1 Úvod

Výskyt listových a klasových chorob se řadí mezi významné biotické stresory ovlivňující produkci a kvalitu hospodářsky důležitých zemědělských komodit. S ohledem na stále rostoucí světovou populaci bude nutné zajistit výnosovou stabilitu plodin, které jsou těmito stresory napadány. Na rozdíl od abiotických stresorů, které člověk nedokáže ve větší míře ovlivnit a eliminovat, listové a klasové choroby lze úspěšně potlačovat ať už správnými agrotechnickými opatřeními, herbicidní ochranou, či šlechtěním odolného genetického materiálu.

Patogeny ovšem na získanou rezistenci kulturních plodin reagují „vylepšením“ svého genotypu, a tudíž překonání odolnosti u dané plodiny je vždy pouze otázkou času. Z tohoto pohledu lze tedy konstatovat, že boj proti chorobám a škůdcům je nekončící proces, ve kterém se každá získaná znalost a vědomost dají využít ku prospěchu zdravých a silných porostů.

V této bakalářské práci byla věnována pozornost především rzi plevové a v menší míře i rzi travní. Rez travní (*Puccinia graminis*) ohrožuje zejména jihovýchodní oblasti republiky, v teplejších ročnících se ale může významně rozšířit a způsobit značné ztráty, zejména vzhledem k pozdním, či náhlým výskytům, které je složité zastavit použitím fungicidní ochrany. Volí se proto především pěstování odolných odrůd vůči této infekci, ovšem v minulých letech již byla zaznamenána ztráta odolnosti.

Rez plevová (*Puccinia striiformis*), neboli žlutá rzivost pšenice, byla u nás považována za méně významnou. Silně rozšířena byla před 25 lety v důsledku pěstování jugoslávských odrůd, v současné době se na území České republiky vyskytuje spíše náhodně a v malé míře, avšak její silný výskyt v letech 2014 a 2015 prokázal její vysokou škodlivost také na našem území. Lze tedy předpokládat její stálé šíření a větší způsobené škody na porostech obilnin.

Hlavní škodlivost rzi plevové spočívá v napadení listů a především listu praporečového, který je v době metání potřeba udržet zdravý, aby byl schopen zásobit rostlinu a zejména tvořící se klas energií získanou při fotosyntetické reakci.

Z toho důvodu bude nutné zajistit vhodný šlechtitelský materiál k vyšlechtění odolných odrůd proti rzi plevové, ale i rzi travní. Jednou z možných cest sledování odolnosti rostlin vůči těmto patogenům je studium primárního metabolismu rostlin, na základě měření rychlosti výměny plynů.

Význam z hlediska praktického využití získaných poznatků by tedy mohl být prospěšný šlechtitelským stanicím, na kterých leží zodpovědnost uvádět na trh stále nové a lepší odrůdy, jež jsou schopny konkurovat výzvám v podobě vyšších, stabilnějších výnosů a zdravějších porostů. Samozřejmě ale také samotným zemědělcům, kteří certifikované odrůdy pěstují.

2 Cíle práce a hypotézy

Rez plevová a rez travní mohou negativně působit na výnos jednotlivých odrůd pšenice seté. Z toho důvodu bylo v této bakalářské práci sledováno 10 odrůd pšenice seté a jejich fyziologické odezvy na působení rzi plevové a rzi travní.

Cíle bakalářské práce lze shrnout do následujících bodů:

- Stanovit genotypové rozdíly v rychlosti výměny plynů testovaného souboru linií pšenice seté v závislosti na působení rzi plevové.
- Stanovit u vybraných genotypů pšenice rychlost výměny plynů v závislosti na působení rzi travní.
- Porovnat rozdíly v rychlosti výměny plynů testovaných souborů linií pšenice v závislosti na působení rzi plevové a rzi travní
- Stanovit genotypové rozdíly a vybrat odrůdy vhodné pro další šlechtění v rámci dosažení odolnosti vůči rzi plevové.

Na základě výše zmíněných cílů je možné stanovit tyto navrhované hypotézy:

- Existují rozdíly ve fyziologické odezvě na působení patogenů rzi plevové u sledovaných linií pšenice?
- Existují rozdíly ve fyziologické odezvě na působení patogenů rzi travní u sledovaných linií pšenice?
- Existují rozdíly ve fyziologické odezvě na působení patogenů rzi plevové v porovnání působení patogenů rzi travní?
- Umožní měření rychlosti výměny plynů výběr vhodného šlechtitelského materiálu?

Právě pšenice setá je nejpěstovanější obilninou v České republice a výběr vhodného šlechtitelského materiálu a odolných odrůd je základním pilířem pro integrovanou ochranu rostlin a stabilní výnosy. Proto je v rámci této bakalářské práce vybrána pšenice setá jako modelová rostlina.

3 Literární rešerše

3.1 Botanická charakteristika pšenice seté (*Triticum aestivum* L.)

Obilniny patří do třídy rostlin jednoděložných, do čeledi *Poaceae*. Jedno z jejich dalších rozdělení je na obilniny I. skupiny a obilniny II. skupiny. Do I. skupiny se řadí obilniny mírného pásu, obilniny dlouhodenní, z nichž nejvýznamnější jsou pšenice setá (*Triticum aestivum*) a ječmen setý (*Hordeum vulgare*). Zatímco rýže setá (*Oryza sativa*) společně s kukuřicí setou (*Zea mays*) tvoří nejdůležitější zástupce z II. skupiny obilnin (Šašková, 1993).

Cesta vývoje rodu *Triticum* do podoby, jak je známý dnes, vedla přes postupné křížení a polyploidizace, které původně diploidní rostlinu přetvořily na rostlinu hexaploidní. Šest sad chromozómů namísto původních dvou značně napomohl k tomu, aby se pšenice stala nepostradatelnou složkou ve výživě lidstva (Dostál, 1989).



Obr. 1: Pšenice setá (wikiwand.com).

Z plané formy *T. baeticum* se vyvinula pšenice jednozrnka (*T. monococcum*), která obsahovala dvě sady chromozómů $2n=14$ a dva kvítkové klásky, z nichž pouze jeden byl

plodný. Následovalo zmnožení chromozómů $2n=28$ u pšenice dvouzrnky (*T. dicoccon*), která vznikla pravděpodobně zkřížením s planým druhem trávy *Aegilops speltoides*. K tetraploidním druhům pšenice patří také *T. durum*, dnes pěstována v jižní Evropě jako surovina pro výrobu mouky na makaróny, dále pak *T. turgidum* a *T. polonicum*. Následná polyploidizace při opětovném křížení s rodem *Aegilops* vyústila ve vznik hexaploidních druhů pšeníc *T. spelta*, *T. compactum* a *T. aestivum*, která je uvedena na obr. 1 (Dostál, 1989).

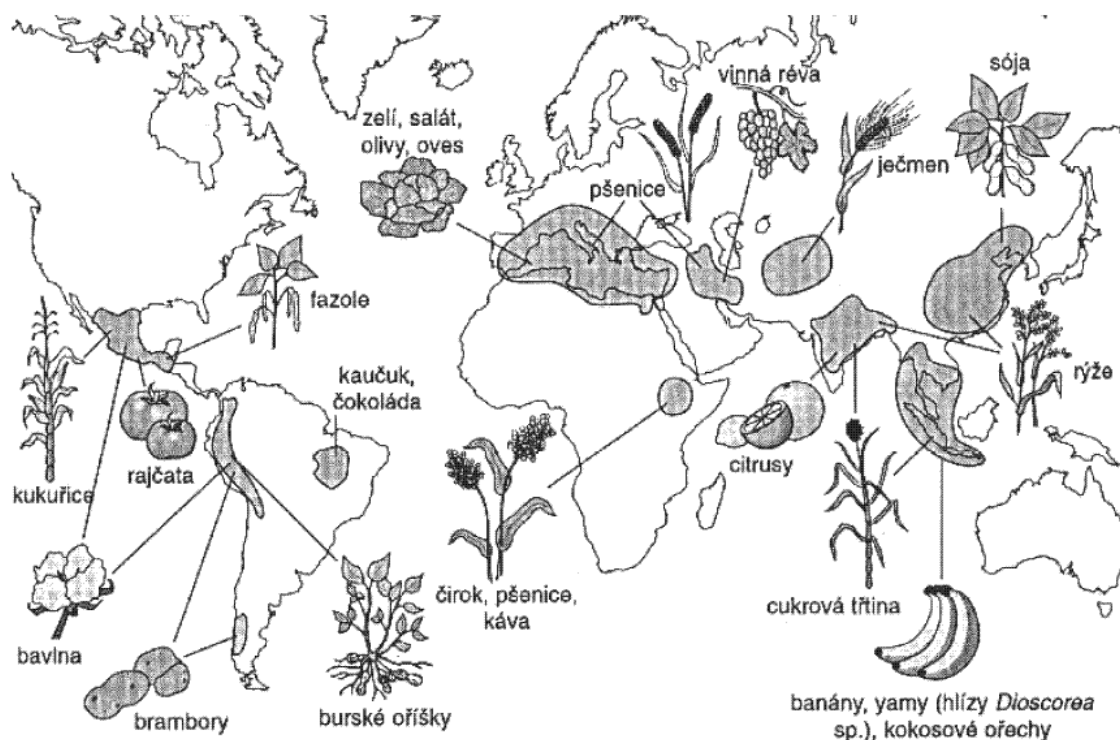
Uvedený autor dále konstatuje, že *T. aestivum* obsahuje šest sad chromozómů a je výsledkem biologického vývoje rodu *Triticum*. Stébla jsou 40-150 cm dlouhá, dutá, tenkostěnná a lysá, včetně kolének. Listy jsou ploché, 6-16 mm široké. Délka lichoklasu se pohybuje v rozmezí 4-18 cm. Vřeteno je nelámavé, pevné. Klásky obsahují 3-5 kvítků, z toho jsou jen 2-4 plodné. Plevy jsou uťaté, vejčité nebo podlouhlé. Plucha plodných kvítků je vejčitá. Může být osinatá i bezosinatá. Obilky jsou nahé.

Pšenice se vyskytuje v ozimé, jarní nebo tzv. přesívkové formě. Její růstový typ je určen geneticky řízeným procesem jarovizace, tedy několikátýdenním obdobím teplot těsně nad bodem mrazu. Rostliny s jarovizačním nárokem mohou přejít z vegetativní do generativní fáze až po naplnění tohoto jarovizačního požadavku (Pánková et al., 2011).

3.2 Historie a současnost pěstování pšenice seté

Právě rod *Triticum* L., z čeledi lipnicovitých (*Poaceae* L.), zahrnující množství šlechtěných i planě rostoucích druhů, patří mezi jedny z nejstarších kulturních rostlin pocházejících z jihozápadní Asie. Dnes se ve světě nejvíce pěstuje pšenice setá, ovšem dříve se hojněji pěstovaly i jiné druhy pšenice, jako např. špalda (*Triticum. spelta*), jednozrnka (*T. monococcum*), dvouzrnka (*T. dicoccon*), shloučená (*T. compactum*), naduřelá (*T. turgidum*) anebo tvrdá (*T. durum*) (Pánková et al., 2011).

Vavilov členění center původu kulturních rostlin na osm oblastí, jak dokládá obr. 2. Za původ planých forem pšeníc a jejich následné zdomestikování považovat oblast Středozeří a oblast Přední Asie (Harlan, 1971). Vyvinula se zde s největší pravděpodobností zkřížením planých forem pšeníc s druhy rodu *Aegilops* (Dostál, 1989).



Obr. 2: Centra původu kulturních rostlin dle Vavilova (Doležal, 2006).

Ovšem je potřeba vzít v potaz také výsledky J. R. Harlana, které ukazují na existenci tzv. ne-center, které společně s centry původu kulturních rostlin tvoří ucelené systémy. Ne-centra původu se nacházejí v tropickém pásu, konkrétně v Africe, jihozápadní Asii a Jižní Americe. Díky větší přirozené biodiverzitě se zde mohly vyvinout druhy, které se s pozdější migrací a výměnou genetických informací, dostaly do center původu, odkud vzešly lidskou činností druhy domestikované. Za původní místo vzniku pšenice je možno tedy označit systém skládající se s ne-centra v Africe a centra v Přední Asii a Středozeří (Harlan, 1971).

Jak uvádí Primack et al. (2001) užitkové druhy rostlin vykazují v určitých oblastech světa vysokou genetickou variabilitu, a to nejčastěji tam, kde byl druh poprvé domestikován nebo je stále pěstován v tradičních zemědělských podmínkách. Variabilita rodu *Triticum* právě v oblastech Středozeří a Blízkého východu tak dokazuje na skutečnost, že se opravdu jedná o místa, ze kterých pšenice vzešla.

Do současnosti prošla tato rostlina řadou změn, patrných z pozorování výchozích forem stojících u zrodu současné hexaploidní pšenice. Mezi podstatné změny lze zařadit přechod od rozpadavých klasů k nerozpadavým, zvětšení velikosti zrna, které bylo spojeno se zlepšením klíčení a vzházení během vegetace. Dále také docházelo k přechodu od pluchaté pšenice k pšenici s bezpluchým zrnem a ke změnám tvaru zrna. Domestikační proces vedl k přechodu z relativně malého a úzkého zrna k většímu a zaoblenějšímu tvaru. Došlo k významnému

snížení doby dormance a pšenice také prodělala změny fyziologického rázu a změny habitu rostliny, jako například zvýšení produkce obilek, zvýšení počtu klasů, rozvoj bezosinných forem, či redukce síly a tloušťky pletiva (Martinek et Jirsa, 2016).

I díky neustálému tlaku na zvyšování produkce u hlavních zemědělských plodin, zažívá pšenice v posledních letech značný rozvoj, co se týče šlechtění stále nových odrůd se stále větší frekvencí. Dochází ke zvýšení zájmu o odolnost a vyšlechtění rezistentních odrůd především vůči houbovým chorobám a abiotickým stresům, což vede k rozšíření portfolia semenářských firem (Hosnedl, 2008). Šlechtitelé se také zaměřují na zvýšení tvorby biomasy, a účinnost fotosyntézy je rozhodujícím parametrem pro dosažení požadovaných cílů (Czyczyło-Mysza et al., 2012).

Podle Českého statistického úřadu se v České republice v roce 2016 zaseto 769 393 ha pšenice ozimé, tudíž se jedná o nejpěstovanější plodinu v Česku (Hrbek, 2016). Na konzumaci pšenice bezprostředně závisí 35 % lidské populace, a jedná se o nejrozšířenější obilninu v klimatických oblastech mírného pásu (Martinek et Jirsa, 2016).

3.3 Obecná charakteristika stresů

3.3.1 Rozdělení stresových faktorů a interakce mezi nimi

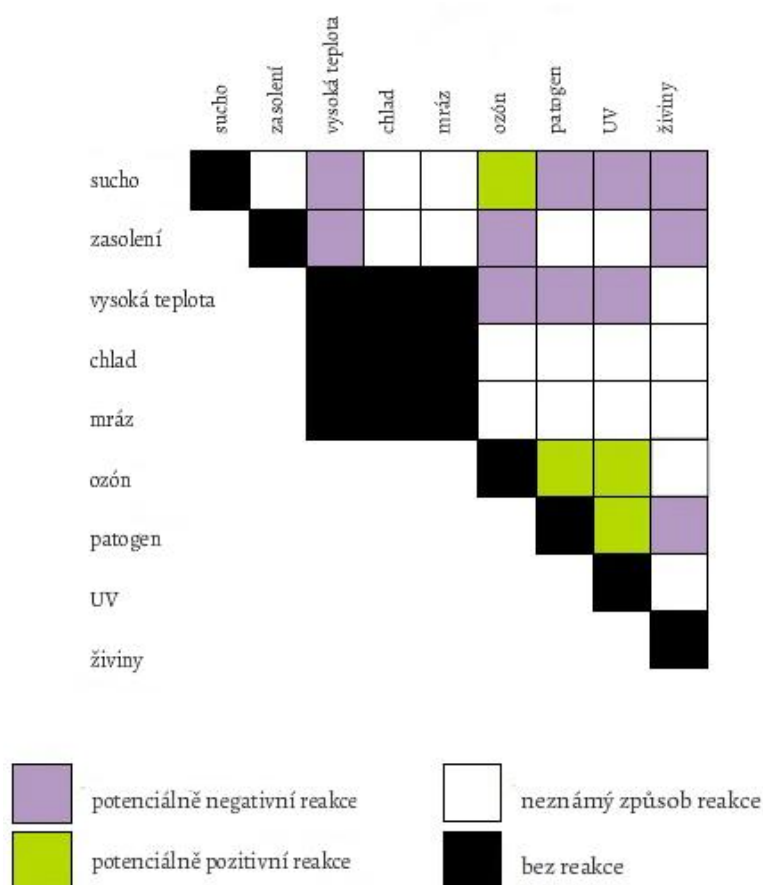
Pojmem stres rozumíme nějaký vnější faktor, který vykonává vliv pro rostliny nevýhodný, negativně působí na fyziologické, biochemické a molekulární procesy v rostlině a může vést až ke smrti organismu (Ashraf et Harris, 2013).

Stresové faktory lze rozdělit do dvou skupin – abiotické a biotické. Mezi abiotické patří teplota (horko, či mráz a chlad), voda (její nadbytek nebo naopak nedostatek), záření, chemická zátěž (toxické kovy, nadbytek či deficit solí, pesticidy) a mechanická zátěž (vítr, částice, tlak). K biotickým faktorům se řadí tlak chorob, škůdců a negativní působení okolních organismů čili konkurence. Tyto faktory ovlivňují životní funkce rostlin, ale nepřímo jsou také zodpovědné za nepříznivou kvalitu, či výnos pěstované plodiny (Hnilička et al., 2016).

Na stresové faktory je možné se dívat také z pohledu jejich působení v čase. Zatímco mezi rychle působícími stresy, které se mohou projevit rámci minut či hodin, lze zařadit například stres tepelný, či nepříznivé působení povětrnostních podmínek, mezi dlouhodobé, působící v rámci dnů až měsíců, patří nedostatek vody v půdě nebo nedostatek minerálních živin (Jenks et Hasegawa, 2005).

Důležité je si také uvědomit, že jednotlivé stresové faktory nepůsobí odděleně, ale vždy v kombinaci, a vytváří tak interakci mezi sebou, což vede ke komplikovanosti určení reakcí rostlin. Odděleně působící stresory kupříkladu nemusí vést přímo ke smrti organismu, avšak v kombinaci s ostatními se z nich stává pro život rostliny nepřekonatelná překážka. Taktéž různé kombinace stresorů mohou ohrozit pouze některé rostlinné orgány, zatímco v jiné kombinaci a za jiných podmínek je vystavena stresu celá rostlina (Hnilička et al., 2016).

Podle Mittlerera (2006) ovšem existují i kombinace stresových faktorů, viz obr. 3, které mohou vyvolat potencionálně pozitivní reakci. Tyto interakce jsou bohužel oproti negativně působícím v menšinovém zastoupení, a proto je jednou z výzev moderního šlechtění rostlin a genového inženýrství vyvinout takové rostliny, které by ve své genetické výbavě nesly geny tolerance právě ke kombinaci různých stresových faktorů.



Obr. 3: Stresové matice (upraveno dle Mittlerera, 2006).

Stresové reakce lze podle Selye (1973) rozdělit na specifické a nespecifické. Toto rozdělení se odvíjí od modifikace základních metabolických drah. Není však vždy jasné pozorovatelné, o jakou reakci se jedná, neboť i specifická reakce může postrádat svojí

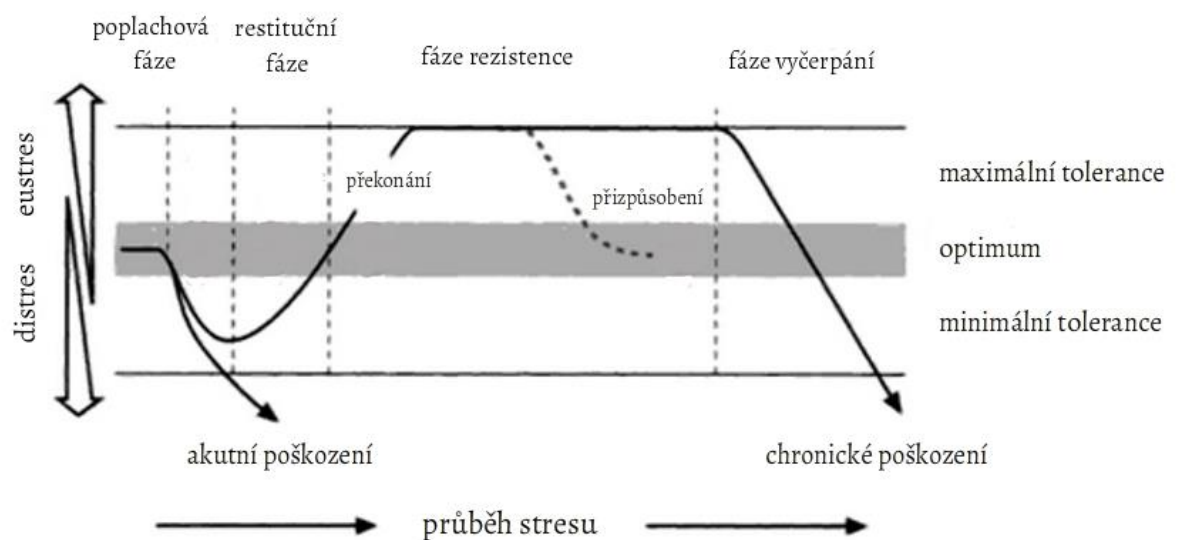
specifitu. Příkladem mohou být heat shock proteiny (HSP), které se v těle rostliny vytvářejí jako obrana vůči vysoké teplotě, avšak jejich výskyt byl také prokázán v případě stresu způsobeným těžkými kovy (Schulze et al., 2005).

Mezi nespecifické reakce patří např. tvorba a zesílení mechanických bariér, produkce sekundárních metabolitů nebo antimikrobiálních proteinů, které brání průniku patogenu do organismu, popřípadě zabraňují jeho dalšímu šíření (Hammond-Kosack et al., 1996).

Obecně lze říci, že při akutním stresu dochází častěji ke specifickým reakcím, spojeným s tvorbou určitých specifických látek, zatímco při vleklém stresu je reakce rostlin méně specifická (Cerkal, 2011).

3.3.2 Fáze stresu

Působení stresu na organismus lze rozdělit do 4 základních fází, jak demonstruje obr. 4. Z něho vyplývají čtyři základní fáze stresu: fáze poplachová, fáze restituční, fáze rezistence a fáze vyčerpání. Ve fázi poplachové rostlina reaguje na působení stresových faktorů na ni a vyhodnocuje jejich účinek. Navazuje na ní fáze restituční, kdy rostlina mobilizuje kompenzační mechanismy. Fáze rezistence se vyznačuje odpovědí organismu, kdy rostlina buď překoná stresové působení a dojde k tzv. eustresu, který má pozitivní vliv na vývoj a přežití rostliny. Pokud rostlina není schopna potlačit vliv stresu, dostane se do fáze vyčerpání, kdy není schopna odolávat stresovým podmínkám a nastává poškození organismu, dochází k tzv. distresu (Larcher, 2003).



Obr. 4: Fáze stresu (upraveno dle Larchera, 2003).

Podle Lichtenthalera (1998) esustres působí jako aktivační či stimulační podnět, který pozitivně působí na rostlinu. Mírný stres tedy může být brán jako výhodný stav, který v rostlině aktivuje buněčný metabolismus a stimuluje její fyziologickou aktivitu. Pojem distres lze naopak chápat jako stres, který působí poškození a má na rostlinu negativní vliv. Stresor v takovém případě překročí prahovou hodnotu, kterou není rostlina schopna kompenzovat.

Jak uvádí Cerkal (2011), rostlina se do fáze vyčerpání mnohdy nemusí dostat ani při dlouhodobém působení stresových faktorů. Vlastnosti stresu, které ovlivňují, zda se rostlina dokáže s nepříznivými podmínkami vyrovnat, jsou – síla, doba trvání, počet expozičních kombinací stresů. Při akutním stresu jsou reakce rostliny silnější, nápadnější a rychleji tak vzniká poškození, zatímco při vleklém stresu rostlina reaguje pomaleji a poškození nejsou tolik nápadná, či k nim dochází se zpožděním.

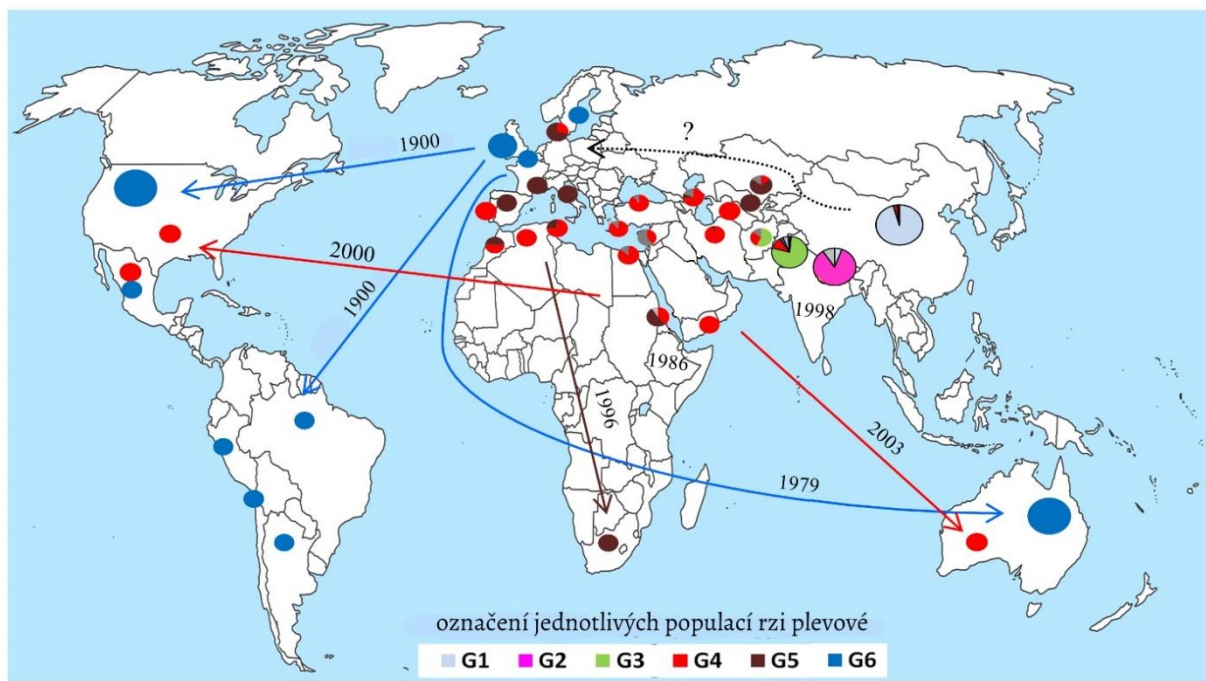
Mezi schopnosti rostliny, které umožňují odolávat stresovým faktorům, se řadí zejména tolerance. Tu je možno získat buď geneticky, selekcí v průběhu generací. Tento proces se nazývá adaptace. Druhou cestou je aklimatizace, kdy si rostlina při postupném vystavování stresu zvykne na jeho působení a je tak schopna mu odolat (Jenks et Hasegawa, 2005).

Nepříznivé působení chorob a škůdců se řadí mezi stresy biotické. V zemědělství se jedná o stresové faktory, které sice nepříznivě ovlivňují kvalitu a výnos, avšak oproti abiotickým stresorům proti nim lze víceméně úspěšně bojovat. Světovou produkci totiž zejména limitují abiotické faktory, které jsou zodpovědné až za 51-82% ztráty na potenciálních výnosech zemědělských komodit (Jenks et. Hasegawa, 2005).

3.4 Charakteristika rzi plevové

Za rez plevovou se označuje houbové onemocnění obilnin, způsobené rasami houby *Puccinia striiformis* z kmene stopkovýtrusých hub čili bazidiomycet. Druhé jméno patogena se v průběhu let postupně měnilo, *Uredo glumarum* (Schmidt 1827), *Puccinia striaeformis* (Westendorp 1854), *Puccinia straminis* (Fuckel 1860), *Puccinia glumarum* (Eriksson and Henning 1894). Konečnou podobu dostalo v roce 1953 *Puccinia striiformis* (Hylander et al. 1953). Jedná se o významnou chorobu, jejíž dopad a vliv na pěstování obilnin v posledních letech nabývá na závažnosti (Chen, 2005).

Choroba se vyskytuje v obilnářských oblastech světa, jak je patrné z obr. 5, kde významně ovlivňuje produkci a kvalitu. Nebezpečná je zejména kvůli náhlým invazím, kdy dokáže překonat dočasnou rezistenci a vážně poškodit úrodu (Ali et al., 2014).



Obr. 5: Centra výskytu jednotlivých populací rzi plevové a jejich rozšíření (upraveno dle Aliho et al., 2014).

Patogen přežívá na rostlinách z čeledi *Poaceae* a *Berberidaceae*. Na rozdíl od jiných druhů rží, zůstává počet dostupných hostitelů rzi plevové dosud nejasný. Hassebrauk (1965) uvedl, že nejméně 320 druhů trav z přibližně 50 rodů je schopno hostit rez plevovou. Nicméně Liu et Hambleton (2010) zjistili, že 45% zkoumaných vzorků trav bylo napadeno nikoli rží plevovou, ale travní. Proto skutečných hostitelů z čeledě *Poaceae* může být mnohem méně, než se původně předpokládalo.

Hovmöller et al. (2011) uvádí, že patogen se v současné době dělí do čtyř základních ras, které jsou popisovány jako odlišné druhy. První rasa, označovaná jako *Puccinia striiformis* Westend, napadá výhradě rod *Triticum*. Další dvě rasy využívají jako svého hostitele *Poa spp.* a *Dactylis spp.* Jedná se o *Puccinii pseudostriformis* a *Puccinii striiformoides*. Čtvrtá rasa *Puccinia gansensis* byla detekována pouze v Číně.

Ohledně původu rzi plevové je možné se setkat s několika názory a hypotézami o místě původu tohoto patogenu. Například Hassebrauk (1965) se domnívá, že za místo původu rzi plevové lze označit oblast Zakavkazka, kde jsou plané trávy jejím přirozeným hostitelem.

Naproti tomu Ali et al. (2014) uvádí jako domovskou oblast původu rzi plevové Čínu a střední Asii. Hypotéza je založena na vysoké heterogenitě populace a existenci dříšťálu jakožto vhodného mezihostitele v oblasti Himalájí. Rez plevová se ovšem rozšířila po celém světě, přičemž dokáže poměrně rychle překonat rezistenci hostitele a adaptovat se na různé klimatické podmínky.

Rez plevová se rozšiřuje především pomocí větrem unášených spór. Podle Hovmøllera (2008) se může jednat dokonce o patogen se schopností nejrychlejšího šíření na takové vzdálenosti. Důkazem toho je bleskové rozšíření rasy, tolerantní k vyšším teplotám - *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* během pouhých dvou let z jihovýchodu USA (2000) do severní Ameriky (2000) a Austrálie (2002). Podobný genotyp se v totožných letech dostal rovněž do Evropy a východní Asie.

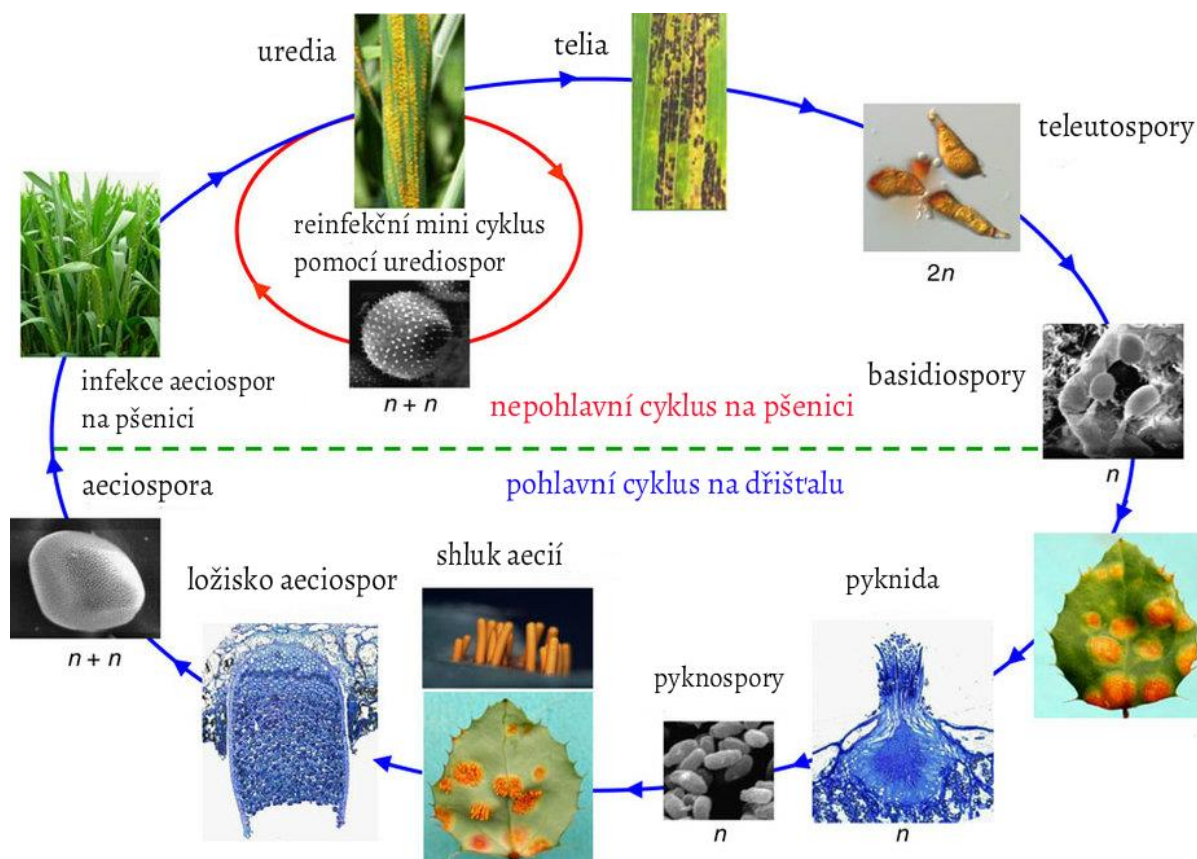
Avšak, jak popisuje Wellings (2007), rez plevová do Austrálie pronikla roku 1979 z Evropy, především z Anglie, na oděvu přistěhovalců a turistů. Zajímavé je, že se dokázala adaptovat na suché a teplé podmínky kontinentu a stala se vážným ohrožením pro místní farmáře, kteří pocítili ztrátu výnosu a nutnost zvýšených chemických zásahů.

Adaptibilita se kromě virulence i teplotních nároků, které jsou odlišné od starších ras rzi plevové, projevuje také změnami symptomů na listech. Bylo zjištěno, že mycelia rzi neprorůstají pouze podélně ve směru nervatury listu, ale také příčně (Hanzalová et Bartoš, 2015).

Chakraborty et al. (2011) navíc upozorňují, že s probíhající změnou klimatu se zvýší počet oblastí, ve kterých se rez plevová může vyskytovat, což představuje riziko dalších mutací, urychlení celého životního cyklu patogenu a vyhledání nových hostitelských rostlin.

Rez plevová je dvoubytná houba, tzn., že část svého vývoje prodělává na jiném hostiteli než obilnině. Letní výtrusy urediospory se tvoří na obilninách v ložiscích. Jsou kulovité a lehce oblaněné. Od července se začnou tvořit dvoubuněčné, tmavé, oproti letním výtrusům silněji oblaněné výtrusy teleutospory (Kazda et al., 2010).

Jak ovšem uvádějí Zheng et al. (2013), celý cyklus rzi plevové, viz obr. 6, je mnohem složitější. Houba za celý jeden rok vystřídá hned pět stádií. Tři druhy spor v nepohlavním cyklu, který probíhá na sekundárním hostiteli, tj. pšenici, a dva druhy spor v cyklu pohlavním.



Obr. 6: Životní cyklus rzi plevové (upraveno dle Zheng et al., 2013).

3.5 Vliv rzi plevové na rostliny

Choroba se ojediněle může vyskytnout již na podzim, v takovém případě se ovšem jedná pouze o zanedbatelné množství a ochrana zpravidla není nutná. Ve větší míře ovšem patogen napadá rostliny v jarní části vegetace, konkrétně po ukončení sloupkování. Na listech infikovaných rostlin se začínají tvořit tmavě oranžové či rezavé kupky – ložiska urediospor. Při příznivém počasí a nulové ochraně, houba prorůstá celý list, který odumírá a rostlina začíná usychat. Typickým poznávacím znamením rzi plevové oproti jiným původcům rodu *Puccinia* je tvorba ložisek výtrusů v pružích podél listové nervatury rostliny (Kazda et al., 2010).

Oranžovo hnědé výtrusy se objevují zpravidla na svrchní straně listů, jak je patrné z obr. 7, odkud se mohou dále šířit až do klasu, konkrétně mezi jednotlivé pluchy. Toto stádium onemocnění znamená již nadpoloviční úmrtnost listových buněk, nevytváření chlorofylu a značnou ztrátu v kvalitě zrna (Devades et al. 2009).



Obr. 7: Urediospory rzi plevové na listech pšenice seté (researchgate.net).

Rez plevová patří k obligátním parazitům, tudíž je pro její vývoj nezbytné parazitovat na jejím hostiteli. Důležitý pro infekci rostlin je vývoj mateřských buněk, neboli haustorií, které se vyvíjejí z infekčních hyf, jež pronikly průduchy do rostliny. Haustorie získávají z hostitele výživu a navazují vztah patogen-hostitel. Vzniklé urediospory se šíří asexuálně po celou dobu vegetace v několika cyklech, přičemž rozhoduje především vývoj počasí, kdy rzi vyhovují deštivé dny a dostatečná vzdušná vlhkost. Nejprve je možno její výskyt pozorovat na listech, v pozdější fázi vegetace se ovšem může dostat i do ostatních nadzemních částí rostliny a způsobit tak škody i v klasu (Hanzalová et Bartoš, 2015).

Zajímavý poznatek ve své studii zjistili Chang et al. (2013). Zatímco převážná část patogenů odebírá z rostliny důležité sacharidy a připravuje tak rostlinu o využitelnou energii, infekce *Puccinia striiformis* může vést ke zvýšení produkce fotosyntézy, a tím pádem ke kumulaci sacharidů v napadených listech. Jedná se tedy o záměrnou interakci mezi patogenem a hostitelem, kdy rez plevová využívá rostlinu k produkci energeticky bohatých sacharidů.

Počáteční stádium infekce rzí plevovou je spouštěčem hypersenzitivní reakce, kdy buňky v bezprostřední blízkosti napadeného místa odumírají. Buňka napadená houbovou hyfou totiž komunikuje se svým okolím, což vede k aktivaci obranných genů (Bozkurt et al., 2010).

Faktorů, ovlivňujících šíření a rozvoj epidemie rzi plevové, je celá řada. Základním předpokladem je samozřejmě náchylnost rostlin, a tudíž chybějící gen rezistence.

K rozhodujícím podmínkám vhodným k napadení patří také agrotechnikou ovlivnitelné faktory jako například hustota porostu, stav živin v rostlině, či vývojová fáze rostliny při počátečním napadení, a průběh počasí – ať už se jedná o teplotu, množství srážek, nebo vzdušnou vlhkost (Hanzalová et Bartoš, 2015).

Chen et al. (2002) uvádějí jako ideální teplotní rozmezí pro rozvoj rzi plevové na rostlině 13-18 °C. Důležitá je taky vysoká vzdušná vlhkost kolem 70-80 %. Za těchto podmínek urediospory vyklíčí během 6-8 hodin.

Patogen je schopen napadnout rostlinu pouze v případě, kdy je populace rzi virulentní vůči pěstovaným odrudám, v oblasti se nachází dostatečný zdroj inokula pro infekci a jsou vhodné podmínky pro prostorové šíření spór. K tomu využívá nejen vzdušné proudy, ale v posledních desetiletích narůstá význam lidské činnosti a globalizace, díky které se patogen může šířit přes kontinenty. To má za následek vznik nových agresivnějších ras, které překonávají geny rezistence snadněji a rychleji (Hanzalová et Bartoš, 2015).

Jak prokázali Robert et al. (2005), rozvoj choroby může ovlivnit i obsah dusíku v listech a míra N hnojení. Listy, které obsahují méně dusíku, nezaznamenávají takové poškození patogenem, jako listy na dusík bohaté. Samozřejmě vzhledem k pěstitelské praxi se rozhodně nejedná o poznatek, který by mohl být více využit, protože nízká míra hnojení se dozajista projeví na konečném výnosu mnohem více, než míra napadení rzi plevovou.

Problémem je také zdravotní stav půdy a s dodáváním kvalitní organické hmoty zpátky na pole. Snižující stavy skotu mají za následek také snížení přísunu chlévského hnoje na pole, tím pádem se půda jako taková vyčerpává a ubývají v ní důležité půdní mikroorganismy, které tvoří neodmyslitelnou součást půdní mikroflóry. Naproti tomu v půdách se zdravou a bohatou mikrobiální populací je nižší riziko přenosu onemocnění, protože zůstává méně prostoru pro rozvoj patogenních bakterií, plísní a hub (Body, 2016).

K potvrzení toho, že ochrana proti rzi plevové je nezanedbatelná a obzvláště v některých ročnících naprosto klíčová, svědčí práce Hovmøllera et al. (2008). Podle jejich závěrů dosahovaly ztráty na výnosu pšenice v USA více než miliónu tun v roce 2000 a v roce 2003 už dokonce 2,4 miliónů tun navzdory tomu, že se všeobecně zvýšila aplikace fungicidů. Čína se ve stejných letech pohybovala mezi 1,8 a 6 milióny tun ztrát, což jednoznačně ukazuje na to, že ochrana rostlin je žádoucí a potřebná a to nejen v používání správných fungicidů, ale také ochrany nepřímé jako například šlechtění a pěstování odolných odrud.

Obdobně i Kazda et al. (2010) uvádí, že vzhledem k charakteru patogena, který se vymezuje jako obligátní a biotrofní, jsou doposud známy a možné pouze dvě možnosti ochrany: orientace na odolné odrůdy a fungicidní aplikace pomocí účinných látek jako například cyprodinilu, cyproconazolu, propiconazolu, prothioconazolu či flusilazolu.

Běžně se fungicidní aplikace provádí i dvakrát až třikrát za vegetaci, v závislosti na výskytu patogena a prahu škodlivosti, kdy je pokryto 5-10 % listu letními výtrusy. Zásadní je aplikace během metání, kdy je důležité ochránit praporcový list, který zajišťuje výživu klasu a velkou měrou se tak podílí na dosaženém výnosu (Wan et al., 2004).

Hanzal et Bartoš (2015) uvádí, že u 6 liniových odrůd pšenice, z celkového počtu 12 byla zaznamenána redukce výnosu o 20-45 %. Průměrný výnos všech odrůd neošetřené varianty dosáhl hodnoty 9,6 t.ha⁻¹, zatímco u rostlin ošetřených byl výnos 13,1 t.ha⁻¹. Průměrná redukce výnosu byla 27 %. Pokud se vezme v úvahu průměrná cena fungicidního zásahu a cena jedné tuny pšenice ozimé, vychází hranice rentability na 0,69 t.ha⁻¹.

Vliv vhodně zvolené odrůdy je možno také doložit v práci Bezdíčkové (2016). V odolnosti vůči chorobám, ale i vůči abiotickým vlivům prostředí, se dají vyzorovat značné rozdíly v nabízených odrůdách pšenice ozimé. Jako tolerantní se jeví odrůdy Matchball, Golem a Patras. Naopak jako citlivé se jeví odrůdy Arktis či Elan.

3.6 Charakteristika rzi travní

Jako rez travní se označuje houbová choroba, která napadá rostliny pšenice, ječmene, žita, ova, ale i hospodářsky využívané travní kultury jílku či kostřav. Onemocnění způsobuje houba *Puccinia graminis* z kmene stopkovýtrusých hub, třídy *Urediniomycetes* čeledi *Pucciniaceae*, která obsahuje celkem 17 rodů a přibližně 4121 ras (Kirk et al., 2001).

Rod *Puccinia graminis* lze dále rozdělit do několika ras podle primárního hostitele a také podle genetických odlišností mezi jednotlivými rasami. Každý rasa je popsána pomocí latinského *forma specialis* – f. sp. *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* napadá pšenici setou a způsobuje na této plodině onemocnění zvané rez travní. Na ostatních obilninách se vyskytují odlišné rasy: *Puccinia graminis* f. sp. *secalis* na žitu a *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* na ovsu. Ječmen je primárním hostitelem jak rasy *secalis*, tak rasy *avenae* (Schumann et Leonard, 2000).

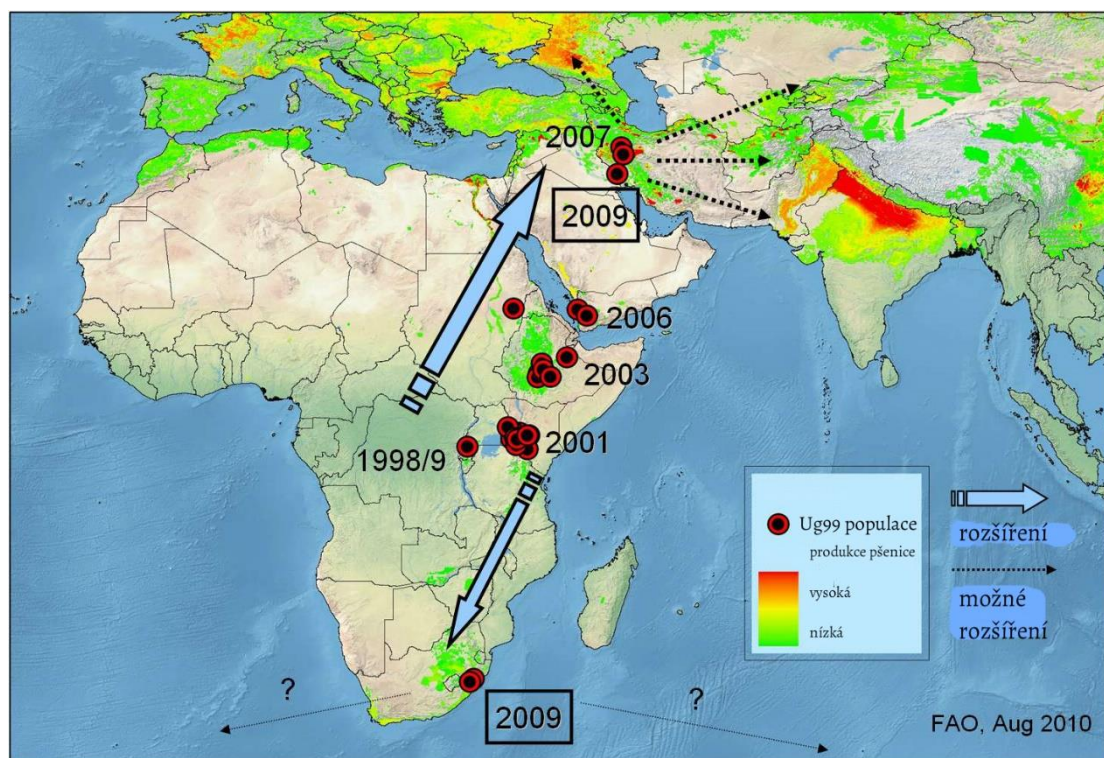
Jak uvádí Bushnell et Roefls (1984), nejméně 365 druhů obilnin a trav z 54 rodů je schopno hostit patogena *Puccinia graminis*. Rasa *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* je schopna

parazitovat na 74 druzích ze 34 rodů v řízených podmínkách, ale v přírodě je hostitelem této rasy pouze 28 druhů z 8 rodů. Leonard et Szabo (2005) doplňují, že ostatní rasy mají okruh hostitelských rostlin užší, než zmiňovaná *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*.

Rez travní je choroba, která se řadí k velice závažným onemocněním zvláště v obilnářských oblastech světa. Fragmenty rzi travní na pšenici jsou doloženy již z doby bronzové z oblasti Izraele (Kislev, 1982).

Chester (1946) dokládá výskyt rzi na pšenících zmínkou ze starověkého Říma, kde se za vlády Numa Pompilia slavil svátek Robigalia na počest boha Robiga, který byl podle tamního náboženství zodpovědný za choroby kulturních plodin. Později si již Aristoteles spojoval výskyt rzi s teplým a vlhkým počasím.

Jednotlivé populace rzi travní lze vysledovat především díky virulenci vůči rezistentním odrudám pšenice. S tímto problémem souvisí i hlavní škodlivost rzi travní, kdy překonání genu rezistence znamená masový výskyt na pěstovaných obilninách. Jako příklad lze uvést překonání genu *Sr31*, který byl izolován v žitu a následně transferován do genomu pšenice. V roce 1999 byla v Ugandě detekována populace rzi travní označena jako *Ug99*. Jak ukazuje obr. 8, během pár let se rozšířila ve východní Africe a do 10 let byl její výskyt zaznamenán i na Blízkém východě a v Jižní Africe (Schumann et Leonard, 2000).

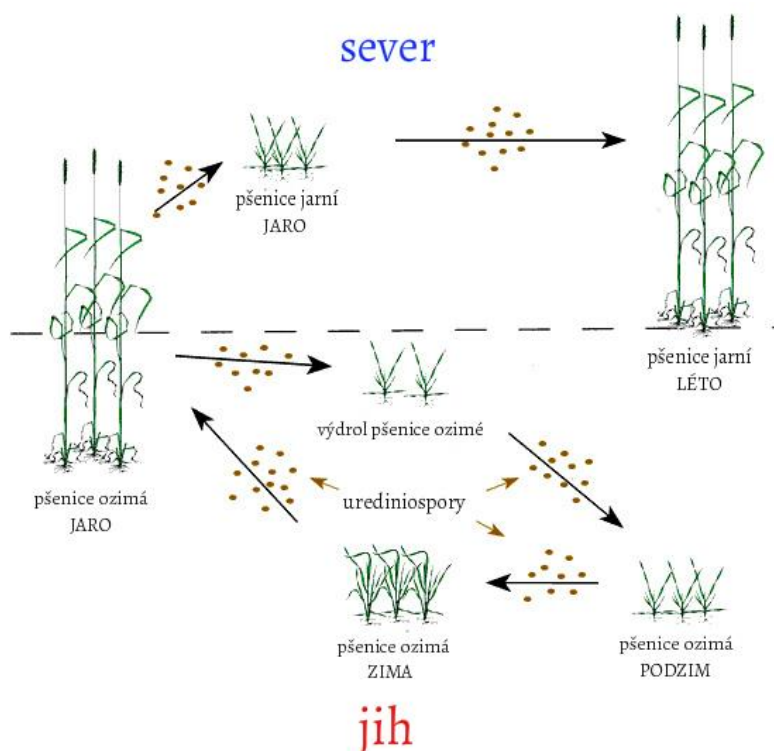


Obr. 8: Výskyt a rozšíření populace *Ug99* (upraveno dle fao.org).

Hanzalová et Bartoš (2016) potvrzují, že pokud je rezistence hostitele založena monogenně, je sice účinnost genu rezistence vysoká, avšak pokud dojde k jejímu překonání, ke kterému zpravidla dochází zlomově, hrozí nebezpečí vysokých výnosových ztrát na pěstované plodině a rychlému rozšíření virulentního patogenu.

Životní cyklus rzi travní je obdobný jako u rzi plevové. V podmínkách mírného pásma se jedná o dvoubytnou houbu, která potřebuje ke svému přežití sekundárního hostitele, kterými jsou rostliny rodu *Berberis*. Na sekundárním hostiteli probíhá nepohlavní cyklus, kdy se tvoří na vrchní straně listu pyknidie (Leonard et Szabo, 2005).

V Severní Americe se ovšem rez travní může šířit, aniž by k tomu potřebovala mezihostitele. Patogen tedy vynechá pohlavní cyklus a množí se pouze nepohlavně. Obr. 9 ukazuje princip cyklu bez sekundárního hostitele. Infikované rostliny výdrolu jsou zdrojem urediniospor, které infikují zaseté porosty pšenice ozimé. Mírné zimy v okolí Mexického zálivu umožní urediniosporám přežít a na jaře se rozšířit v porostech. Pomocí větru se pak spory rozšíří i směrem na sever, kde infikují porosty jarní pšenice (Schumann et Leonard, 2000).



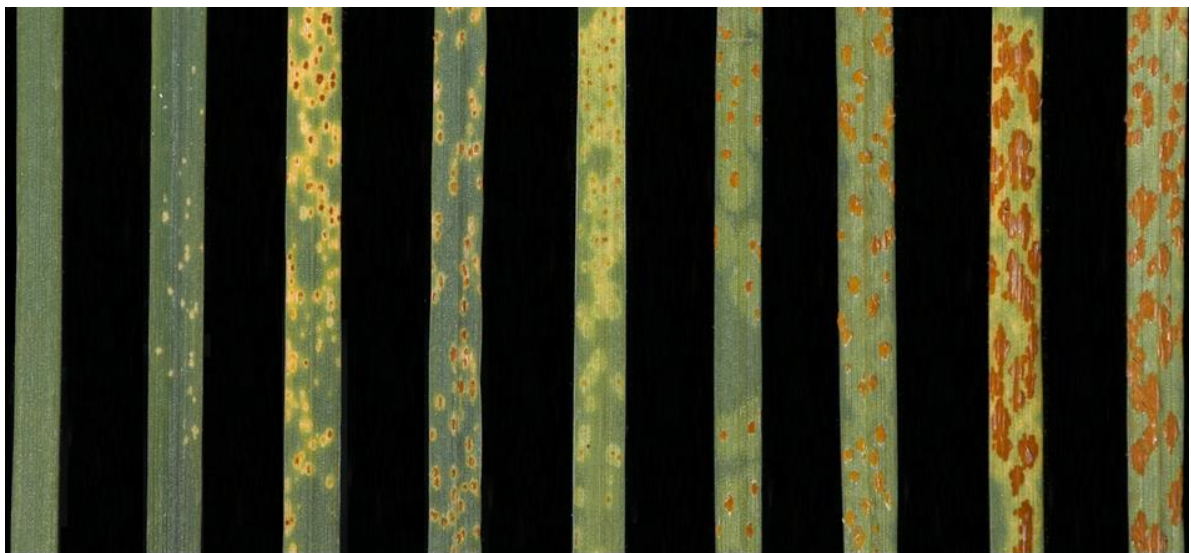
Obr. 9: Nepohlavní cyklus rzi travní (upraveno dle Schumann et Leonard, 2000).

3.7 Vliv rzi travní na rostliny

Roelfs et al. (1992) uvádí, že infekce rzi travní bývá často rychlá a přináší závažné následky. Pokud je dostatečné množství inokula přeneseno z těžce napadeného porostu na porost tři týdny před sklizní, dokáže jej infekce zdevastovat a způsobit značné škody. Infekce přerušuje tok živin do klasu, což má za následek scvrklá zrna s nízkou objemovou hmotností. Stéblo je při vysokém stupni infekce také náchylnější k poléhání, což znesnadňuje sklizeň.

Kazda et al. (2010) dodává, že *Puccinia graminis* prorůstá i stéblem, což má za následek zasychání rostlin. Napadat může porosty již koncem kvetení, a pokud není provedena ochrana fungicidy včas, může ztráta dosáhnout i 100 %. Zároveň hojně ohrožuje i porosty méně monitorovaných obilnin jako je žito a triticales.

Rez travní napadá stébla, listy i klasy rostlin. Prvotními příznaky jsou obvykle malé chlorotické skvrny, které jsou pozorovatelné již za pár dní po infekci, jak ukazuje obr. 10, na kterém je znázorněn průběh infekce. Po 8 – 10 dnech se objeví na postižených místech cihlově zbarvené urediniospory, které mají obdélníkový nebo kosočtvercový tvar a mohou dosáhnout délky až 10 mm. Ke konci léta se začnou na místech cihlově červených urediniospor tvořit načernalé teliospory (Leonard et Szabo, 2005).



Obr. 10: Průběh infekce rzi travní na listech pšenice seté (usda.gov).

Optimální podmínky pro rozvoj rzi travní jsou horké dny s teplotami 25 – 30 °C a noci s teplotami 15 – 20 °C a vlhké listy od deště či rosy. Urediniospory potřebují pro svůj rozvoj dostatek volné vody a otevřené průduchy, kudy se infekce dostane dovnitř buněk (Schumann et Leonard, 2000).

Ochrana proti rzi travní se provádí stejně jako ochrana proti rzi plevové. To znamená preventivní fungicidní postřik během sloupkování, případně druhé ošetření krátce před nebo po vymetání klasu. Kvůli náhlým a pozdním výskytům ovšem ani dvojí či trojí fungicidní ochrana nemusí být dostačující, proto je vhodné pěstovat především rezistentní odrůdy (Kazda et al., 2010).

4 Metodika pokusů

V bakalářské práci byl sledován vliv listové infekce rzi plevové a rzi travní na výměnu plynů pšenice seté. Na 10 vybraných odrůdách byla měřena rychlost transpirace a fotosyntézy v růstových fázích 59. – 71. DC. Pokusy byly založeny ve šlechtitelské stanici Selgen, a. s., Stupice a VÚRV, v. v. i. Praha – Ruzyně.

4.1 Pokusné rostliny

Pro studium byl použit vybraný sortiment celkem 10 registrovaných odrůd pšenice seté, ozimé formy. Osivo poskytla šlechtitelská stanice Selgen, a. s. a VÚRV Ruzyně.

1. Annie – středně raná odrůda, pekařské elitní jakosti (E), rostliny středně vysoké, odolné proti poléhání, zrno velké, středně odolná až odolná proti napadení rzi travní, středně až méně odolná proti napadení rzi plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě nízký (eagri.cz).
2. Artist – polopozdní odrůda, pekařské chlebové jakosti (B), rostliny středně vysoké, středně odolné proti poléhání, zrno středně velké, středně odolná proti napadení rzi travní, odolná proti napadení rzi plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě vysoký až velmi vysoký (eagri.cz).
3. Bernstein – polopozdní až pozdní odrůda, pekařské elitní jakosti (E), rostliny vysoké, středně odolné až odolné proti poléhání, zrno středně velké, středně odolná proti napadení rzi travní, středně odolná až odolná proti napadení rzi plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě nízký až středně vysoký (eagri.cz).
4. Frisky – polopozdní odrůda, nevhodná pro pekařské využití (C), rostliny nízké, odolné proti poléhání, zrno středně velké až malé, odolná proti napadení rzi travní, středně odolná proti napadení rzi plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě vysoký až velmi vysoký (eagri.cz).

5. Gordian – polopozdní odrůda, pekařské chlebové jakosti (B), rostliny nízké, odolné proti poléhání, zrno malé, středně odolná proti napadení rží travní, středně odolná proti napadení rží plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě vysoký až velmi vysoký.
6. Julie – poloraná odrůda, pekařské elitní jakosti (E), rostliny středně vysoké až vysoké, středně odolné proti poléhání, zrno velké, středně odolná proti napadení rží travní, méně odolná proti napadení rží plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě středně vysoký až vysoký (eagri.cz).
7. Pankratz – polopozdní až pozdní odrůda, pekařské kvalitní jakosti (A), rostliny středně vysoké, středně odolné až odolné proti poléhání, zrno malé, středně odolná až odolná proti napadení rží travní, středně odolná proti napadení rží plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě středně vysoký až vysoký (eagri.cz).
8. Rumor – středně raná odrůda, pekařské kvalitní jakosti (A), rostliny středně vysoké, středně odolné proti poléhání, zrno malé, méně odolná až náchylná k napadení rží travní, méně odolná proti napadení rží plevovou, výnos zrna v neošetřené variantě středně vysoký až vysoký (eagri.cz).
9. Sailor – polopozdní odrůda, pekařské kvalitní jakosti (E), rostliny středně vysoké, méně odolné proti poléhání, zrno středně velké, náchylná k napadení rží travní, odolná proti napadení rží plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě středně vysoký až vysoký (eagri.cz).
10. Tobak – polopozdní až pozdní odrůda, pekařské chlebové jakosti (B), rostliny středně vysoké, středně odolné proti poléhání, zrno středně velké, méně odolná až náchylná k napadení rží travní, středně odolná až odolná proti napadení rží plevovou, výnos zrna v ošetřené variantě vysoký až velmi vysoký (eagri.cz).

4.2 Založení pokusů

V pokusu byl sledován vliv dvou patogenních organismů – rží plevové a rží travní na fyziologické odezvy rostlin pšenice seté.

Pokus se uskutečnil formou maloparcelkového pokusu, založeném metodou latinského čtverce ve 2 opakováních (+kontrola) ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v. v. i., v Praze-Ruzyni a ve šlechtitelské stanici Selgen a.s., Stupice. Založení pokusů a agrotechnické zásahy během vegetace pšenice vycházely z metodiky polních pokusů a agrotechnických lhůt. Ochrana proti chorobám nebyla provedena.

Rostliny pšenice byly infikovány rzí plevovou umělým rozprášením urediospor ve směsi s inertní látkou nebo injekčně do stébel jednotlivých odrůd ve vývojové fázi 59. DC. Pro inokulum byla použita směs urediospor množených na klíčících rostlinách ve skleníkových podmínkách. Termín infekce se lišil vzhledem k teplotním nárokům při infekci, inkubaci dalším šířením choroby.

Zdrojem infekčního materiálu byly listy pšenice napadené rzí plevovou a ze sběrů z celé ČR; tj. urediospory z listů z různých lokalit byly přeneseny na klíčící rostliny náchylné odrůdy pšenice a inkubovány 24-48 hodin v uzavřených skleněných válčích. Po 4-5 dnech se na listech rostlin začaly tvořit vznikající kupky, které byly odebrány a přeneseny do vodného prostředí v Petriho misce.

Infekce rzí travní proběhla na 7 z 10 sledovaných odrůd samovolně ve fázi 59. - 69. DC.

4.3 Průběh počasí

měsíc	den	průměrná teplota (°C)	max. teplota (°C)	min. teplota (°C)	úhrn srážek (mm/m ²)
květen	01-10	13,9	19,6	6,9	6,0
květen	11-20	12,5	17,4	7,7	2,8
květen	21-31	17,1	23,0	12,0	18,2
červen	01-10	17,2	22,7	11,6	12,4
červen	11-20	16,1	21,6	12,1	36,2
červen	21-30	20,2	26,1	14,1	19,8
červenec	01-10	18,9	25,2	13,0	7,5
červenec	11-20	18,8	24,0	11,4	22,4
červenec	21-31	21,8	28,2	16,4	30,8

Tab. 1: Průběh počasí v Selgenu, Stupice

Tab. 1 charakterizuje průběh počasí v měsících květen až červenec ve šlechtitelské stanici Selgen, Stupice. Maximální teplota ve sledovaných dnech nepřekročila hranici 30 °C, nejvyšší teplota byla naměřena mezi 21. – 31. červencem a to 28,2 °C. Nejnižší teplota byla naměřena na začátku května v hodnotě 6,9 °C. Nejvíce srážek spadlo v období 11. – 20. června, konkrétně 36,2 mm.m². Uvedený průběh počasí byl pro šíření rzí plevové ideální, neboť bylo dostatečné množství srážek, které bylo spojeno se vyššími teplotami.

měsíc	den	průměrná teplota (°C)	max. teplota (°C)	min. teplota (°C)	úhrn srážek (mm/m ²)
květen	01-10	13,8	23,1	2,7	6,0
květen	11-20	12,8	23,0	4,1	2,6
květen	21-31	17,7	28,7	7,7	24,0
červen	01-10	18,2	27,6	9,6	6,9
červen	11-20	16,9	26,7	10,7	32,4
červen	21-30	20,9	34,2	12,9	20,1
červenec	01-10	19,6	30,9	9,0	6,7
červenec	11-20	19,3	34,1	10,2	21,1
červenec	21-31	21,8	31,8	14,9	12,6

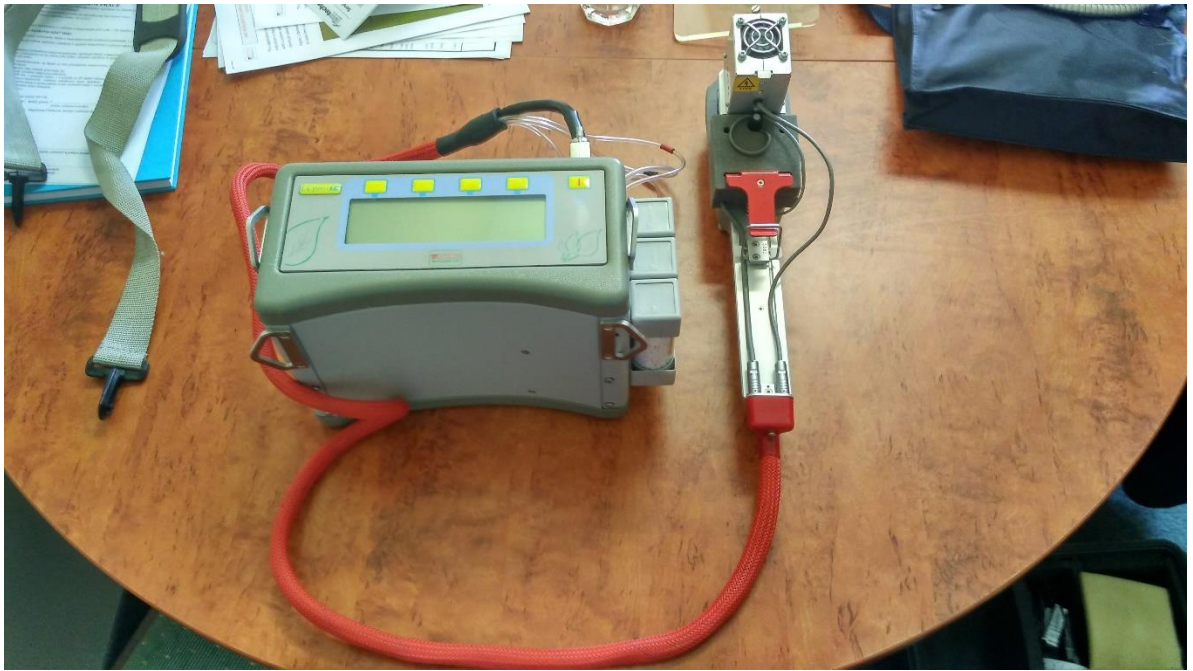
Tab. 2: Průběh počasí ve VÚRV, v. v. i. Praha – Ruzyně

V tab. 2 je uveden průběh počasí v měsících květen až červenec ve VÚRV, v. v. i. Praha – Ruzyně. Oproti šlechtitelské stanici ve Stupicích se teplota v Ruzyni přehoupla přes hranici 30 °C hned ve 4 sledovaných obdobích – od 21. června až do 31. července. Maximum bylo zaznamenáno v období mezi 21. – 30. červnem, kdy naměřená teplota byla 34,2 °C. Také průměrné minimální teploty byly nižší než ve Stupicích. Mezi 1. – 10. květnem byla naměřena teplota 2,7 °C. Úhrn srážek byl také nižší než ve Stupicích (o 23,7 mm.m²), ovšem v klíčové druhé polovině června spadlo celkem 52,5 mm/m², což bylo důležité z hlediska rozvoje sledovaných patogenů.

4.4 Měření fyziologických charakteristik

U vybraného rostlinného materiálu pšenice seté ozimé, uměle inokulovaného urediosporami rží plevovou a samovolnou infekcí rží travní, byla sledována rychlost transpirace a fotosyntézy.

Pro stanovení rychlosti fotosyntézy a transpirace byl použit přenosný infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd.), který je uveden na obr. 11. Měření fyziologických charakteristik se uskutečnilo na základě metodických postupů dle Holé et al. (2010). Měření rychlosti výměny plynů se uskutečnilo ve vývojových fázích 59. DC - 71. DC v dopoledních hodinách, kdy je dosahována maximální fotosyntéza. List pšenice seté byl vložen do měřicí komůrky a po dobu 10 minut probíhalo automatické zaznamenávání hodnot v intervalu 1 minuty.



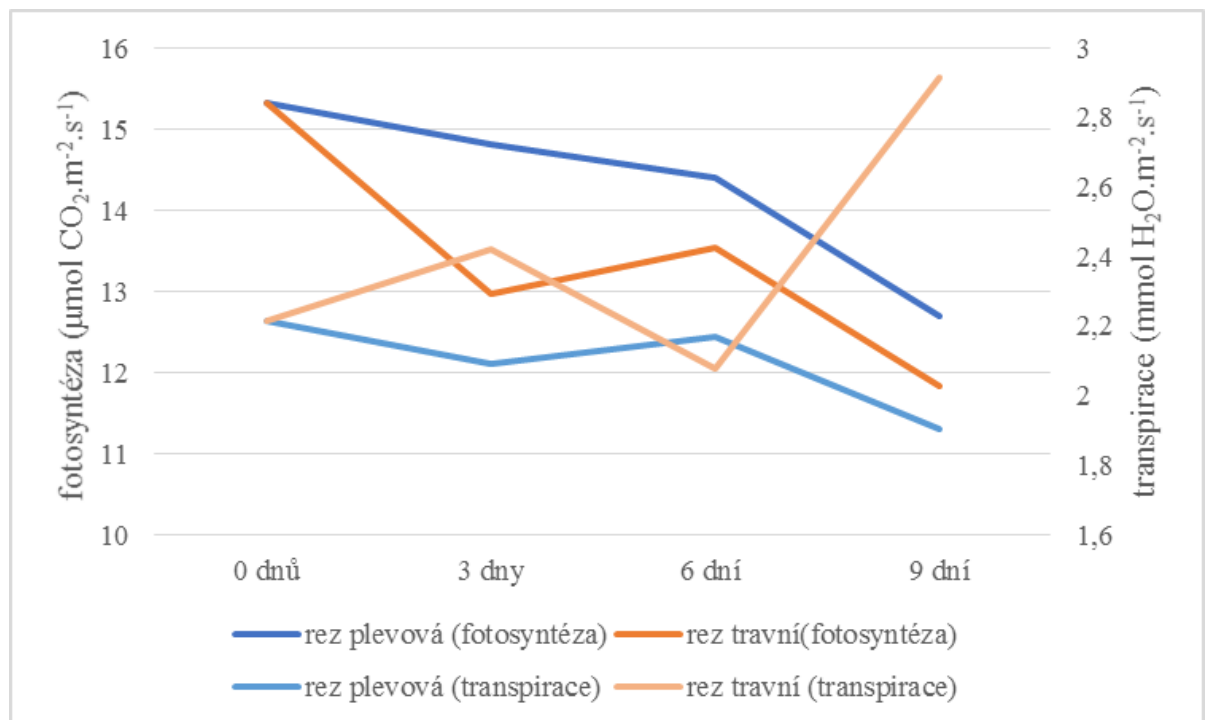
Obr. 11: Infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd.). Foto: autor.

5 Výsledky

V bakalářské práci byla věnována pozornost především rzi plevové (*Puccinia striiformis*) a v menší míře i rzi travní (*Puccinia graminis*). Sledováno bylo celkem 10 odrůd, z nichž na 7 z nich se objevila rez travní. Měření se uskutečnilo ve fázi 59. DC po 3, 6 a 9 dnech od infekce. Hodnocen byl vliv obou patogenů na výměnu plynů pšenice seté.

5.1 Průběh rychlosti fotosyntézy a transpirace u sledovaných odrůd

Z grafu 1 je patrné, že působení rzi travní a plevové snižuje rychlost fotosyntézy a transpirace pšenice odrůdy Annie. Rostliny pšenice před inokulací rzi plevovou měly rychlost fotosyntézy ve výši $15,32 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a rychlost transpirace $2,21 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. První pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán 3. a 6. den po inokulaci, kdy se rychlost fotosyntézy snížila v porovnání s nenapadenými listy o $0,51 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a $0,92 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Po 9 dnech od infekce listů rostlinného materiálu rzi plevovou byl zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy na hodnotu $12,70 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.



Graf 1: Průběh rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) u odrůdy Annie při infekci rzi plevovou a rzi travní.

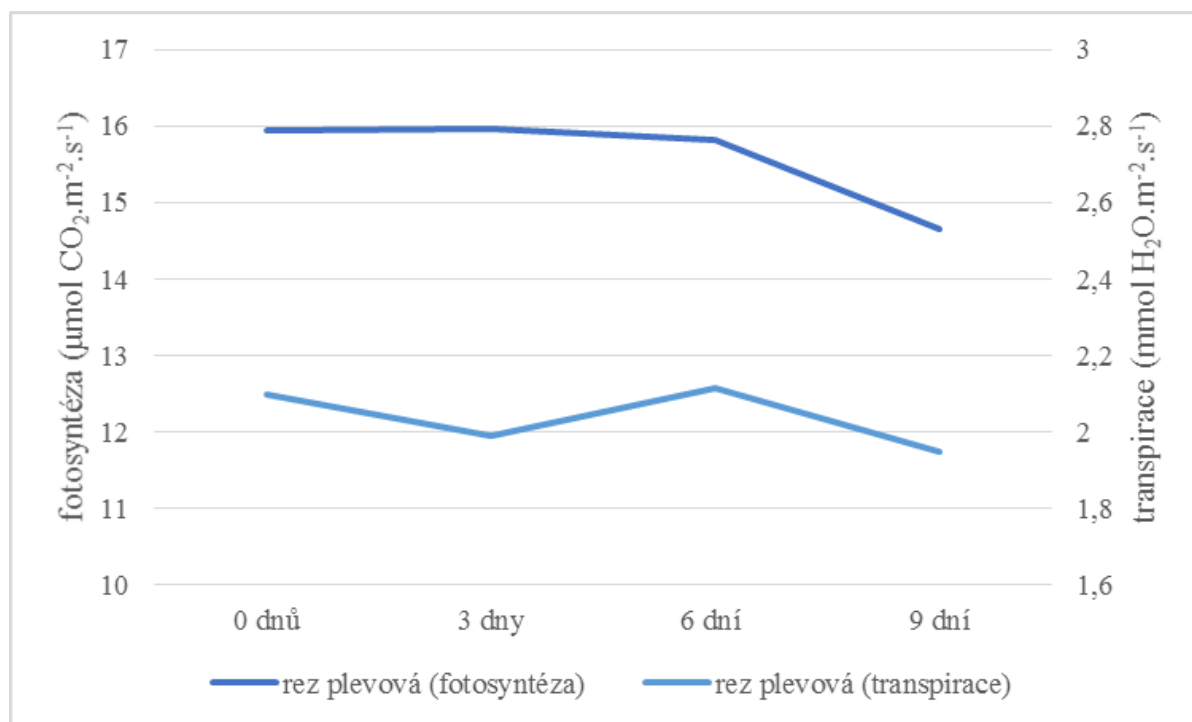
V případě rychlosti transpirace byl nejprve zaznamenán 3. den po inokulaci pokles rychlosti transpirace na hodnotu $2,09 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Avšak 6. den infekce se rychlost

transpirace zvýšila až na hodnotu nenapadených listů. Toto zvýšení rychlosti transpirace bylo 9. den po infekci vystřídáno výrazným poklesem rychlosti transpirace. V tomto termínu měření byla rychlost transpirace $1,91 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jak dokládá graf 1.

Infekce rzí travní se uskutečnila samovolně. V případě napadení listů pšenice seté odrůdy Annie je možné konstatovat, že rychlost fotosyntézy se bezprostředně po napadení patogenem (3. den) snížila z hodnoty $15,31 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ na hodnotu $12,97 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento pokles byl však v 6. dnu vystřídán nárůstem o $0,57 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Další pokles rychlosti fotosyntézy v důsledku napadení rzí travní byl zaznamenán 9. den po napadení. V tomto termínu byla rychlost fotosyntézy $11,83 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jak je patrné z grafu 1. Z něho je dále patrné, že rychlost transpirace listů infikovaných rzí travní se v porovnání s listy napadenými rzí plevovou zvyšovala. Výrazný nárůst rychlosti transpirace byl zaznamenán mezi 6. a 9. dnem po napadení. Zatímco 6. den byla rychlost transpirace $2,08 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, tak v termínu následujícím dosáhla svého maxima $2,92 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, neboť u listů nenapadených byla rychlost transpirace ve výši $2,21 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Obecně je možné vysledovat trend, kdy infekce rzí travní působí na rychlost výměny plynů s větší agresivitou a v kratším čase dokáže rostlinu více poškodit než rez plevová, u které je nástup infekce pozvolnější.

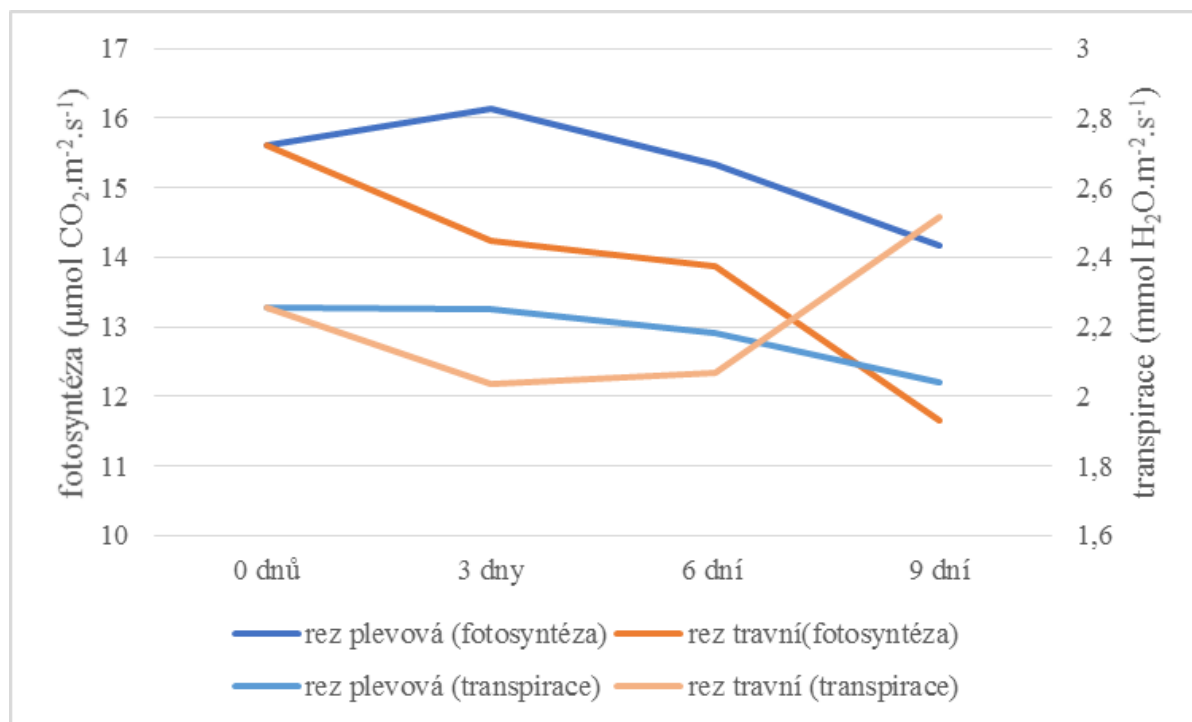
Z grafu 2 vyplývá, že průběh rychlosti fotosyntézy byl u odrůdy Artist až do 6. dne téměř vyrovnaný. U nenapadených rostlin pšenice byla naměřena hodnota $15,95 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. První pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán až 6. den po inokulaci, kdy se rychlost fotosyntézy snížila vzhledem k neinfikovaným listům o $0,13 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Výraznější pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán po 9 dnech od inokulace, kdy byla naměřena hodnota $14,64 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.



Graf 2: Průběh rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) u odrůdy Artist při infekci rzí plevovou.

Rychlost transpirace, jak dokládá graf 2, nejprve poklesla oproti nenapadeným rostlinám z hodnoty $2,10 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na $1,99 \text{ H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ po 3 dnech od infekce. Avšak 6. den byla naměřena hodnota o $0,1 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ vyšší než u zdravých rostlin pšenice. Po 9 dnech od inokulace však rychlost transpirace opět poklesla na $1,95 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Rez plevová snižuje rychlost výměny plynů u odrůdy Bernstein, jak dokládá graf 3. Nenapadené listy pšenice vykazovaly hodnotu rychlosti fotosyntézy $15,61 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a rychlosti transpirace $2,25 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. 3. den po infekci se rychlost fotosyntézy zvýšila o $0,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, avšak po 6 dnech stresového působení byla naměřena hodnota $15,34 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 9 den rychlost fotosyntézy poklesla na $14,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



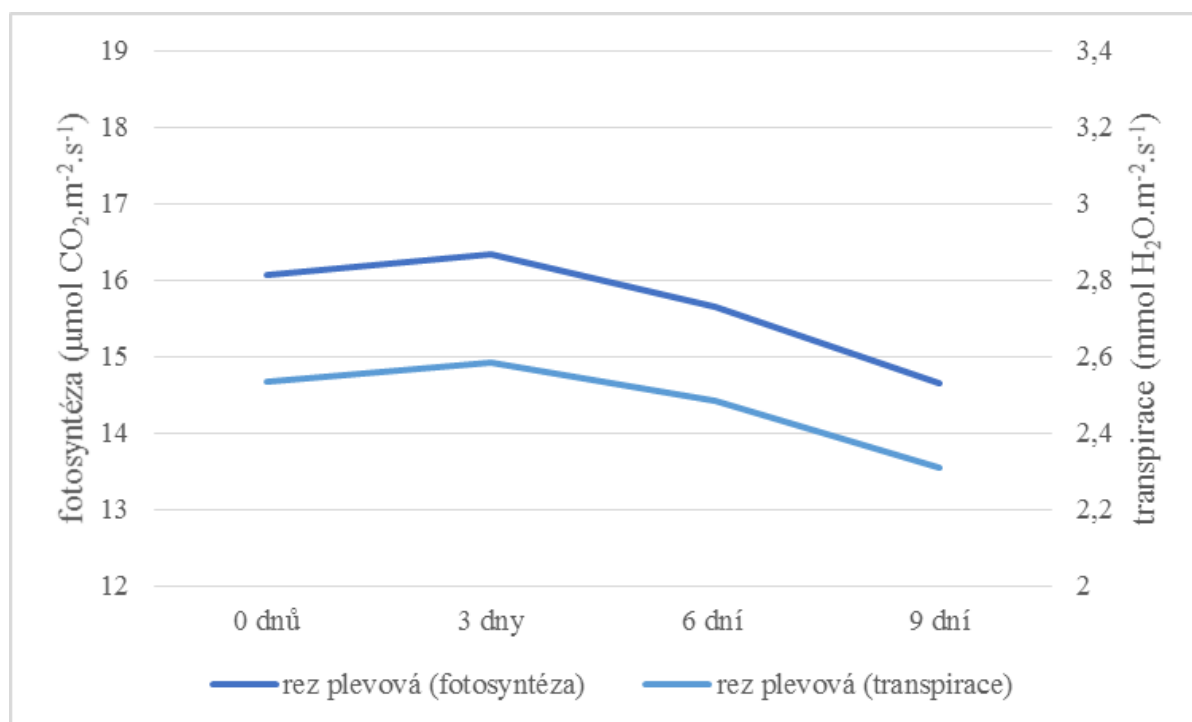
Graf 3: Průběh rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u odrůdy Bernstein při infekci rzí plevovou a rzí travní.

Infekce rzí plevovou ovlivnila také rychlost transpirace, jak je patrné z grafu 3. Při prvním měření 3 dny po inokulaci sice nebyl zaznamenán žádný rozdíl oproti nenapadeným rostlinám, avšak 6. den byl již zaznamenán pokles o $0,07 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 9. den o $0,24 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, kdy byla naměřena rychlost transpirace v hodnotě $2,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Infekce rzí travní se u odrůdy Bernstein projevila zejména značným poklesem rychlosti fotosyntézy. Prvotní pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán již 3. den po inokulaci, konkrétně o $1,37 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 6. den o $1,74 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ z hodnoty $15,61 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Při posledním měření 9 dní od inokulace byla zaznamenána hodnota $11,65 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost transpirace se nejprve snížila na $2,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ po 3 dnech od inokulace, následně však bylo zaznamenáno zvýšení na $2,07 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 9. den až na

2,51 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, což znamená navýšení rychlosti transpirace oproti nenapadeným listům o 0,26 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

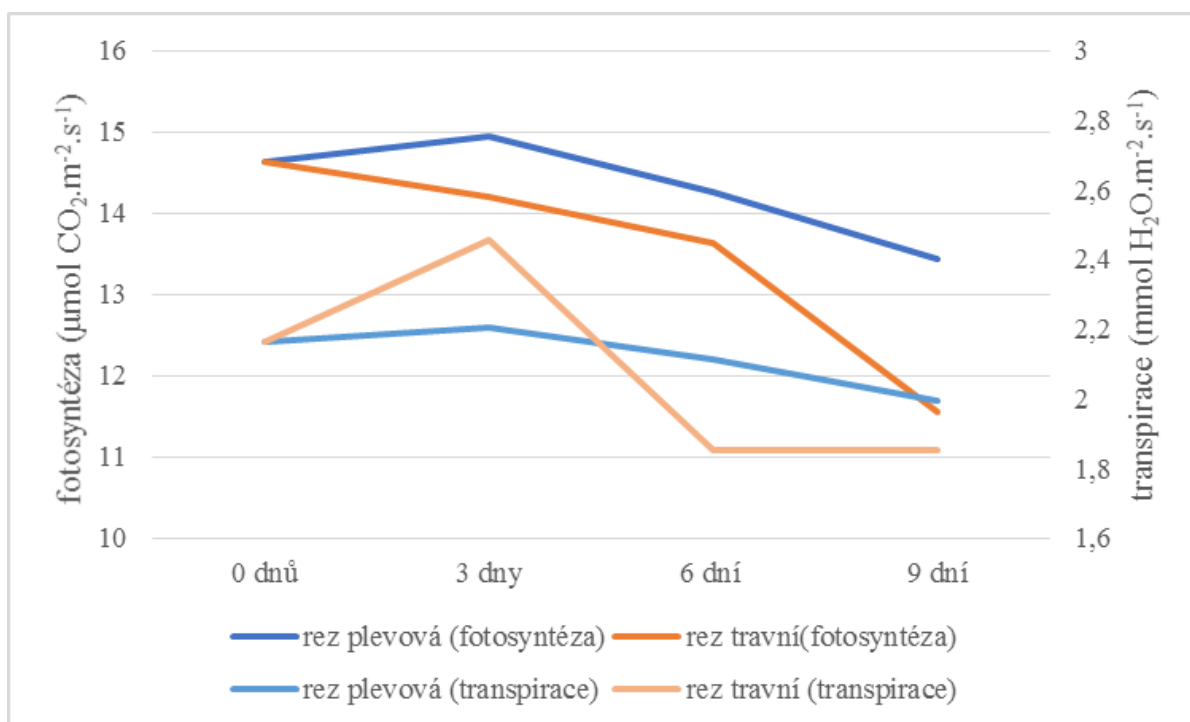
Z grafu 4 je patrné, že u odrůdy Frisky byly naměřeny vůbec nejvyšší hodnoty rychlosti fotosyntézy a transpirace. Rychlost fotosyntézy neinfikovaných byla 16,10 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ a rychlosti transpirace 2,54 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Zpočátku se rychlost fotosyntézy 3. den po inokulaci zvýšila o 0,24 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, poté ale nárůst vystřídal pokles o 0,45 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (6. den) oproti neinfikovaným listům a 9. den o 1,46 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.



Graf 4: Průběh rychlosti fotosyntézy (μmol CO₂.m⁻².s⁻¹) a transpirace (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) u odrůdy Frisky při infekci rzí plevovou.

Průběh rychlosti transpirace měl podobný trend jako v případě rychlosti fotosyntézy, jak vyplývá z grafu 4. Rychlost transpirace se 3. den od inokulace nejprve zvýšila o 0,05 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, poté byl ovšem 6. den zaznamenán pokles o 0,05 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ oproti neinfikovaným rostlinám. U neinfikovaných rostlin byla rychlost transpirace 2,54 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Při posledním měření hodnota rychlosti transpirace klesla na 2,31 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

Z grafu 5 je patrné, že při stresovém působení rzi plevovou a rzi travní dochází u odrůdy Gordian ke snížení rychlosti výměny plynů. Nenapadené rostliny měly rychlost fotosyntézy $14,62 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a rychlost transpirace $2,17 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Průběh infekce rzi plevovou byl obdobný jako u odrůdy Frisky, kdy se rychlost fotosyntézy nejprve zvýšila o $0,32 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, avšak po 6 dnech od inokulace byla naměřena hodnota $14,27 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 9. den se rychlost fotosyntézy snížila oproti neinfikovaným listům o $1,18 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, kdy naměřená hodnota posledního měření činila $13,44 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



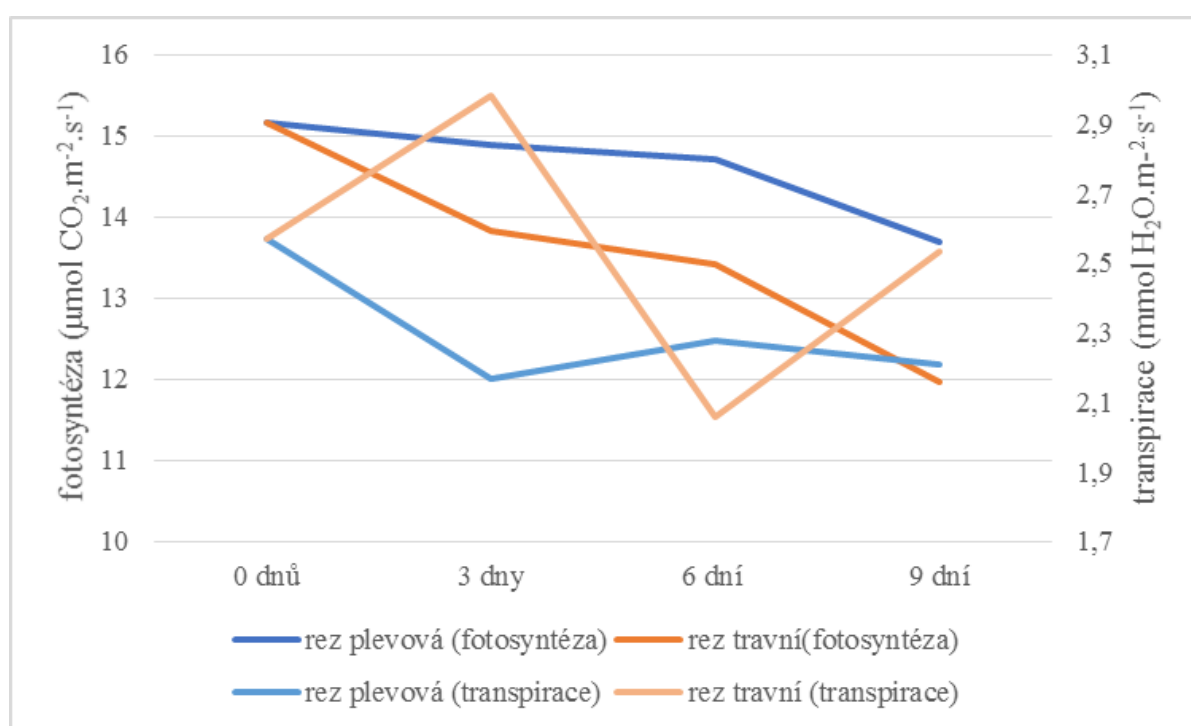
Graf 5: Průběh rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u odrůdy Gordian při infekci rzi plevovou a rzi travní.

Transpirace se nejprve zvýšila o $0,03 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 3. den od inokulace na hodnotu $2,20 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Poté však následoval pokles na hodnotu $2,11 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, který trval až do konce pokusu. Na konci pokusů byla rychlost transpirace ve výši $1,99 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, tedy o $0,18 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ nižší než u nenapadených rostlin.

Graf 5 dále ukazuje průběh rychlosti fotosyntézy a transpirace při infekci rzi travní. Výrazný pokles lze sledovat u obou sledovaných veličin. Rychlost fotosyntézy se významně snížila již 6. den od inokulace ($0,99 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a 9. den až o $3,06 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, přičemž u neinfikovaných listů byla rychlost fotosyntézy ve výši $14,62 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. V případě rychlosti transpirace byl zaznamenán bezprostředně po infekci její nárůst z hodnoty

2,17 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ na hodnotu 2,46 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (3. den). Na konci pokusu, tedy 9. den od samovolné inokulace byl zaznamenán naopak pokles transpirace na hodnotu 1,85 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

Rostliny pšenice odrůdy Julie měly před inokulací rží plešovou rychlost fotosyntézy ve výši 15,15 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ a rychlost transpirace 2,57 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, jak je patrné z grafu 6. První pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán 3. a 6. den po inokulaci, kdy se rychlost fotosyntézy snížila v porovnání s nenapadenými listy o 0,26 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ a 0,45 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹. Po 9 dnech od infekce listů této odrůdy rží plešovou byl zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy na hodnotu 13,70 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹.



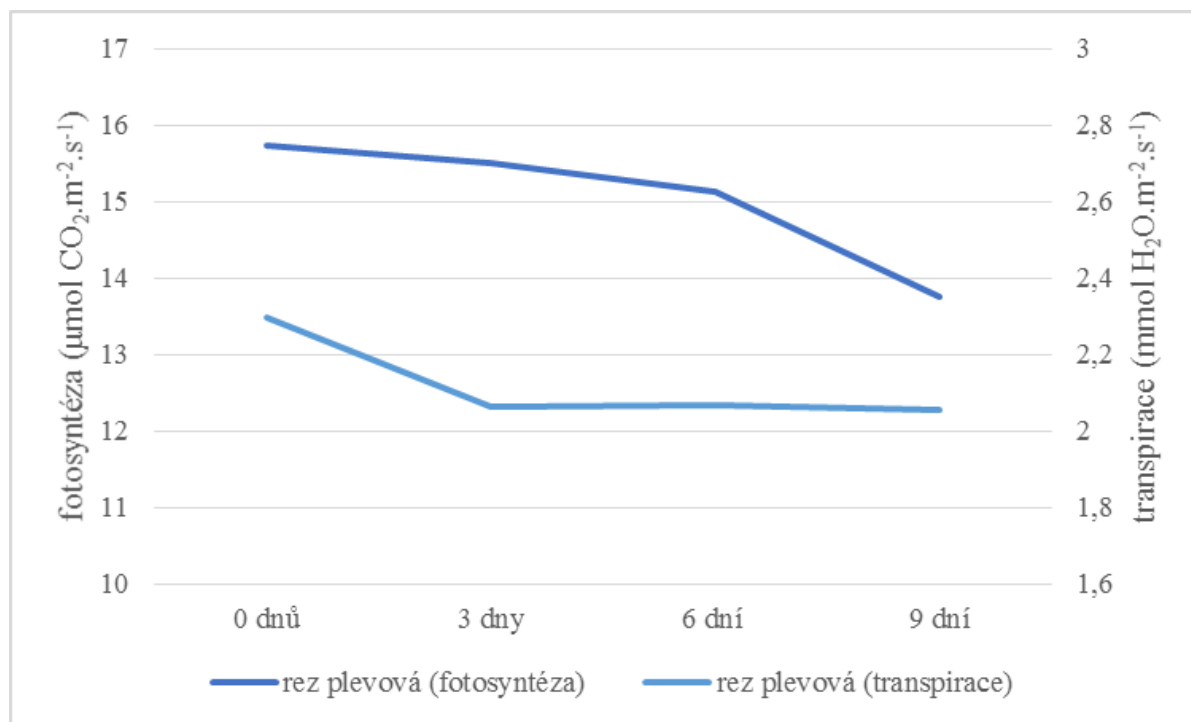
Graf 6: Průběh rychlosti fotosyntézy (μmol CO₂.m⁻².s⁻¹) a transpirace (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) u odrůdy Julie při infekci rží plešovou a rží travní.

V případě rychlosti transpirace byl nejprve zaznamenán 3. den po inokulaci výrazný pokles rychlosti transpirace na hodnotu 2,17 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Avšak 6. den infekce se rychlost transpirace zvýšila o 0,11 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ oproti měření 3 dny po inokulaci (2,17 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Devátý den od inokulace byla zaznamenána hodnota transpirace ve výši 2,21 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

V případě infekce rží travní lze konstatovat, že rychlost fotosyntézy se pozvolna snižovala až na hodnotu 11,97 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹, která byla naměřena 9. den od inokulace. Rychlost transpirace naproti tomu vykazovala odlišný trend, kdy bylo nejprve zaznamenáno

její zvýšení na $2,98 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (3. den). Toto zvýšení bylo vystřídáno výrazným poklesem, který byl následně opět vystřídán výrazným zvýšením transpirace až na hodnotu $2,53 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (9. den). Tato hodnota byla též naměřena v období před infekcí patogenem.

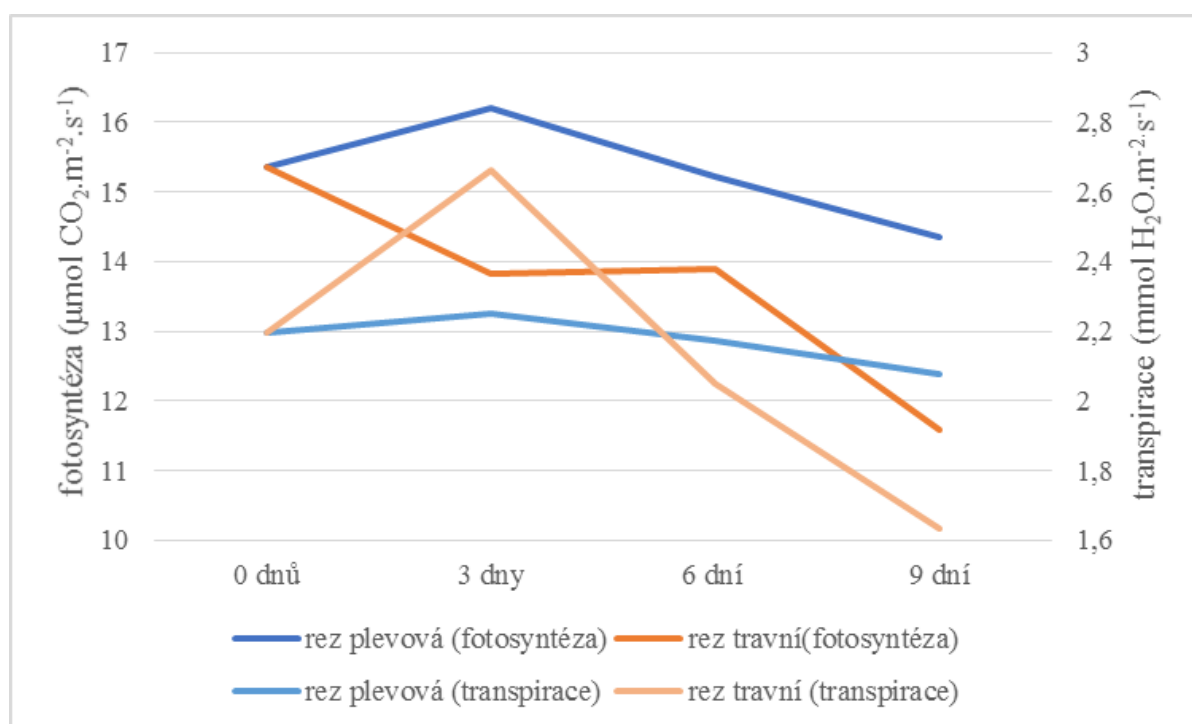
Z grafu 7 je možné vysledovat, že rychlost fotosyntézy a transpirace při infekci rzí plevovou u odrůdy Pankratz nabyla obdobné křivky jako například u předešlé odrůdy Julie. Na neinfikovaných rostlinách byla naměřena rychlost fotosyntézy $15,74 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a rychlost transpirace $2,29 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Třetí a šestý den od inokulace se rychlost fotosyntézy nepatrně snížila a to na hodnotu $15,51 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respektive $15,13 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Výrazný pokles o $1,98 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ oproti nenapadeným listům byl zaznamenán při měření 9 dní od inokulace, kdy rychlost fotosyntézy byla $13,76 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



Graf 7: Průběh rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u odrůdy Pankratz při infekci rzí plevovou.

Nejvýrazněji poklesla rychlost transpirace 3. den po inokulaci, kdy hodnota klesla o $0,23 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ oproti neinfikovaným rostlinám ($2,06 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Následné termíny měření vykazují stabilní hodnoty rychlosti transpirace. V tomto období byla rychlost transpirace ve výši $2,06 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jak dokládá graf 7.

Z grafu 8 je patrné, že při stresovém působení rzí plevovou a rzí travní dochází u odrůdy Rumor ke snížení rychlosti výměny plynů. Nenapadené rostliny měly rychlost fotosyntézy $15,36 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a rychlost transpirace $2,20 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Průběh reakce rostlin na infekci rzí plevovou byl obdobný jako například u odrůdy Gordian, kdy se rychlost fotosyntézy nejprve zvýšila o $0,84 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ oproti nenapadeným listům, avšak po 6 dnech od inokulace byla naměřena hodnota $15,21 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a 9. den byl zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy oproti neinfikovaným listům o $1,02 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na hodnotu $14,34 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.



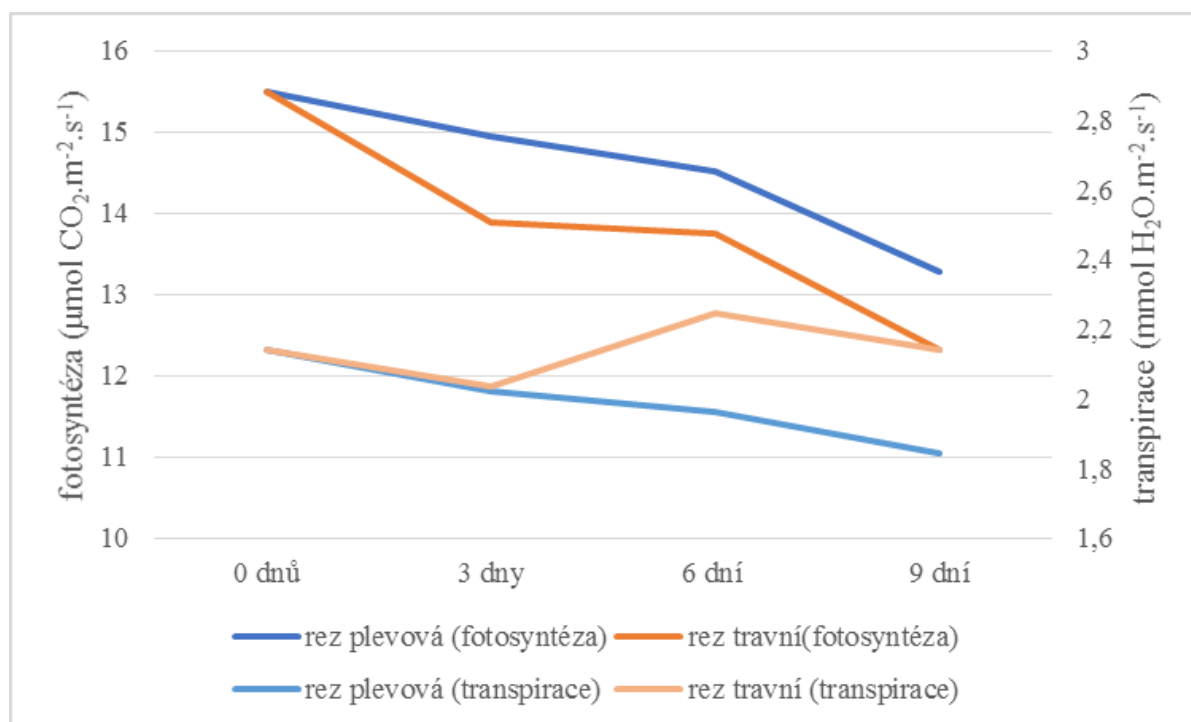
Graf 8: Průběh rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) u odrůdy Rumor při infekci rzí plevovou a rzí travní.

Rychlost transpirace se nejprve zvýšila z hodnoty $2,20 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na hodnotu $2,25 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (3. den od inokulace). Avšak v následujících termínech měření se snížila v porovnání s neinfikovanými listy o $0,12 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (9. den).

Graf 8 dále ukazuje průběh rychlosti fotosyntézy a transpirace listů pšenice seté odrůdy Rumor po infekci rzí travní. Pokles rychlosti transpirace a fotosyntézy lze sledovat od 6. dne od inokulace. Rychlost fotosyntézy po 3 dnech od inokulace klesla o $1,54 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ oproti nenapadeným listům, 6. den nepatrně vzrostla o $0,07 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ oproti předchozímu měření, ovšem 9. den byla naměřena hodnota $11,58 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. U

rychlosti transpirace byl nejprve zaznamenán nárůst o 0,47 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, 9. den se ovšem rychlost transpirace ztelně snížila až na 1,63 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

Z grafu 9 je možné vysledovat, že rychlost fotosyntézy i rychlost transpirace při infekci rzí plevovou u odrůdy Sailor postupně klesala a ve sledovaných dnech nedošlo k nárůstu rychlosti vzhledem k předchozím měřením. Rychlost fotosyntézy tedy z hodnoty 15,50 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ naměřené u neinfikovaných rostlin, klesala postupně na 14,95 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ po 3 dnech od inokulace a 14,52 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ 6. den od inokulace až na hodnotu 13,28 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹, která byla zaznamenána 9. den od inokulace.



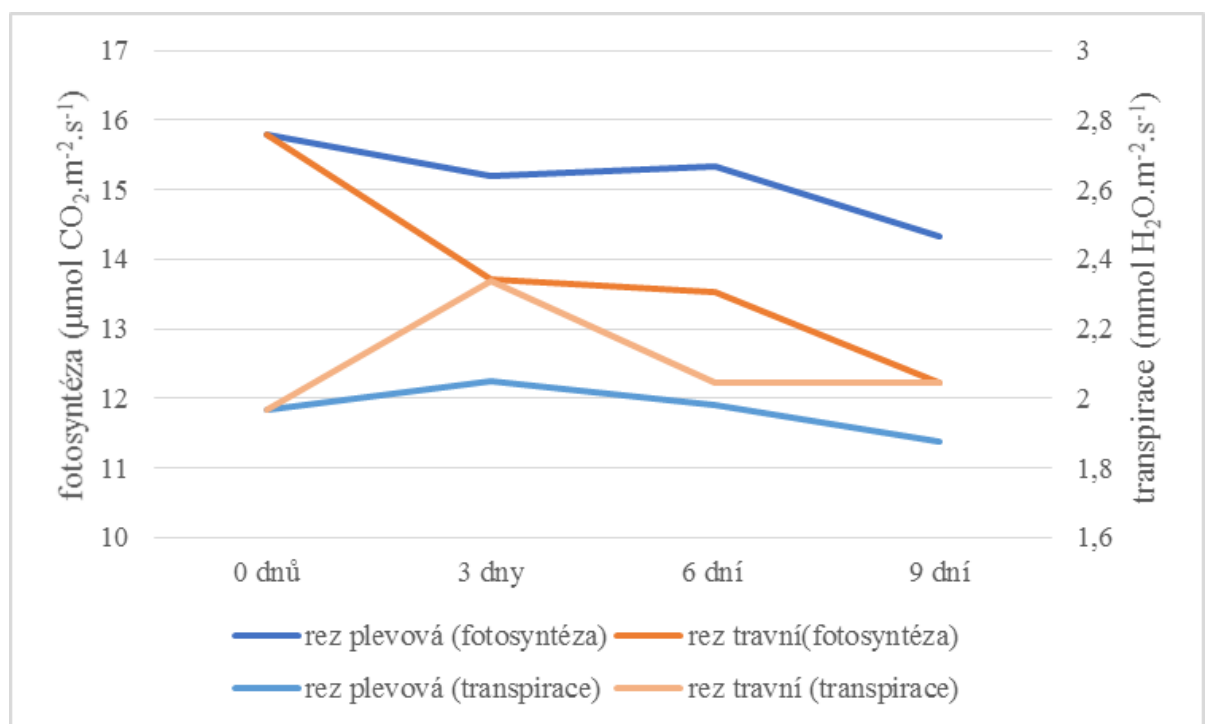
Graf 9: Průběh rychlosti fotosyntézy (μmol CO₂.m⁻².s⁻¹) a transpirace (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) u odrůdy Sailor při infekci rzí plevovou a rzí travní.

Nenapadené listy měly rychlost transpirace 2,14 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, zatímco již 3. den od inokulace transpirace klesla o 0,12 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, 6. den o 0,18 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ oproti neinfikovaným listům a 9 dní od inokulace byla naměřena hodnota 1,84 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

Rychlost fotosyntézy pšenice seté odrůdy Sailor se vlivem infekce rzí travní snižovala. U listů neinfikovaných byla fotosyntéza ve výši 15,50 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹. V období mezi 3. a 9. dnem od inokulace byla rychlost fotosyntézy relativně stabilní a její hodnota byla 13,88 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ a 13,75 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹. Devět dní od inokulace byl zaznamenán pokles o 3,19 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ oproti nenapadeným listům. Rychlost transpirace nejprve 3.

den od inokulace klesla o $0,1 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ oproti neinfikovaným rostlinám ($2,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Tento pokles byl vystřídán nárůstem ve stejné výši, jaký byl pokles. Na konci sledovaného období se opět rychlost transpirace snížila na hodnotu $2,14 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Odrůda Tobak vykazovala vyrovnanou rychlosti fotosyntézy i transpirace při infekci obou druhů rzi, jak dokládá graf 10. Rychlost fotosyntézy nenapadených listů u infekce rzi plevovou činila $15,79 \text{ } \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Tři dny po inokulaci byla naměřena hodnota $15,20 \text{ } \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 6. den od inokulace $15,34 \text{ } \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Výraznější pokles byl zaznamenán 9 dnů od inokulace, a to o $1,47 \text{ } \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ oproti neinfikovaným listům.



Graf 10: Průběh rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u odrůdy Tobak při infekci rzi plevovou a rzi travní.

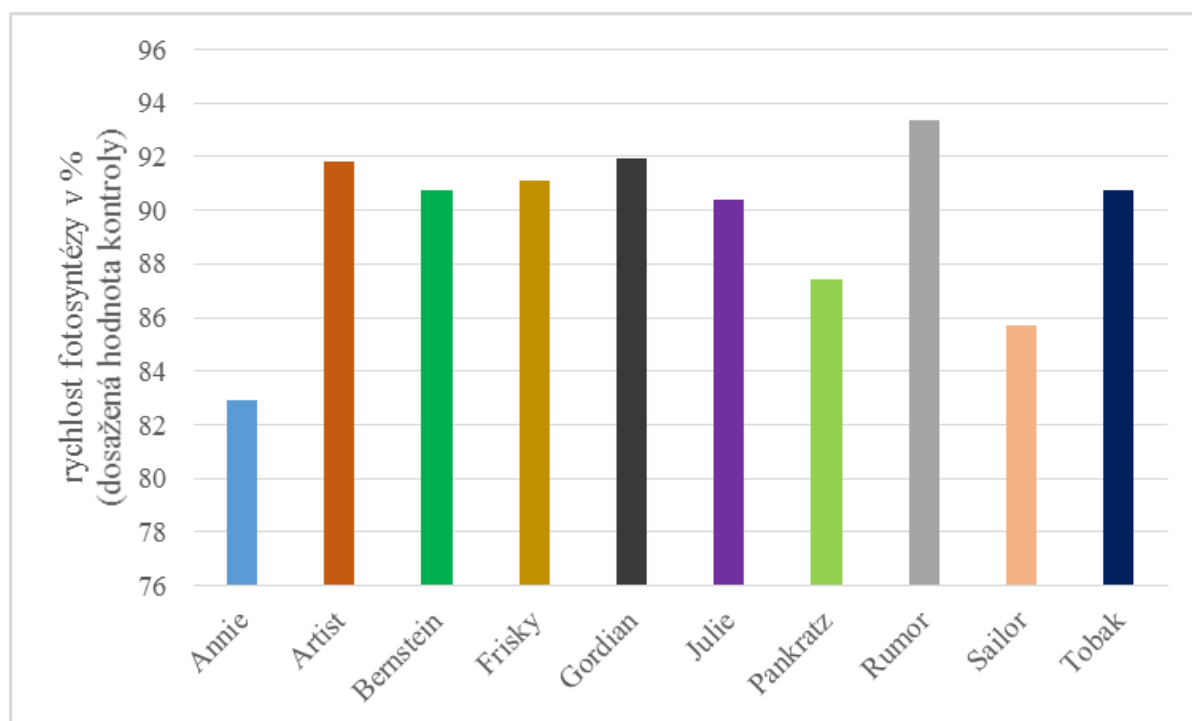
Rychlost transpirace se nejprve zvýšila z $1,97 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (neinfikované listy) na $2,05 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (3. den po inokulaci). Poté byl zaznamenán pokles transpirace až do konce sledovaného období, kdy na konci pokusu byla rychlost transpirace ve výši $1,88 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

V případě napadení listů rzi travní byl zaznamenán rovněž pokles rychlosti fotosyntézy i transpirace. Rychlost fotosyntézy se po 3 dnech od inokulace snížila na $13,70 \text{ } \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ v porovnání s neinfikovanými rostlinami se jedná o pokles ve výši $2,09 \text{ } \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. A tento pokles je možné zaznamenat, viz graf 10, až do konce

sledovaného období. Na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši 12,23 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost transpirace se nejprve zvýšila na 2,34 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, z hodnoty 1,97 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Až do konce sledovaného období je možné zaznamenat pokles transpirace na konečnou hodnotu 2,04 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

5.2 Porovnání sledovaných odrůd

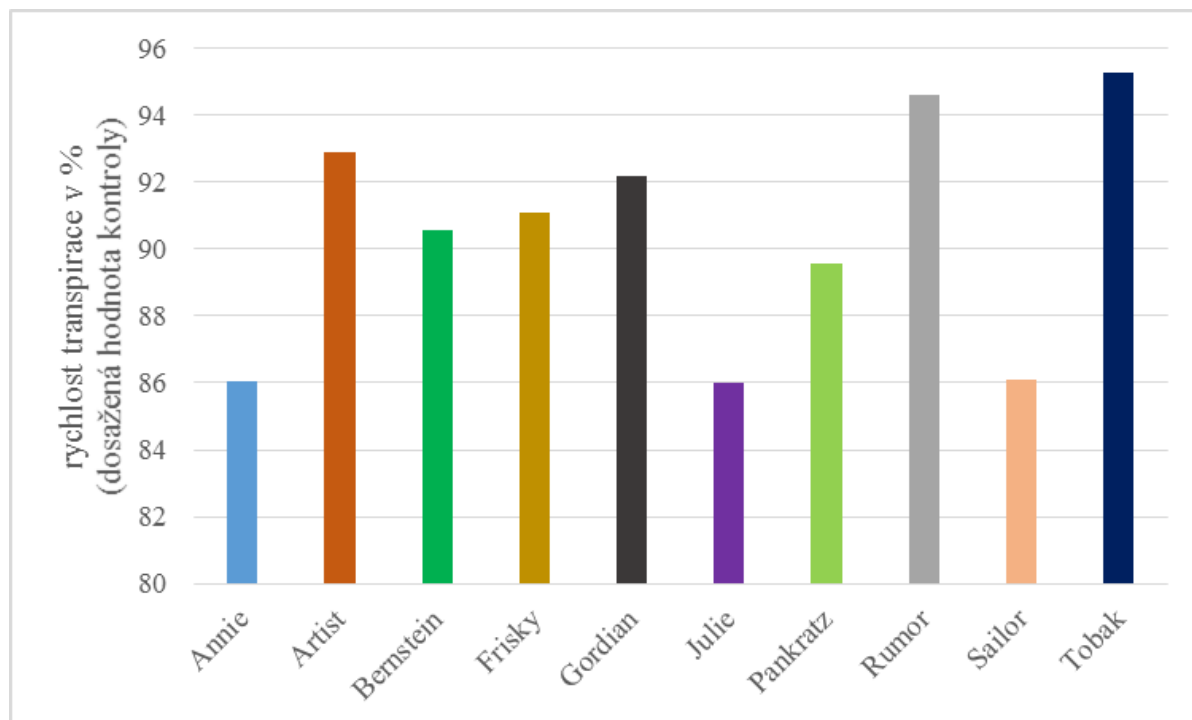
V grafu 11 jsou uvedeny průměrná hodnota rychlosti fotosyntézy v rámci pokusných odrůd pšenice seté a působení biotického stresu. Z uvedeného grafu je patrné, že u všech sledovaných odrůd byl zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy oproti nenapadeným rostlinám.



Graf 11: Rychlost fotosyntézy po 9 dnech od inokulace rzí plevovou.

U sedmi odrůd byl pokles rychlosti fotosyntézy v porovnání s kontrolou nižší než 10 %. Jedná se o tyto odrůdy: Artist, Bernstein, Frisky, Gordian, Julie, Rumor, Tobak, přičemž nejnižší pokles fotosyntézy byl zaznamenán u odrůdy Rumor, a to 6,63 % a nejvyšší u odrůdy Annie, o 17,07 %. Pokles fotosyntézy vyšší než 10 % byl zjištěn u 3 odrůd pšenice, a to u odrůd Annie (17,07 %), Sailor (14,27 %) a Pankratz (12,6 %).

Graf 12 demonstruje rychlost transpirace všech 10 sledovaných odrůd pšenice seté v závislosti na 9 denním stresovém působení rzí plevovou. Je patrné, že u všech odrůd byl zaznamenán pokles v rychlosti transpirace oproti kontrolní variantě. Z uvedeného grafu vyplývají meziodrůdové rozdíly v reakci na biotický stres.

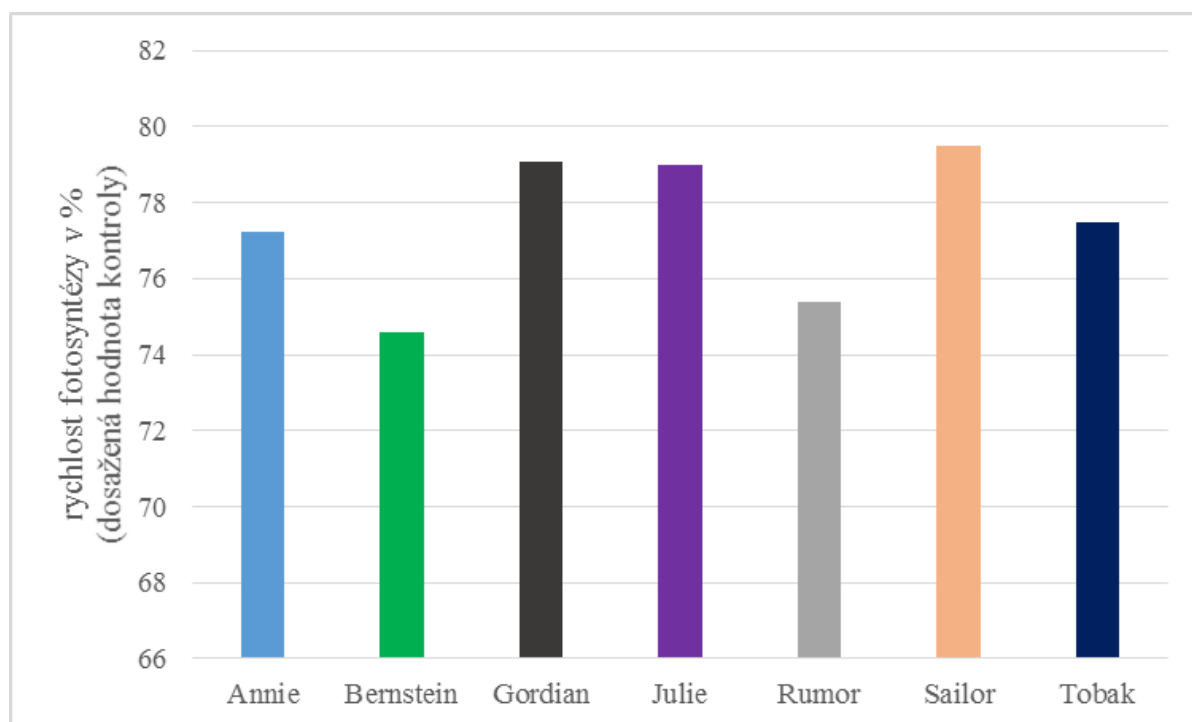


Graf 12: Rychlost transpirace po 9 dnech od inokulace rzí plevovou.

Nejnižší pokles rychlosti transpirace oproti neinfikovaným rostlinám byl naměřen u odrůd Tobak (4,74 %), Rumor (5,42 %) a Artist (7,11 %). Za zmínku jistě stojí také to, že odrůdy Rumor i Artist vykazovaly nejlepší výsledky také v měření rychlosti fotosyntézy. Naopak největší rozdíl v rychlosti transpirace oproti neinfikovaným rostlinám lze pozorovat u odrůd Julie (13,98 %), Annie (13,96 %) a Sailor (13,89 %).

Z grafu 11 a z grafu 12 je tedy patrné, že nejvyšší pokles oproti neinfikovaným rostlinám jak v rychlosti fotosyntézy, tak v rychlosti transpirace byl zaznamenán u odrůd Annie a Sailor.

Průměrná rychlost fotosyntézy sedmi vybraných odrůd pšenice seté v závislosti na působení rzi travní je uvedena v grafu 13. Z tohoto grafu vyplývá, že rychlost fotosyntézy se vlivem infekce snižuje u všech sledovaných odrůd v porovnání s neinfikovanými rostlinami.

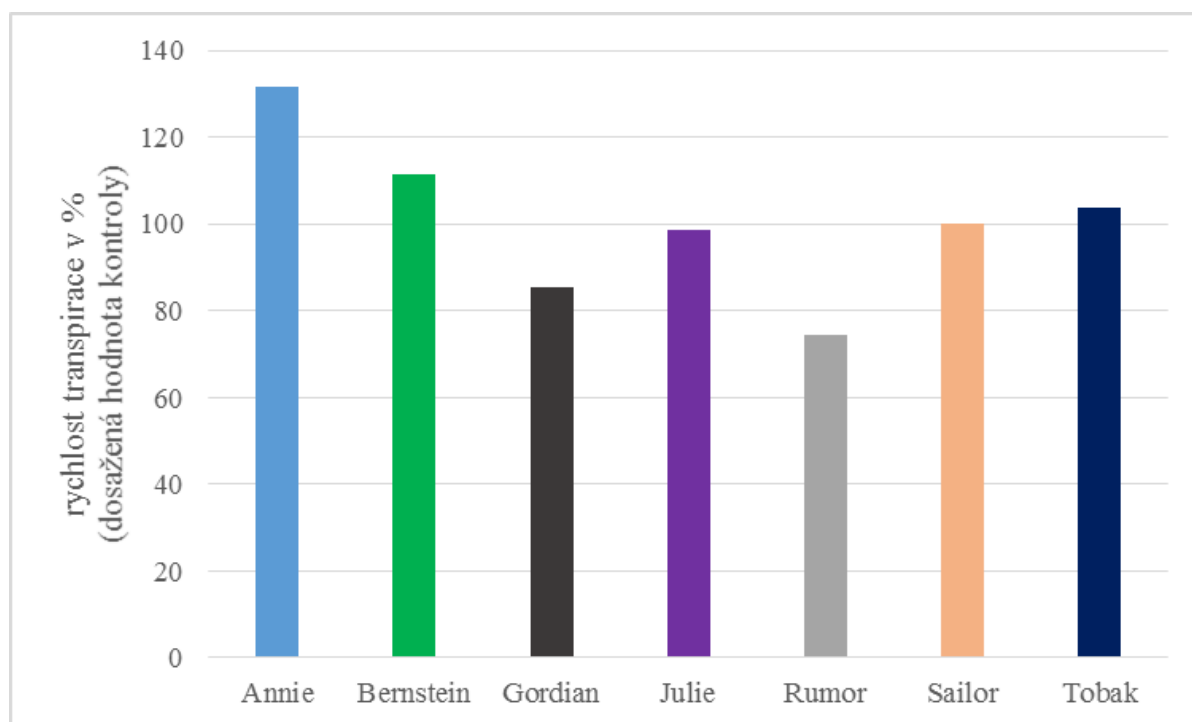


Graf 13: Rychlost fotosyntézy po 9 dnech od inokulace rzi travní.

U infekce rzi travní měly všechny sledované odrůdy pšenice úroveň rychlosti fotosyntézy pod 80 % neinfikovaných listů, jak je patrné z grafu 13. Nejvyšší pokles byl naměřen u odrůdy Bernstein (25,41 %) a Rumor (24,60 %). Právě u odrůdy Rumor byl přitom u infekce rzi plevovou zaznamenán nejnižší pokles v rychlosti fotosyntézy, jak dokládá graf 13.

Naopak nejnižší rozdíl rychlosti fotosyntézy oproti stresovaným rostlinám byly naměřeny u odrůd Sailor (20,53 %), Gordian (20,92 %) a Julie (21,01 %). Opět lze vysledovat opačný trend než u infekce rzi plevovou, kdy odrůda Sailor napadená rzi plevovou zaznamenala nejvyšší pokles v rychlosti fotosyntézy oproti infikovaným rostlinám, jak je patrné z grafu 11.

V grafu 14 je uvedena rychlost transpirace 7 odrůd v závislosti na 9 denním stresovém působení rží travní. Na rozdíl od předchozích srovnání, rychlost transpirace u 4 sledovaných odrůd překonala variantu zdravých nenapadených rostlin. Nejvýraznější změna oproti kontrole byla zjištěna u odrůdy Annie, kdy transpirace byla vyšší v porovnání s kontrolou o 31,75 %, u odrůdy Bernstein (11,52 %) a Tobak – (3,94 %). Ve shodě s předcházejícími výsledky je možné konstatovat, že byl zjištěn vliv rží travní na sledované charakteristiky a meziodrůdový vliv. Zajímavý výsledek byl zjištěn u odrůdy Annie, u které po napadení rží plevovou se rychlost transpirace snížila v porovnání s kontrolou o 13,96 %, kdežto v případě napadení rží travní se naopak transpirace zvýšila o 31,75 %.



Graf 14: Rychlost transpirace po 9 dnech od inokulace rží travní.

Naopak nejvyšší pokles byl naměřen u odrůdy Rumor (25,66 %) oproti neinfikovaným rostlinám. Přitom infekce rží plevovou znamenala u této odrůdy, jak je patrné z grafu 12, pokles oproti nenapadeným listům pouze o 5,42 %.

6 Diskuze

6.1 Vliv rzi plevové na výměnu plynů

Ze získaných výsledků jednoznačně vyplývá, že infekce rzi plevovou snižuje rychlost fotosyntézy a rychlost transpirace v listech pšenice seté. Z 10 sledovaných odrůd nebyl zaznamenán ani jeden případ, kdy by se po 9 dnech od inokulace urediniosporami rzi plevové nesnížila rychlost fotosyntézy nebo rychlost transpirace.

K podobným závěrům ve své práci dospěl i Smith et al. (1986), kteří konstatují, že infekce rzi plevovou ovlivňuje především biochemické procesy v rostlině, rychlost fotosyntézy a asimilaci důležitých látek. Podobně i Wang et al. (2004) uvádí, že 7 dní od inokulace urediniosporami rzi plevovou dochází k poklesu vody v listech, k poklesu obsahu chlorofylu a k poklesu aktivity fotosystému II. Dále uvádí, že míra poškození patogenem úzce souvisí a negativně ovlivňuje rychlost fotosyntézy a transpirace.

Průměrný pokles v rychlosti fotosyntézy všech 10 hodnocených odrůd pšenice seté po 9 dnech od inokulace rzi plevovou byl o $1,61 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ oproti neinfikovaným listům a průměrný pokles v rychlosti transpirace byl o $0,22 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ oproti neinfikovaným listům. Obdobné závěry u fazolu obecného při infekci rzi fazolovou, udávají Lopes et Berger (2001), kdy zaznamenali po 6 - 7 dnech pokles v rychlosti fotosyntézy průměrně o $1,96 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jak uvádí Chen et al. (2002) ideální teplotní rozmezí pro rozvoj rzi plevové na rostlině je $13-18 \text{ }^\circ\text{C}$ a vysoká vzdušná vlhkost kolem $70-80 \%$. Měření napadených rostlin proběhlo ve dnech 6. 6. – 21. 6. a při porovnání s tab. 1 a tab. 2 lze konstatovat, že rez plevová měla jak ve výzkumném ústavu Praha – Ruzyně (průměrná teplota – $17,6 \text{ }^\circ\text{C}$, úhrn srážek – $39,3 \text{mm} \cdot \text{m}^2$), tak ve šlechtitelské stanici Selgen, Stupice (průměrná teplota – $16,7 \text{ }^\circ\text{C}$, úhrn srážek – $48,6 \text{mm} \cdot \text{m}^2$) ideální podmínky pro svůj rozvoj.

Hanzalová et Bartoš (2015) uvádějí, že u 12 odrůd pšenice byla zaznamenána rozdílná redukce výnosu při napadení rzi plevovou, a to mezi $0,8 - 76,8 \%$. Také v této bakalářské práci byly zaznamenány rozdíly mezi jednotlivými odrůdami v poklesu rychlosti fotosyntézy a rychlosti transpirace. V rámci rychlosti fotosyntézy, byl nejnižší rozdíl oproti nenapadeným listům naměřen u odrůdy Rumor, o $1,0 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Pokles o méně jak $1,5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ byl zaznamenán u odrůd Artist, Bernstein, Frisky, Gordian, Julie a Tobak.

Naopak nejvyšší rozdíl v rychlosti fotosyntézy oproti zdravým rostlinám byl naměřen u odrůd Annie – 2,61 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a Sailor – 2,22 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Nejnižší rozdíl v rychlosti transpirace oproti neinfikovaným listům byl naměřen u odrůdy Tobak – 0,1 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U odrůd Artist, Gordian a Rumor byl zaznamenán pokles nižší než 0,2 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejvyšší rozdíl byl naopak zjištěn u odrůdy Julie, u které rychlost transpirace poklesla o 0,36 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, a u odrůdy Annie – 0,31 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

U odrůd Bernstein, Frisky, Gordian a Rumor byl po 3 dnech od inokulace nejprve zaznamenán nárůst rychlosti fotosyntézy, a to v průměru o 0,5 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento fakt potvrzuje Chang et al. (2013), kdy tvrdí, že zatímco převážná část patogenů odebírá z rostliny důležité sacharidy a připravuje tak rostlinu o využitelnou energii, infekce *Puccinia striiformis* může vést ke zvýšení produkce fotosyntézy, a tím pádem ke kumulaci sacharidů v napadených listech. Jedná se tedy o záměrnou interakci mezi patogenem a hostitelem, kdy rez plevová využívá rostlinu k produkci energeticky bohatých sacharidů.

6.2 Vliv rzi travní na výměnu plynů

Obdobně jako u infekce rzi plevovou i u infekce rzi travní lze vysledovat pokles v rychlosti fotosyntézy po 9 dnech od inokulace u všech 7 odrůd, na kterých se samovolně vyskytla rez travní. Průměrný pokles v rychlosti fotosyntézy byl 3,46 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ oproti nenapadeným rostlinám. Při porovnání s výsledky infekce rzi plevovou, kdy byl průměrný pokles v rychlosti fotosyntézy 1,61 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, lze vysledovat trend, kdy infekce rzi travní působí na rychlost výměny plynů s větší agresivitou a v kratším čase dokáže rostlinu více poškodit než rez plevová, u které je nástup infekce pozvolnější. Což potvrzují také Hanzalová et Bartoš (2008), kteří uvádějí, že rez travní způsobuje značné ztráty zejména vzhledem k pozdním a náhlým výskytům.

Jak uvádí Schumann et Leonard (2000) ideální teplotní rozmezí pro rozvoj rzi travní jsou horké dny s teplotami 25 – 30 °C a noci s teplotami 15 – 20 °C a vlhké listy od deště či rosy. Měření napadených rostlin se uskutečnilo ve dnech 21. 6. – 30. 6. a při porovnání s tab. 1 a tab. 2 lze konstatovat, že rez travní měla jak ve výzkumném ústavu Praha – Ruzyně (průměrná teplota – 20,2 °C, úhrn srážek – 19,8 $\text{mm}\cdot\text{m}^2$), tak ve šlechtitelské stanici Selgen, Stupice (průměrná teplota – 20,9 °C, úhrn srážek – 20,1 $\text{mm}\cdot\text{m}^2$) ideální podmínky pro svůj rozvoj.

K podobným závěrům, které jsou prezentovány v této bakalářské práci, dospěl i Livne (1964), který ve své práci dokládá, že pšenice setá infikovaná rzí plevovou snížila rychlost fotosyntézy oproti nenapadeným rostlinám po 5 dnech od inokulace o 88%, po 7 dnech o 77% a po 11 dnech o 69%. Pokles o $3,46 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, který byl naměřen v rámci této bakalářské práce, po 9 dnech od inokulace byla zaznamenána úroveň snížení fotosyntézy na 77,5 % úrovně fotosyntézy kontrolních rostlin.

Berghaus et Reisener (1985) uvádějí ve své práci, že obsah chlorofylu v listech pšenice seté zaznamenal nevýraznější pokles 4 – 5 dní od inokulace rzí travní a s ním spojenou změnu rychlosti fotosyntézy. Tento závěr naměřené hodnoty v této bakalářské práci potvrzují u 3 ze 7 sledovaných odrůd a to konkrétně u Annie, Sailor a Tobak, kdy nejvyšší pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán ihned při prvním měření. Zatímco odrůdy Bernstein, Gordian, Julie a Rumor zaznamenaly největší pokles v rychlosti fotosyntézy až 9. den od inokulace.

U rychlosti transpirace, ze získaných údajů vyplývá, že ne u všech sledovaných odrůd došlo po 9 dnech od inokulace rzí travní k poklesu rychlosti transpirace. Na tento jev upozorňují Schumann et Leonard (2000), kteří konstatují, že urediniospory rzí travní potřebují dostatek volné vody a otevřené průduchy k tomu, aby se infekce mohla dostat dovnitř buněk. Z tohoto důvodu je pro patogen výhodné, pokud rychlost transpirace neklesá a výdej vody přes listy dále pokračuje. Nárůst rychlosti transpirace po 9 dnech od inokulace rzí travní byl zaznamenán u odrůd Annie o $0,69 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ oproti nenapadeným listům, Bernstein o $0,26 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a Tobak o $0,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Obecně ovšem rychlost transpirace u ostatních odrůd nezaznamenala takový pokles jako rychlost transpirace při infekci rzí plevovou.

7 Závěr

V bakalářské práci byl sledován a hodnocen vliv listové infekce rzi plevové a v menší míře také rzi travní na výměnu plynů pšenice seté. Vybráno bylo celkem 10 odrůd (Annie, Artist, Bernstein, Frisky, Gordian, Julie, Pankratz, Rumor, Sailor a Tobak), u kterých byla sledována rychlost fotosyntézy a transpirace. Na 7 z nich (Annie, Bernstein, Gordian, Julie Rumor, Sailor a Tobak) byl hodnocen vliv rzi travní. Ze získaných výsledků vyplývají tyto závěry:

- Infekce rzi plevovou snižuje u všech sledovaných odrůd rychlost fotosyntézy a rychlost transpirace.
- Nejnižší pokles v rychlosti fotosyntézy po 9 dnech stresového působení rzi plevovou byl zaznamenán u odrůdy Rumor ($1,0 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), naopak nejvyšší pokles u odrůdy Annie ($2,61 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Nejnižší pokles v rychlosti transpirace po 9 dnech stresového působení rzi plevovou byl zaznamenán u odrůdy Tobak ($0,1 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), naopak nejvyšší pokles u odrůdy Julie ($0,36 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Infekce rzi travní snižuje u všech sledovaných odrůd rychlost fotosyntézy, avšak rychlost transpirace byla u některých odrůd zvýšena.
- Nejnižší pokles v rychlosti fotosyntézy po 9 dnech stresového působení rzi travní byl zaznamenán u odrůdy Sailor ($3,18 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), naopak nejvyšší pokles u odrůdy Bernstein ($3,98 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).
- V případě napadení rzi travní je možné zaznamenat odlišné reakce na tento patogen v rámci rychlosti transpirace, kdy například u odrůdy Annie byl zaznamenán nárůst transpirace ($0,7 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), naopak u odrůdy Rumor byl efekt opačný a pokles v rámci sledovaných odrůd nejvyšší ($0,56 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Infekce rzi travní působí s vyšší agresivitou a v kratším časovém úseku než infekce rzi plevovou.
- Ze získaných výsledků vyplývá, že jako šlechtitelský materiál pro šlechtění na odolnost vůči rzi plevové lze vybrat odrůdy Rumor, Artist, či Gordian, naopak pro šlechtění na odolnost vůči rzi travní odrůdy Sailor či Julie.
- Odrůda Tobak zaznamenala obdobné výsledky jak v odezvě na působení rzi plevovou, tak na působení rzi travní.

8 Seznam použité literatury

- Ali, S., Gadieu, X.P., Leconte, M., Gautier, A., Justesen, A.F., Hovmøller, M.S., DeValavielle-Pope, C. 2014. Origin, migration routes and worldwide population genetic structure of the yellow rust pathogen *Puccinia striiformis* sp. *tritici*. *PLoS Pathog.* 10 (1). e1003903.
- Ashraf, M., Harris, P. J. C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica.* 51 (2). 163-190.
- Berghaus, R., Reisener, H. J. 1985. Changes in photosynthesis of wheat plants infected with wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). *Journal of Phytopathology.* 112 (2). 165-172.
- Bezdíčková, A. 2016. Vliv fungicidního ošetření na výnos pšenice v různých letech. *Úroda.* 63 (9). 26-31.
- Body, N. 2016. Jak zvýšit podporu rostlin půdními mikroorganismy. *Úroda.* 63 (2). 45-46.
- Bozkurt, T. O., McGrann, G. R., MacCormack, R., Boyd, L. A., & Akkaya, M. S. 2010. Cellular and transcriptional responses of wheat during compatible and incompatible race-specific interactions with *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Molecular plant pathology.* 11 (5). 625-640.
- Bushnell, W. R., Roelfs, A. P. 1984. *The cereal rust, Volume I, origins, specificity, structure and physiology.* Academic press, inc. Orlando. 546 p. ISBN: 0-12-148401-7.
- Cerkal, R. Stresy a produkční výkonnost polních plodin [online]. web2mendelu.cz 3. října 2011 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z http://web2mendelu.cz/af_291_sklad/habilitacni_prednasky/habilitacni_prednasky/habilitacni_prednaska_cerkal.pdf.
- Czyczyło-Mysza, I., Tyrka, M., Marcińska, I., Skrzypek, E., Karbarz, M., Dziurka, M., Quarrie, S. A. 2013. Quantitative trait loci for leaf chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll and carotenoid contents in relation to biomass and yield in bread wheat and their chromosome deletion bin assignments. *Molecular Breeding.* 32 (1). 189-210.

- Dostál, J. 1989. Nová květena ČSSR2. díl. Academia. Praha. 765-1548 p. ISBN: 80-200-0095.
- Doležal, K. Genová centra vzniku kulturních rostlin [online]. upol.cz 20. března 2006 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z <http://old.botany.upol.cz/prezentace/dolezal/centra.pdf>.
- Devadas, R., Lamb, D. W., Simpfendorfer, S., & Backhouse, D. 2009. Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precision Agriculture*. 10 (6). 459-470.
- eagri.cz, Databáze odrůd [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z <http://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouQF.do>.
- Hammond-Kosack, K. E., Jones, J. D. 1996. Resistance gene-dependent plant defense responses. *Plant Cell*. 8. 1773–1791.
- Hanzalová, A., Bartoš, P. 2008. Možnosti snížení ztrát působených rzemi na pšenici. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 44 p. ISBN: 978-80-87011-66-9.
- Hanzalová, A., Bartoš, P. 2015. Rez plevová na pšenici a ochrana proti ní. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 40 p. ISBN: 978-80-7427-184-7.
- Hanzalová, A., Bartoš, P. 2016. Rasy rzi pšeničné v České republice v letech 2011-2015. *Úroda, vědecká příloha*. 64 (12). 209-211.
- Hassebrauk, K. 1965. Nomenklatur, geographische Verbreitung und Wirtsbereich des Gelbrostes, *Puccinia striiformis* West. *Mitt Biol. Bundesanstalt Land-und Fortswirtschaft Berl. Dahlem*. 116. 1-75.
- Harlan, J. R. 1971. Agricultural origins: centers and noncenters. *Science*. 174 (4008). 468-474.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Holková, L., Holubec, V., Chuchma, F., Khel, T., Klimešová, J., Kosová, K., Krtková, J., Kukla, J., Kuklová, M., Prášil, I. T., Rožnovský, J., Středa, T., Středová, H., Urban, M. O., Vintřlíková, E., Vítámvás, P., Vopravil, J. 2016. Rostliny v podmínkách stresu – abiotické stresory. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 233 p. ISBN: 978-80-213-2680-4.
- Holá, D., Benešová, M., Honnerová, J., Hnilička, F., Rothová, O., Kočová, M., Hniličková, H. 2010. The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected

- towater deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybridprogeny? *Photosynthetica*. 48. 545-558.
- Hosnedl, V. 2008. Pšenice – od genomu po rohlík. Nakladatelství Kurent, s.r.o. České Budějovice. 184 p. ISBN: 978-80-87111-12-3.
- Hovmøller, M. S., Sørensen, C. K., Walter, S., Justesen, A. F. 2011. Diversity of *Puccinia striiformis* on Cereals and Grasses. *Phytopathology*. 49 (1). 197-217.
- Hovmøller, M. S., Yahyaoui, A. H., Milus, E. A., Justesen, A. F. 2008. Rapid global spread of two aggressive strains of a wheat rust fungus. *Molecular Ecology*. 17 (17). 3818-3826.
- Hrbek, J. Osevní plochy ozimých plodin pro sklizeň v roce 2017 [online]. *czso.cz*. 30. listopadu 2016 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z <https://www.czso.cz/csu/czso/osevni-plochy-ozimych-plodin-pro-sklizen-v-roce-2017>.
- Chakraborty, S., Luck, J., Hollaway, G., Fitzgerald, G., White, N. 2011. Rust-proofing wheat for a changing climate. *Euphytica*. 179 (1). 19-32.
- Chang, Q., Liu, J., Wang, Q., Han, L., Liu, J., Li, M., Kang, Z. 2013. The effect of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* on the levels of water-soluble carbohydrates and the photosynthetic rate in wheat leaves. *Physiological and molecular plant pathology*. 84. 131-137.
- Chen, X. M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 27 (3). 314-337.
- Chen, X., Moore, M., Milus, E. A., Long, D. L., Line, R. F., Marshall, D., Jackson, L. 2002. Wheat stripe rust epidemics and races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the United States in 2000. *Plant Disease*. 86 (1). 39-46.
- Chester, K. S. (1946). The nature and prevention of the cereal rusts as exemplified in the leaf rust of wheat. The nature and prevention of the cereal rusts as exemplified in the leaf rust of wheat.
- Jenks, M. A. et. Hasegawa, P. M. (Eds.). 2005. Plant abiotic stress. Blackwell Publishing Ltd. Oxford. 290 p. ISBN: 978-14051-2238-2.
- Kazda, J., Mikulka, J., Prokinová, E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin. Profi Press s.r.o. Praha. 399 p. ISBN: 978-80-86726-34-2.

- Kirk, P. M., Cannon, P. F., David, J. V., Stalpers, J. A. 2001. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi, ninth edition. CAB International. Wallingford. 655 p. ISBN: 085199377.
- Kislev, M. E. 1982. Stem rust of wheat 3300 years old found in Israel. *Science*. 216 (4549). 993-994.
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer Science & Business Media. Berlín. 517p. ISBN: 3-540-43516-6.
- Leonard, K. J., Szabo, L. J. 2005. Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. *Molecular plant pathology*. 6 (2). 99-111.
- Lichtenhaler, H.K. 1998. The Stress Concept in Plants. An Introduction. *Annals of the New York Academy of the Sciences*. 851. 187–198.
- Liu, M, Hambleton, S. 2010. Taxonomic study of stripe rust, *Puccinia striiformis sensu lato*, based on molecular and morphological evidence. *Fungal Biol*. 114 (10). 881–899.
- Livne, A. 1964. Photosynthesis in healthy and rust-affected plants. *Plant Physiology*. 39 (4). 614.
- Martinek, P., Jirsa, O. 2016. Výnos a výnosový potenciál pšenice. *Úroda*. 63 (3). 52-56.
- Mittler, R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in plant science*. 11 (1). 15-19.
- Pánková, K., Milec, Z., Tomková, L., Prášil, I., Snape, J.W. Vyhledávání a identifikace nových genů a alel ovlivňujících procesy kvetení pšenice pro dosahování vyšších výnosů v době měnícího se klimatu. [online]. cbks.cz. 21. října 2011 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z <http://www.cbks.cz/Rostliny2011/prispevky/PankovaMilecTomkova.pdf>.
- Primack, R. B., Kindlmann, P., Jersáková, J. 2001. Biologické principy ochrany přírody. Portál, s.r.o. Praha. 349 p. ISBN: 80-7178-552-0.
- Robert, C., Bancal, M. O., Ney, B., Lannou, C. 2005. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status. *New Phytologist*. 165 (1). 227-241.

- Roelfs, A. P., Singh, R. P., Saari, E. E. 1992. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Cimmyt. Mexiko. 81 p. ISBN: 968-6127-47-X.
- Selye, H. 1973. The Evolution of the Stress Concept: The originator of the concept traces its development from the discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic applications of syntoxic and catatoxic hormones. American scientist. 61 (6). 692–699.
- Schulze, E., Beck, E., Muller–Hohenstein, K. 2005. Plant Ecology. Springer. Berlin. Heidelberg.
- Schumann, G. L., Leonard, K. J. 2000. Stem rust of wheat (black rust). The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094. PHI-I-2000-0721-01.
- Smith, R. C. G., Heritage, A. D., Stapper, M., Barrs, H. D. 1986. Effect of stripe rust (*Puccinia striiformis* West.) and irrigation on the yield and foliage temperature of wheat. Field Crops Research. 14. 39-51.
- Šašková, D. 1993. Trávy a obilí. Artia. Praha. 64 p. ISBN: 80-85805-03-0.
- Wan, A., Zhao, Z., Chen, X., He, Z., Jin, S., Jia, Q., Bi, Y. 2004. Wheat stripe rust epidemic and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China in 2002. Plant Disease. 88 (8). 896-904.
- Wang, B. H., Huang, M. Y., Ma, Z. H., Wang, J. H. 2004. Effects of Stripe Rust on Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis of Winter Wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali—Sinica. 2. 024.
- Wellings, C. R. 2007. *Puccinia striiformis* in Australia: a review of the incursion, evolution, and adaptation of stripe rust in the period 1979–2006. Crop and Pasture Science. 58 (6). 567-575.
- Zheng, W., Huang, L., Huang, J., Wang, X., Chen, X., Zhao J., Guo J., Zhuang H., Qiu Ch., Liu J., Liu H., Huang X., Pei G., Zhan G., Tang Ch., Cheng Y., Liu M., Zhang J., Zhao Z., Zhang S., Han Q., Han D., Zhang H., Zhao J., Gao X., Wang J., Ni P., Dong W., Yang L., Yang H., Xu J., Zhang G., Kang Z. 2013. High genome heterozygosity and endemic genetic recombination in the wheat stripe rust fungus. Nature communications. 4. 1-11.