

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie



**Růst populace mšice *Metopolophium dirhodum* v závislosti na
vodním stresu živné rostliny.**

Bakalářská práce

Autor práce: Petr Cinek

Vedoucí práce: doc. RNDr. Pavel Saska, Ph.D.

Konzultanti: RNDr. Jiří Skuhrovec, Ph.D.

Mgr. Pavel Vítámvás, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Růst populace mšice *Metopolophium dirhodum* v závislosti na vodním stresu živné rostliny" 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 25. června 2020.

Poděkování

Během dvou let, kdy probíhaly pokusy k mé bakalářské práci, jsem ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby potkal mnoho skvělých lidí. Nikdy jsem se neseťkal s odpovědí ne, nemám čas, nemohu. Jistě by bylo nespravedlivé zde někoho jmenovat a na někoho „zapomenout“. Proto bych rád velmi poděkoval celému kolektivu vedeného doktorem Saskou a kolektivu vedeného doktorem Vítámvásem a samozřejmě především jim. Velmi si cením klidné a pohodové atmosféry a vážím si trpělivosti všech kolegů, když jsem něco nechytíl napoprvé.

Tato práce byla podpořena grantem GAČR 18-13174J Oповěď herbivora a rostliny na stres suchem – kombinace analýzy proteomu pšenice a demografie mšic, řešitel doc. RNDr. Pavel Saska, Ph.D.

Růst populace mšice *Metopolophium dirhodum* v závislosti na vodním stresu živné rostliny.

Souhrn

Globální změna klimatu se často projevuje nepravidelností vodních srážek, v důsledku čehož jsou pěstované plodiny vystaveny suchu a z následných adaptačních změn v takto stresovaných rostlinách mohou profitovat rostlinní škůdci.

Cílem této práce bylo sledovat vývoj obilní mšice kyjatky travní *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849) na rostlinách pšenice seté *Triticum aestivum* L. pěstované v laboratorních podmínkách v několika odlišných režimech zavlažování. Byly sledovány základní parametry populačního růstu této mšice v závislosti na zavlažování: doba vývoje od nymfy prvního instaru po dospělce, plodnost a celková délka života. Rostliny pšenice seté byly pěstovány zemině o vlhkosti (SWC) 40 %, 50 % a 70 % a tyto cílové hodnoty půdní vlhkosti byly udržovány zavlažováním jednou denně.

Vývoj mšic od nymfy prvního instaru po dospělce byl statisticky významně delší ve variantě s vlhkostí zeminy 50 %, neboli suchem více stresované, a naopak nestresované rostliny umožnily mšicím rychlejší vývoj. Počet nakladených nymf byl významně větší na rostlinách pěstovaných v 70 % půdní vlhkosti. Celková délka života mšic se pohybovala přibližně mezi 25 až 26 dny a nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi všemi třemi skupinami.

Populační dynamika mšice kyjatky travní na pšenici seté byla nejlepší na nestresovaných rostlinách pěstovaných v 70 % vlhkosti půdy. Naopak trvalý vodní stres SWC 50 % a SWC 40 % byl pro populační dynamiku mšic méně příznivý. To podporuje předchozí úvahy srovnávající kontinuální a přerušovaný vodní stres. Mšice mohou profitovat více z rostlin v přerušovaném vodním stresu ve srovnání se stresem kontinuálním a s nestresovanými rostlinami. Tato skutečnost by měla být zohledněna v dalších studiích.

Klíčová slova: kyjatka travní, pšenice setá, vodní stres, populační dynamika.

Population growth of the rose – grain aphid *Metopolophium dirhodum* under different regimes of water stressed host plant.

Summary

Global climate change is often manifested by irregularities in water precipitation as a result of which cultivated crops are exposed to drought, and plant pests can benefit from subsequent adaptation changes in such stressed plants.

The aim of this work was to monitor the development of cereal rose – grain aphid *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849) on wheat plants seed *Triticum aestivum* L. grown in laboratory conditions in several different irrigation models. The basic parameters of population growth of this aphid were monitored depending on irrigation: development, fecundity and longevity. Seed wheat plants were grown with moisture content (SWC) of 40 %, 50 % and 70 % and these soil moisture targets were maintained by irrigation once daily.

The development of aphids from the nymph of the first instar to the adult was statistically significantly longer in the variant with soil moisture of 50 %, and both, more stressed plants by drought, and unstressed plants allowed aphids to develop faster. The number of nymphs was significantly higher on plants grown in 70 % of soil moisture. The total life expectancy of aphids ranged from approximately 25 to 26 days and there were no statistically significant differences between all the three groups.

The population dynamics of the aphid grass on wheat seed were best on unstressed plants grown in 70% of the soil moisture. Conversely, permanent water stress SWC 50 % and SWC 40 % were less favourable to the population dynamics of aphids. This supports previous considerations comparing continuous and intermittent water stress. Aphids can benefit more from plants in intermittent water stress compared to continuous stress and to unstressed plants. This should be taken into account in other studies.

Keywords: rose – grain aphid, bread wheat, water stress, population dynamics.

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Klimatické změny	3
3.2 Vodní stres	5
3.3 Mšice	10
3.4 Hostitelské rostliny	14
3.5 Role vodního stresu ve vývoji herbivorního hmyzu a interakce hostitel – škůdce	15
4 Materiál a metodika	19
4.1 Materiál	19
4.1.1 Pěstební nádoby a zemina	19
4.1.2 Hostitelské rostliny	19
4.1.3 Mšice	19
4.2 Metody	20
5 Výsledky	23
5.1 Evapotranspirace	23
5.2 Přijetí hostitelské rostliny mšicemi	24
5.2.1 Uchycení mšic na rostlinách pšenice pěstovaných v různých SWC	24
5.2.2 Kladení na rostlinách pšenice pěstovaných v různých SWC	24
5.3 Vývoj, plodnost a celková délka života mšic	25
5.3.1 Vývoj mšic	25
5.3.2 Plodnost mšic	26
5.3.3 Celková délka života mšic	28
6 Diskuse	30
7 Závěr	32
8 Přehled literatury	33

1. Úvod

Klimatické změny, kterých jsme svědky v několika posledních desetiletích, jsou nesporné. Tyto změny dnes dokážeme poměrně přesně měřit a predikovat další vývoj. V důsledku zvyšování globální teploty dochází k tání sněhu a ledu, zvyšuje se hladina světového oceánu, mění se areály výskytu rostlin a živočichů, snižuje se biodiverzita. Zvyšuje se koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře a hrozbou je další zvyšování koncentrace skleníkových plynů v důsledku lidské činnosti, obavy také způsobuje uvolňování metanu do atmosféry při tání permafrostu.

Vody je ve všech jejích třech skupenstvích na planetě Zemi víceméně konstantní množství. Může být ale z hlediska potřeb člověka dočasně nebo trvale znehodnocena, kontaminovaná radiací, toxickými kovy, chemickými látkami nebo biologickými agens. Jedním z hlavních problémů současného zemědělství je zvyšující se variabilita srážek. Jsme svědky povodní následovaných dlouhými obdobími sucha, snižují se zásoby podzemních vod, ubývá vody v půdě. To má a bude mít významné dopady pro pěstování kulturních plodin, produkce potravin bude ovlivněna co do množství, tak i kvality, nicméně nelze ani zanedbat vliv těchto extrémů počasí na výskyt chorob a přemnožení a epidemie rostlinných škůdců. Tedy vody je obecně dostatek, ale není tam, kde bychom ji potřebovali mít (Ceccarelli a kol. 2010, Grinnan a kol. 2012, Rai a kol. 2018).

Rostliny stresované suchem reagují morfologickými a fyziologickými změnami, mění se exprese genů, což v důsledku vede ke změně proteomu celé rostliny (Dinant a kol. 2010, Stallmann a kol. 2018, Quandahor a kol. 2019). Dřívější tradiční názor, že se na takto stresovaných rostlinách daří hmyzím škůdcům více, zpochybnili např. Huberty a Denno (2004). V odborné literatuře byla publikována pak již celá řada dalších prací hodnotících vliv různé intenzity a různého trvání vodního stresu rostliny na vývoj herbivorního hmyzu. Byly zkoumány interakce rostlina – sucho – škůdce a rozdíl mezi trvale a intermitentně stresovanou rostlinou. Závěry jsou někdy kontroverzní (Liu a kol. 2018).

2. Cíl práce

Cílem práce bylo sledovat kompletní vývoj obilní mšice kyjatky travní *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849) na rostlinách pšenice seté *Triticum aestivum* L. pěstované v laboratorních podmínkách v několika odlišných režimech zavlažování. Výsledná data byla statisticky vyhodnocena a byly vypočteny základní parametry populačního růstu této mšice v závislosti na zavlažování: doba vývoje od nymfy prvního instaru po dospělce, plodnost a celková délka života.

3. Literární rešerše

3.1 Klimatické změny

Klimatický systém Země zahrnuje atmosféru, oceány, povrch pevnin, biosféru a kryosféru. Jedná se o složitý termodynamický systém, mezi jehož složkami neustále probíhá výměna energie a hmoty v podobě globálních cyklů, např. hydrologického cyklu a cyklů jednotlivých prvků. Klima na planetě se mění a vždy se měnilo. V některých obdobích, např. před 300 miliony let, byla Země rozsáhle zaledněna, a naopak v období křídý se pravděpodobně trvalé zalednění vůbec nevyskytovalo a koncentrace oxidu uhličitého mohla být až čtyřikrát vyšší než dnes. Ve čtvrtohorách dochází ke střídání dob ledových a meziledových s periodou přibližně 100 000 let.

Změna klimatu je významná neustálá změna statistického rozložení povětrnostních poměrů probíhající během jednoho desetiletí nebo až po miliony let. Jedná se o změnu jak průměrných klimatických podmínek, tak i o změnu ve výskytu extrémních povětrnostních jevů (Hollan 2014). Modely ukazují, že do konce 21. století se globální teplota zvýší o 1,1 až 6,4 °C. V důsledku industrializace, zemědělství a využívání fosilních paliv dochází v posledních desetiletích k nárůstu koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, především oxidu uhličitého a metanu. Nicméně v důsledku lidské činnosti se objevují nové skleníkové plyny, které v předchozích geologických etapách Země přítomny nebyly.

Klimatické změny nejsou nic nového a některé z nich měly dramatické dopady v evoluci života na Zemi a na evoluci člověka. Listy vznikají před asi 400 miliony let coby odpověď na výrazné snížení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, po konci poslední doby ledové před asi 11 tisíci lety vzniká zemědělství a kolaps civilizace kvůli suchu nastal v pozdním holocénu v období před 5 tisíci lety až jedním tisícem let (Ceccarelli 2010).

Změny radiační a tepelné bilance Země se považují za nejdůležitější faktor určující klima. Tyto změny mohou být způsobeny přirozeně nebo antropogenně. Mezi přirozené faktory patří změny rozložení kontinentů, změny sluneční činnosti, Milankovičovy cykly, orogeneze, vulkanismus, modifikace albeda atmosféry a další. Vliv lidské činnosti je nejvíce patrný ve zvýšené emisi skleníkových plynů a znečišťujících látek do atmosféry, ve změně vlastností povrchů ve smyslu výstavby a odlesňování a v zásazích do hydrologického režimu krajiny. Přirozené a antropogenní faktory se vyskytují zároveň a je pochopitelné, že i zároveň ovlivňují klima na planetě (zdroj: ČHMÚ).

V roce 2012 publikovali Robinson a kol. metaanalýzu studií o vlivu zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na rostliny, jejich škůdce (členovce) a na interakci rostlina – herbivor. Analyzovali více než 5000 údajů z 270 odborných prací publikovaných v letech 1979 až 2009. Do studie bylo zahrnuto 19 druhů členovců, 6 druhů rostlin a pozorované změny v 7 primárních a 8 sekundárních metabolitech a ve 4 fyzikálních obranných mechanismech. Zjistili, že mnoho často uváděných účinků oxidu uhličitého je vztaženo pouze k jednomu faktoru. Pokud se ale provede analýza s více faktory současně než pouze s jedním, pak jsou rozdíly ve výsledcích menší než uváděné. Tyto vícefaktorové analýzy mohou lépe vysvětlit složité vztahy v různých odpovědích rostlin na zvýšené koncentrace oxidu uhličitého.

Daryanto a kol. (2017) předpokládali, že sucho jako výsledek klimatické změny bude znamenat větší tlak na produkci potravin v budoucnosti. Výnos plodin je závislý na environmentálních (srážky, teplota, aridita) a agronomických (druh plodiny, textura půdy, fenofáze) faktorech. Autoři analyzovali předchozí polní pokusy, které zkoumaly vliv sucha na produkci obilnin, leguminóz a kořenové zeleniny. Ze souhrnných údajů vyplývá, že obilniny jsou více suchorezistentní než leguminózy. Většina rostlin byla více citlivá na sucho během reprodukční fáze než během vegetační fáze s výjimkou pšenice, která byla citlivá i ve fázi vegetace. Zotavení z dopadu sucha na reprodukční fázi bylo nemožné u plodin, které prodělaly během sucha poškození reprodukčních orgánů (rýže, kukuřice). Fenofáze a textura půdy byly nejdůležitějšími kofaktory určujícími snížení výnosu. Ke snížení ztrát na výnosech doporučují autoři kombinovat více přístupů, především péči o půdu na konkrétním stanovišti (rotace plodin, mulčování, meziplodiny) a výběr odrůd vhodných do konkrétního lokálního klimatu.

Dopadů změny klimatu v nejrůznějších oblastech lidské činnosti si všímají i další autoři. Ulibarri a Scott (2019) upozorňují na nutnost velkých změn v managementu infrastruktury a úřadů, v plánech a koncepcích, v managementu podniků a provozů. García (2019) navrhuje zahrnout kulturní dědictví lidstva do managementu disciplín zabývajících se katastrofami a upozorňuje např. na rizika plynoucí ze zvyšující se hladiny moří nebo ze zvýšeného výskytu bouří a sucha. Phalkey a kol. (2015) odhadují, že v roce 2050 bude v rozvojových zemích 138,5 milionů podvyživených dětí ve věku do 5 let, což je o 25,2 milionů dětí více, než kdyby ke klimatickým změnám nedocházelo.

3.2 Vodní stres

Rostliny jsou vystaveny celé řadě abiotických stresorů a v průběhu evoluce si vyvinuly mnoho adaptačních a obranných mechanismů, které pak zase ztratily v důsledku cílených zásahů člověka v procesu šlechtění kulturních plodin. Stres je stav rostliny, který neodpovídá normální situaci, a pro jeho překonání nebo adaptaci na něj musí rostlina vynaložit energii. Tuto energii získává rozkladem organických látek v procesu dýchání. Mezi nejčastější abiotické stresory patří sucho, vysoká nebo nízká teplota, nadměrné oslunění, resp. UV záření, přemokření, zasolení, přítomnost toxických kovů a znečišťujících chemických látek včetně pesticidů a průmyslových hnojiv, pH srážek a půdy, vítr a světelný smog. V přírodě se téměř vždy jedná o kombinaci několika faktorů, např. sucho a mráz, sucho, vysoká teplota a intenzivní UV záření nebo sucho, zasolení a toxické kovy. K tomu se mohou přidávat biotické stresory – choroby a škůdci. Na působení stresoru reagují rostliny nejprve poplachovou reakcí a později rezistencí, což je návrat do původního stavu. Pokud je ale působení stresoru dlouhodobé a intenzivní, může dojít k vyčerpání rostliny a jejímu odumření. Mladé ekosystémy reagují na stresory daleko více než starší a klimaxové, umělé ekosystémy, mezi něž patří také agroekosystémy, reagují nejvíce.

Voda je univerzálním rozpouštědlem živin a podílí se na jejich transportu v rostlinách. Účastní se metabolismu, udržuje tepelný režim a turgor. Voda je v půdě v půdním roztoku volně přístupná pro příjem rostlinami, ale může být fyziologicky a chemicky vázána tak, že je pro rostlinu nepřijatelná. Vodní stres rostliny může způsobovat jak nadbytek vody v půdě, tak její nedostatek. Krátkodobé sucho nazývané prísušek ovlivňuje metabolismus rostlin negativně. Dochází k nerovnováze ve vodní bilanci rostlin, rychlost transpirace je větší než rychlost absorpce vody z půdního roztoku, snižuje se obsah vody v buňkách, snižuje se vodní potenciál a rostlina vadne. Přemokření půdy zase způsobuje nedostatečné zásobení podzemních orgánů rostlin kyslíkem a vede k hypoxii, v extrémních případech až k anoxii pletiv. Nízký obsah vzduchu v půdě způsobuje také změny pH, což vede k dalšímu poškození rostliny. Optimální obsah vody v půdě je proto důležitý pro správný vývoj rostliny (Kůdela 2013).

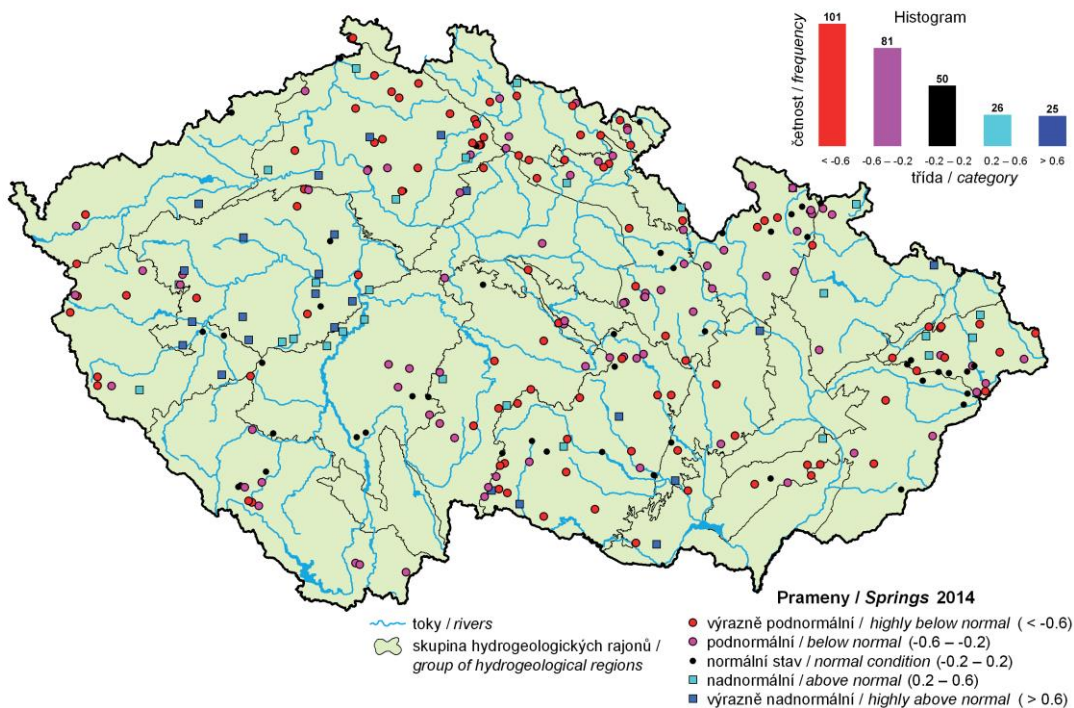
Častější příčinou vodního stresu, než přemokření je v našich podmínkách sucho. Sucho je přírodní jev způsobený nedostatečným množstvím atmosférických srážek, který vede k poklesu množství vody v hydrologickém cyklu. Česká republika je pramenná oblast Evropy, nemáme žádnou velkou řeku a nemáme žádný jiný zdroj vody než atmosférické srážky. Proto má zadrženi

srážkové vody v naší krajině tak velký význam pro zásoby podzemních vod. Za sucho se u nás považuje období bez vláhy trvající týdny až měsíce. Typy sucha je možné klasifikovat takto:

- nahodilé – nepravidelný výskyt, méně srážek, vysoké teploty, vyšší výpar
- meteorologické – méně srážek, než je normál
- zemědělské – sucho v půdě, rostliny vadnou
- hydrologické – snížení hladin vodních toků
- sociálně-ekonomické – nedostatek pitné a užitkové vody.

V minulosti byla na území České republiky zaznamenána velká sucha, bylo to např. v letech 1947, 1974 a 2003. V roce 1947 vedlo katastrofální sucho k silné neúrodě, v roce 2003 byly na tocích naměřeny nejnižší stavy vody v historii měření a některé toky zcela vyschly (Fanta a Petříček 2014, Brázdil a kol. 2015, Žalud a kol. 2019).

Podle údajů Českého hydrometeorologického ústavu vzrostla průměrná roční teplota vzduchu na našem území v letech 2015–2019 o 1,1 až 2,1 °C oproti dlouhodobému normálu let 1961–1990 a o 0,7 až 1,6 °C oproti normálu let 1981–2010. Ve stejném období se pohybovaly roční srážkové úhrny na 77–101 % normálu let 1961–1991 a na 76–100 % dlouhodobého normálu let 1981–2010. Z toho je patrné, že v posledních letech není množství srážek za kalendářní rok nijak extrémně nízké, pohybuje se mezi 76 % a 100 % normálu. Horší situaci můžeme naproti tomu pozorovat u podzemních vod. Již v roce 2014 byla vydatnost 64,3 % pramenů v České republice výrazně podnormální nebo podnormální a vydatnost pouze 8,8 % pramenů byla výrazně nadnormální (obr. 1), přičemž ve stejném roce byly atmosférické srážky na 97 % dlouhodobého normálu let 1961–1990, resp. na 96 % normálu let 1981–2010.



Obr. 1: Mapa porovnání průměrné normalizované vydatnosti pramenů v roce 2014 s obdobím 1981–2000 (zdroj: Český hydrometeorologický ústav, <http://portal.chmi.cz/>).

Rostliny reagují na nedostatek vody komplexem adaptací, které zahrnují morfologické změny, změny ve fyziologii rostliny a změny v expresi genů s dopadem na celý proteom.

Strukturální a fyziologické změny rostlin způsobené suchem mohou ovlivňovat mšice prostřednictvím změn v kvalitě potravy, její dostupnosti nebo změnou signálů v procesu výběru hostitele. Snížený růst a zvětšení buněk je první faktor v mírném vodním stresu, listy jsou menší, tenčí a epikutikula obsahuje více vosku, potenciálně je tedy pro mšice obtížnější takový list penetrovat. Snižující se osmotický potenciál rostlin je znám jako tzv. osmotické přizpůsobení. Touto cestou mohou rostliny udržovat buněčný turgor a růst po krátkou dobu. Akumulované roztoky obsahují stresové metabolity, dusíkaté látky, sacharidy, hormon kyseliny abscisovou a další sekundární metabolity. Kyselina abscisová podporuje růst kořenů inhibicí produkce etylénu během sucha, a právě kořeny v hlubších půdních horizontech jsou klíčovou obranou rostlin proti vodnímu stresu. Vyšší koncentrace kyseliny abscisové vede ke snížení vodního potenciálu s následným snížením turgoru a uzavřením stomat k zabránění dalších ztrát vody. To může zhoršit schopnost mšic přijímat floémovou tekutinu styletem. Naproti tomu menší ochlazování rostliny pomocí transpirace znamená, že rostliny jsou teplejší a nabízejí tedy hmyzu vývoj a reprodukci v podmínkách blíže jejich životnímu teplotnímu optimu.

Ve vodním stresu dochází k větší hydrolýze proteinů, do floému se uvolňují dusíkaté látky v podobě aminokyselin a jejich koncentrace může být mnohonásobně vyšší, než jsou normální hladiny. Často dochází výraznému zvýšení koncentrace aminokyseliny prolinu, což se považuje za typickou odpověď rostliny na vodní deficit. Andersen a kol. (2009) zkoumali chemismus floémové tekutiny pomerančovníku čínského *Citrus sinensis* (L.) Osbeck a révy vinné *Vitis vinifera* L. Pomerančovník měl největší zastoupení aminokyselin asparagin, kyseliny asparagové a prolinu, které reprezentovaly 75 % volných aminokyselin. U révy naopak 75 % volných aminokyselin představovaly glutamin a kyselina glutamová.

Zřejmě nejdůležitějším faktorem ve výběru hostitele mšicí jsou právě tyto metabolity detekované během penetrace listu styletem – zkusného vpichu. V suchu se zvyšuje osmotický tlak v sítkovicích v důsledku zvýšení koncentrace roztoků, především sacharózy. Listy mohou nejprve dočasně zastavit stárnutí, později přecházejí do senescence a opadávají. Dochází ke spektrálním změnám, kdy žloutnutí listů a vyšší odraz infračerveného záření mohou být pro herbivory atraktivnější.

Změny pozorované v rostlinách vystavených suchu mohou být jak ve prospěch mšic, např. akumulace roztoků, zvýšení obsahu rozpustného dusíku a vyšší teplota listů, tak mohou mít na mšice i negativní dopad, např. ztráta turgoru, redukce listové plochy a ztenčení listů (Simpson 2013).

Původní představy o stresu rostlin (Plant Stress Hypothesis) předpokládaly, že stres vede ke zvýšení dostupnosti dusíku pro fytofágní hmyz a tím zvyšuje reprodukci a přežití mladých jedinců. Nicméně pozdější studie zjistily, že trvalý vodní stres vede k ovlivnění mízu sajícího hmyzu negativně, navzdory zvýšení obsahu dusíku v listech. Současné snížení turgoru a obsahu vody v rostlinách totiž interferuje se schopností herbivorů tento dusík přijmout a využít. Naopak z přerušovaného vodního stresu hmyz profituje, což vedlo k formulaci pulzní stresové hypotézy, kde období stresu a zotavení turgoru umožní savému hmyzu využít zvýšení obsahu dusíku indukovaného předchozím stresem (Simpson 2013).

Bi a kol. (2017) studovali vliv sucha na transpiraci a charakter kutikuly listů pšenice seté. Autoři analyzovali transpirační koeficient a strukturu kutikuly a složení epikutikulárního vosku u pěti australských odrůd pekařské pšenice v režimu s dostatkem vláhy a za sucha. Čtyři odrůdy byly suchovzdorné a jedna byla na sucho senzitivní. Kutikula je nejsvrchnější vrstva pokrývající listy, je tvořena kutinem a vosky a hraje důležitou roli v ochraně před environmentálním stresem,

včetně tolerance plodin k suchu. Byl zjištěn statisticky významný rozdíl v transpiraci mezi nesuchovzdornou odrůdou a suchovzdornými liniemi ve prospěch suchovzdorných odrůd. Sucho signifikantně zvýšilo tloušťku kutikuly, ale pouze u dvou suchovzdorných odrůd. Analýza složení vosku ukázala zvýšení obsahu alkanů vlivem sucha u všech zkoumaných linií. Podle této studie bylo pro množství ztrát vody v omezených vodních podmínkách důležitější biochemické složení kutikuly než množství pórů a transpirace. Bahlmann a kol. (2003) upřednostňuje význam hustoty listových trichomů před jejich délkou v odolnosti různých kultivarů pšenice seté na mšici zhoubnou *Diuraphis noxia* (Kurdjumov, 1913) a podle jeho studie epikutikulární voskové struktury nehrají statisticky významnou roli.

Účinky kontinuálního a přerušovaného stresu suchem na fyziologii a růst jarní pšenice seté zjišťovali Stallmann a kol. (2018). Ve skleníkových podmínkách byly hodnoceny fyziologické odpovědi zahrnující maximální výtěžnost fotosystému II při fotosyntéze a efektivitu využití vody, také byly hodnoceny parametry týkající se výnosu. Byly zvoleny dva režimy zavlažování: kontinuální 3x týdně a intermitentní 1x týdně. V obou skupinách byly rostliny kumulativně zality čtyřmi různými objemy vody: 1 000 ml, 800 ml, 600 ml a 400 ml. Maximální efektivita fotosystému II nebyla ovlivněna režimem zavlažování ani objemem vody, ale byla signifikantně vyšší po 6 týdnech než po 2 týdnech pokusu. Využití vody se zvýšilo se snížením objemu závlahy a množství generativní biomasy bylo vyšší při kontinuální závlaze ve srovnání s přerušovaně zalévanými rostlinami, které dostaly podobné kumulativní množství vody během pokusu. Přerušovaná závlaha vedla k redukci výnosu zrna až o 51 %. Tato nízká produktivita byla primárně způsobena nižším odnožováním u přerušovaně zalévaných rostlin, naopak počet zrn v jednom klasu byl nižší u rostlin zalévaných kontinuálně. Snížení frekvence zavlažování i snížený objem závlahy negativně ovlivnily výnos zrna jarní pšenice.

Mody a kol. (2009) zkoumali předpoklad, že stres rostliny způsobený nedostatkem vody může zvýšit nebo naopak snížit atraktivitu rostlin pro herbivory. Tzv. pulzní stresová hypotéza neboli přerušovaný nedostatek vody mohou být klíčem k vysvětlení těchto protichůdných účinků. Pokus byl proveden na jabloních (*Malus domestica* Borkh., jablono domáci) a stromy byly buď nestresované nebo vystavené nízké a vysoké intenzitě pulzního vodního stresu. Odpovědi na různé úrovně stresu byly přímo i nepřímouměrné: s rostoucí intenzitou stresu se růst, stomatální kondukce, obsah vody v listech a obsah dusíku ve starých listech snížily, zatímco obsah dusíku v mladých listech a množství listové plochy se zvýšily. Rozdíly byly nalezeny v množství

stabilního izotopu uhlíku ^{13}C v listech, nejvyšší hodnoty byly naměřeny u málo stresovaných rostlin, střední hodnoty u vysoce stresovaných rostlin a nejnižší u nestresovaných jabloní.

Grinnan a kol. (2013) předpokládají kromě kontinuálního zvyšování globální teploty a vyšší variability ve srážkách také častější přemnožení a epidemie rostlinných škůdců. Zkoumali vliv abiotických a biotických stresorů na interakci rostlina – herbivor u sóji a v pokusu použili 51 různých genotypů této plodiny. Zjistili, že kombinace sucha a herbivorie měly největší negativní účinky na výnos rostlin s redukcí nadzemní i podzemní biomasy o 10–45 %, zatímco zvýšená teplota měla vliv jen malý nebo žádný. Sucho zvyšovalo náchylnost sóji k polyfágním herbivorům, nicméně výsledky se lišily podle konkrétních odrůd, resp. jejich genotypů. Účinky abiotických a biotických stresů na biomasu sóji byly z velké části způsobeny aditivními efekty těchto stresorů. Autoři doporučují využívat pro další šlechtění sóji jen ty odrůdy, které by zajistily větší toleranci a rezistenci na kombinované negativní účinky hmyzího škůdce a sucha.

Jedním z přirozených obranných mechanismů rostlin proti suchu je zvýšení množství vosku v epikutikule. Wójcicka (2016) došla k závěru, že genotypy tritikale s větším množstvím vosku na povrchu listů jsou méně preferovány kyjatkou osenní *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775), dospělci přežívají kratší dobu a kladou méně nymf.

3.3 Mšice

Vědecký klasifikační systém živých organismů se v posledních letech výrazně změnil (Kusch a kol. 2016), nicméně zařazení mšice kyjaty travní v tomto systému je v podstatě stejné jako dříve:

říše	Animalia Linnaeus, 1758	živočichové
kmen	Arthropoda Latreille, 1829	členovci
třída	Insecta Linnaeus, 1758	hmyz
řád	Hemiptera Linnaeus, 1758	polokřídlí
čeleď	Aphididae	mšicovití
rod	<i>Metopolophium</i> Mordvilko, 1914	kyjotka
druh	<i>Metopolophium dirhodum</i> (Walker, 1849)	kyjotka travní

Životní cyklus mšic je odlišný u různých druhů, přesto existují některé společné znaky. Mšice mohou být holocyklické, kdy střídají partenogenetická a sexuální stádia, nebo anholocyklické, kdy se rozmnožují pouze partenogeneticky. Holocyklické mšice žijí buď na jednom hostitelském rostlinném druhu (monoekní) nebo střídají hostitele v zimě a v létě (heteroekní). Předchůdci moderních mšic se zřejmě rozmnožovaly sexuálně na jedné hostitelské dřevině, partenogeneze a heteroekie se vyvinuly později. Rychlý rozvoj mšic nastal před 150 až 80 miliony let po přestěhování z nahosemenných rostlin na krytosemenné. Většina druhů mšic je monoekních (Simpson 2013).

Hospodářsky nejvýznamnějšími druhy mšic parazitujících na pšenici seté jsou kyjatka osenní *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775), mšice střemchová *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) a kyjatka travní *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849) (Dixon 1977). Kromě pšenice sají také na ječmeni, ovsu a žitu, napadají krmné i divoké traviny a kukuřici. Kyjatka travní je holocyklická heteroekní mšice. Apteršní dospělci mají velikost 1,6 až 2,9 mm, křídlatí 1,6 až 3,3 mm, jsou světlezelené barvy, tykadla jsou téměř tak dlouhá jako tělo a jak již bylo zmíněno, jsou buď bezkřídlí nebo mají křídla (Blackmann a Eastop 2000).

Kyjatka travní přezimuje na růži šípkové *Rosa canina* L. a také na okrasných zahradních růžích ve formě vajíčka. Na jaře se z vajíčka líhne nymfa bezkřídle zakladatelky fundatrix. Z této zakladatelky se partenogeneticky vyvíjí několik generací fundatrigenií, bezkřídlych i křídlatých samic, které vytváří velké kolonie na výhonech, květních stopkách a poupatech. Viviparní fundatrix klade živou nymfu prvního instaru L1 a vývoj této nymfy do imaga probíhá přes další 3 instary: L2, L3 a L4. Podíl okřídlených forem závisí na průběhu počasí. Při chladném a vlhkém počasí se rodí většina bezkřídlych jedinců, a ti proto zůstávají na zimním hostiteli delší dobu. Pokud je počasí teplé a suché, pak již v první generaci může být okřídlených potomků většina. Přibližně od poloviny května přelétají křídlaté formy (migrantes) na letní hostitelské rostliny, tj. na obilniny a traviny. Zde vytváří větší kolonie především na horní straně horních listů, ale můžeme ji nalézt i na spodní straně listů. Podle průběhu počasí v ročníku mají kyjatky travní ve vegetační sezóně až 16 partenogenetických generací bezkřídlych samic, přičemž optimální teplota pro jejich vývoj je 20 °C. Viviparní dospělé samice kladou živé nymfy a vývoj do dospělce probíhá opět přes 4 instary. Pokud dojde k přemnožení a nedostatku potravy na hostitelské rostlině, pak se ve zvýšené míře začnou tvořit okřídlené formy, které potom opouštějí původní rostlinu a osidlují rostliny jiné, neobsazené. Informaci o tom, že rostlina už není schopna přijmout další mšice, je předávána

pomocí feromonů. Tento zákazový feromon začnou produkovat mšice v případě, že na dané rostlině je již tak velká hustota osídlení, že by další přírůstek byl již pro úspěšný vývoj populace problematický. Na podzim pod vlivem snižujících se teplot a zkracující se světelné části dne se objevují sexupari, poslední generace partenogenetických samic. Tato generace dává vznik pohlavním jedincům – sexuales. Tyto mšice mají již rozlišené pohlaví na samčí a samičí, jsou okřídlené a samice jsou vejcorodé. Jejich společným úkolem je přelet na zimní hostitelskou rostlinu z rodu růže a páření. Samice pak kladou oplodněná přezimující vajíčka a cyklus je uzavřen. Nicméně může nastat ještě jedna možnost přezimování, která připadá v úvahu ale jen při mírné zimě s maximální nejnižší teplotou -8 °C. Nymfy a dospělé samice mohou přežít takto mírnou zimu na letním hostiteli, v našich podmínkách nejčastěji na ozimech. Na jaře pokračují v nepohlavním rozmnožování a jsou tedy na obilninách dříve než generace přezimující na růžích a způsobují časné napadení listů obilnin (Dixon 1977, EPPO 2007, Simpson 2013).

Hospodářský význam mšic je velký. Parazitují na kořenech, stoncích, mladých výhonech, listech, ale nesají v poupatech a v květech. Některé druhy, jako např. dutilky *Pemphigini* Herrich-Schaeffer, 1854, jsou hálkotvorné. Mšice v obilninách způsobují největší škody ve fázi nalévání obilek. Výše škod závisí na rozdělení populace mšic na rostlině, na hustotě a délce osídlení a na míře snížení účinnosti fotosyntézy v důsledku produkce medovice. Medovice produkovaná mšicemi také usnadňuje infekci plísněmi rodu braničnatka *Septoria* Sacc. a srpovnička *Fusarium* Link. Sání jedné mšice na jednom stéble může způsobit ztráty na výnosu až 20 kg/ha. Nepochybně velký význam obilních mšic je v tom, že jsou vektory celé řady virů. Kyjatka travní je jedním z hlavních přenašečů viru žluté zakrslosti ječmene (Barley yellow dwarf virus) patřícího do rodu *Luteovirus*, skupiny RNA neobalených virů (zdroj: www.syngenta.cz).

Mšice se řadí do skupiny bodavě savého hmyzu. V porovnání s jinými herbivory jsou jejich bezkřídlé formy relativně málo pohyblivé a na jedné hostitelské rostlině často stráví celý svůj život a nakladou na ní všechny své potomky. Z tohoto důvodu si pečlivě „vybírají“ svoji konkrétní rostlinu, kterou osídlí. Výběr vhodné hostitelské rostliny je složitý proces. Sled událostí zahrnuje povrchovou identifikaci okřídlenými formami před dosednutím, první kontakt a posouzení povrchu rostliny. Následuje epidermální sonda, pak punkce sítkovice a nasátí tekutiny z floému. Ni a Quisenberry (1997) zjistili, že zkusmé vpichy mšice zhoubné *Diuraphis noxia* (Kurdjumov, 1913) na pšenici *Triticum aestivum* L. byly signifikantně častější a delší v noci než ve dne a mšice více preferovaly odrůdy pšenice s delšími a řidšími trichomy ve srovnání s odrůdami s listy

pokrytými trichomy kratšími a hustými. Mšice penetruje apoplast styletem, ten proniká mezi jednotlivými buňkami a zároveň vypouští sliny gelové konzistence do mezibuněčného prostoru. Tento gel uzavírá stylet do slinného pouzdra a brání úniku buněčné šťávy z buněk způsobeného vpichem, čímž se zablokuje spuštění obranných mechanismů rostliny. Během pronikání styletu totiž mšice nabodávají buňky mezofylu a injektují do nich malá množství vodnatých slin před zpětným nasátím menšího množství intracelulární tekutiny, podle které vyhodnocují kvalitu rostliny. Po dosažení floému mšice střídají příjem šťávy a sekreci vodnatých slin s obsahem efektorových bílkovin do sítkovice. Tyto bílkoviny brání vytvoření kalózy na sítkách sítkovic vedoucí k uzavření floému. Tlak tekutiny ve floému je 1,5–3,0 MPa a usnadňuje příjem šťávy styletem. Rostlinné metabolity detekované během penetrace styletu se zdají být tím nejdůležitějším faktorem ve výběru hostitele (Züst a Agrawal 2016).

Floémová tekutina je charakteristická vysokou koncentrací nízkomolekulárních sacharidů a menší koncentrací rozpuštěných dusíkatých látek. Mšice si v průběhu evoluce vyvinuly dvě klíčové adaptace, které jim umožňují přijímat tuto šťávu jako jedinou potravu. K překonání vysoké koncentrace cukrů mají ve svém střevě enzym sacharáza-transglukosidáza. Tento enzym polymerizuje disacharid sacharózu do delších řetězců oligosacharidů, a ty jsou pak vyloučeny v medovici. Druhou adaptací je symbióza s bakteriemi rodu *Buchnera* L. Tyto bakterie modifikují kvalitu přijímané šťávy přeměnou pro mšice neesenciálních aminokyselin na aminokyseliny esenciální. To mšicím zajišťuje lepší vývoj v situaci, když se ve floému sníží koncentrace dusíkatých látek, resp. aminokyselin (Simpson 2013).

Buňky napadené rostliny syntetizují obranné sekundární metabolity, z nichž část je transportována do floému. Tyto sekundární metabolity jsou přijímány mšicemi při sání a do hemocelu se dostávají pasivním nebo aktivním transportem přes střevní membránu. Sekundární metabolity se buď akumuluje v hemocelu nebo jsou transportovány zpět do zadního střeva a vyloučeny v medovici společně se všemi ostatními metabolity. Sekundární obranné metabolity namířené proti spásáčům rostlin jsou poměrně dobře prozkoumány, u napadení mšicemi toho o nich víme méně. Jsou známy glykosidy a alkaloidy. Benzoxazinoidy jsou prekurzory obranných látek, které se aktivují v reakci na poškození mšicí nebo až po požití v trávicím traktu mšice, jsou to obranné látky zjištěné u trav a kukuřice. Podobně fungují glukosinoláty u brukvovitých rostlin (Züst a Agrawal 2016).

He a kol. (2011) provedli experimenty s umělou infestací tří kultivarů listopadky rodu *Chrysanthemum* L. mšicemi. Z těchto tří kultivarů ten nejvíce rezistentní vytvářel nejdelší, nejvyšší a nejhustší trichomy, měl největší žlázové buňky a na epidermis měl nejvíce vosku. Po sání mšicemi došlo ke zvýšení aktivity obranných enzymů superoxiddismutázy, peroxidázy, askorbátperoxidázy, polyfenoloxidázy a fenylalaninaminolyázy. U dvou více rezistentních kultivarů se aktivita superoxiddismutázy a askorbátperoxidázy zvýšila výrazně a jejich hladiny zůstaly vysoké až po dobu 168 hodin po inokulaci.

Vlivem listových trichomů na preferenci hostitelské rostliny se zabývali Karley a kol. (2016). Hustota trichomů ostružiníku maliníku *Rubus idaeus* L. neovlivnila přijetí hostitelské rostliny a sání mšicí kyjatkou maliníkovou *Amphorophora idaei* (Börner, 1939), mšice se nejlépe vyvíjely na vitálních genotypech ostružiníku bez ohledu na trichomy. Také na vyhledávací schopnosti polyfágního predátora herbivorů zlatoočky obecné *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) neměly listové trichomy příliš velký efekt.

3.4 Hostitelské rostliny

Rostliny mají na rozdíl od živočichů více obranných mechanismů proti abiotickým stresorům, chorobám, spásáčům a dalším škůdcům, a to jako důsledek absence únikové reakce. V koevoluci s herbivory se rostlinám vyvinuly obranné mechanické bariéry a schopnost vytvářet antinutriční látky, které znemožňují nebo zpomalují trávení nebo mění chuťové vlastnosti částí rostlin. Tyto obranné mechanismy začal člověk se vznikem zemědělství v neolitu cíleně potlačovat, nejprve negativním a pozitivním výběrem, později pak cíleným šlechtěním. Dnešní rostlinné produkty používané ve výživě tedy již nejsou např. hořké (hořčiny), trpké (taniny), nemají mýdlovou chuť (saponiny) nebo nemají semena (banány). To vše umožňuje přípravu potravin chuťově příjemných a dobře stravitelných. Nicméně rostliny bez obranných látek jsou samozřejmě atraktivnější také pro herbivorní škůdce. Původními hostitelskými rostlinami mšice kyjaty travní byly divoké růže a planě rostoucí traviny. Dnes je kyjaty travní jedním z hlavních hmyzích škůdců obilnin, včetně pšenice seté.

Pšenice setá *Triticum aestivum* L. patří do čeledi lipnicovitých *Poaceae* Barnhart. Podle morfologických a fyziologických vlastností se pšenice zařazuje mezi tzv. obilniny I. skupiny: má nižší nároky na teplo a vyšší nároky na vodu, existují jarní a ozimé formy, rychleji odnožuje, stéblo je duté a obilka má na spodní straně rýhu. Podle Situační a výhledové zprávy Ministerstva

zemědělství Obiloviny 2018 se obilniny v České republice v roce 2018 pěstovaly na 1 339 100 hektarech, což představuje asi 44,6 % plochy veškeré orné půdy v republice. Pšenice ozimá je dlouhodobě pěstována na největší rozloze v rámci obilnin, konkrétně na 773 700 hektarech (57,8 % plochy obilnin). Druhou nejvíce pěstovanou obilninou byl ječmen jarní (16,6 %) a pšenice jarní zaujímala 3,4 % plochy obilnin. Ozimá a jarní pšenice dohromady tedy představovaly 61,2 % pěstebních ploch obilnin a 27,3 % rozlohy orné půdy. Údaje za rok 2019 nejsou zatím k dispozici.

Odrůda Sandra jarní pšenice seté byla dříve zapsána ve Státní odrůdové knize, nicméně k 15. červnu 2018 tam již uvedena není, jejím udržovatelem byla česká firma Selgen a.s. Odrůda Quintus je vedena ve Statní odrůdové knize od roku 2014 a udržovatelem je nizozemský Wiersum Planrbreeding B.V. Jedná se o nesuchovzdornou osinatou odrůdu chlebové jakosti. Rostlina má středně vysoké, dobře odnožující a zrno je velké (zdroj: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský).

Zimním hostitelem kyjatky travní je především růže šípková *Rosa canina* L. Je to vytrvalá, opadavá, keřovitá dřevina, roste planě, vytváří rozkošatěný, ostnatý keř vysoký až tři metry. Jedná se o běžný volně rostoucí druh růže ve střední Evropě (Slavík 1995). Dalšími zimními hostitelskými rostlinami jsou i jiné planě rostoucí druhy růží a zahradní kultivary růží. Blackmann a Aestop (1984) uvádějí mezi výjimečné primární hostitele také rostliny rodu řepík *Agrimonia* L. a jahodník *Fragaria* L. Za příležitostného sekundárního neboli letního hostitele kyjatky travní označují stejní autoři rostliny rodu kosatec *Iris* L.

3.5 Role vodního stresu ve vývoji herbivorního hmyzu a interakce hostitel – škůdce

Složení floémové tekutiny v sítkovicích pšenice seté publikovali Dinant a kol. (2010). Tekutina má pH 7,3–8,5 a z rozpuštěných látek obsahuje nejvíce sacharózy a aminokyselin, z iontů v ní převládá draslíkový kation. Dále obsahuje sodík, hořčík, vápník a amonný kation, z aniontů fosfáty, dusičnany a sírany. Za normálních podmínek je z aminokyselin ve floému nejvíce glutaminu, kyseliny asparagové a serinu. Koncentrace sacharózy, aminokyselin a draslíku má diurnální periodicitu. Dalšími látkami jsou sekundární metabolity, lipidy, fytohormony a mastné kyseliny. V reakci na napadení mšicemi se secernují obranné enzymy peroxidáza, superoxiddismutáza a reduktázy, mění se koncentrace volných aminokyselin. Předpokládá se, že chování mšic je ovlivněno především kvalitou floémové šťávy, tj. koncentrací sacharózy a přítomností všech devíti pro mšice esenciálních aminokyselin.

Huberty a Denno (2004) si také všimli rozdílu mezi pozorovaným přemnožením fytofágního hmyzu na suchem stresovaných rostlinách v přírodě a negativními výsledky zjištěnými v mnoha experimentálních studiích, kde byly rostliny stresovány suchem nepřetržitě. Rozhodli se ověřit tzv. Plant Stress Hypothesis, podle které se hmyzím herbivorům daří lépe na nedostatku vody stresovaných hostitelských rostlinách prostřednictvím indukovaných fyziologických změn. Zkoumali, jak vodní deficit ovlivňuje přežití, plodnost, početnost, relativní růstovou rychlost a dobu kladení vajíček u dvou skupin škůdců, u spásáčů a u floém sajícího hmyzu. Byly zjištěny významné negativní účinky sucha na vývoj savého hmyzu, zatímco statisticky významný rozdíl u spásáčů potvrzen nebyl. Historický pohled, že vývoj hmyzu probíhá lépe na rostlinách v trvalém vodním stresu, byl zpochybněn. Existuje mnoho důkazů, že řada fytofágních druhů hmyzu je nepříznivě ovlivněna dlouhodobým vodním stresem. Zvýšený listový dusík během stresu rostliny současně se sníženým turgorem a obsahem vody v rostlině ovlivňuje schopnost rostlinného škůdce získat nebo využít tento dusík. Autoři uvažují o pulzní stresové hypotéze (Pulsed Stress Hypothesis), kdy je období sucha vystřídáno dostatkem vláhy. A právě normalizace turgoru umožňuje savému hmyzu profitovat ze stresem navozeného zvýšení obsahu dusíku v rostlině. Floém sající hmyz má benefit z intermitentně stresovaných rostlin, ale ne z rostlin stresovaných kontinuálně.

Rai a kol. (2018) zkoumali, do jaké míry ovlivňují změny půdní vlhkosti vývoj polyfágních hmyzích herbivorů, konkrétně můry blýskavky *Spodoptera littoralis* (Biosduval, 1833) na vícedruhovém travním porostu. Srovnávali vliv krátkého extrémního pulsního sucha s účinky trvalého sucha a trvalého přemokření. Nepřetržitě sucho snižovalo růst rostlin i vývoj blýskavky. Permanentní přemokření neovlivnilo růst rostlin, ale snižovalo váhu kukel o 23 % a přežití housenek o 34 %. Extrémní pulsní sucho mělo větší dopad než chronické sucho, protože mnoho housenek uhynulo dříve, než mohlo profitovat z opětovného zalití rostlin po suchu, byla pozorována až 94 % mortalita. Pulsující sucho neovlivňovalo vývoj rostlin a housenek více než trvalé přemokření. Přežití tedy nejvíce ovlivnilo jak extrémní sucho, tak i trvalé přemokření.

Účinky sucha a napadení mšicí broskvoňovou *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) na třech genotypech lilku bramboru *Solanum tuberosum* L. v laboratorních podmínkách zkoumali Quandahor a kol. (2019). Tyto tři genotypy bramboru byly tolerantní k suchu buď hodně, středně nebo málo a všechny byly vystaveny dvěma úrovním sucha a dvěma různými intenzitám napadení mšicí broskvoňovou. Byla zjištěna statisticky významná interakce mezi genotypem bramboru,

suchem a napadením mšicí. Odrůda bramboru nejvíce citlivá na sucho měla vyšší toleranci vůči napadení mšicí než obě ostatní odrůdy, a to jak v normálních závlahových podmínkách, tak i v suchu. Naopak na sucho nejvíce tolerantní odrůda byla vysoce náchylná na infestaci mšicemi a vykazala vysokou hostitelskou akceptaci, delší přežití mšic a vyšší průměrnou denní snůšku ve srovnání s ostatními genotypy. Autoři se domnívají, že biochemické a morfologické znaky, které souvisí s tolerancí k suchu u bramboru ne nezbytně korespondují s tolerancí k napadení mšicí broskvoňovou.

Již dříve zmiňovaný Mody a kol. (2009) zdůrazňuje důležitost intenzity vodního stresu na výsledek interakce mezi herbivorem a stresovanou rostlinou. Růst populace mšice jabloňové *Aphis pomi* DeGeer, 1773 na jabloních byl největší na nestresovaných rostlinách a nejnižší na málo stresovaných rostlinách. Jabloně vystavené největšímu vodnímu stresu byly nejvíce atraktivní pro housenky rodu blýskavka *Spodoptera littoralis* (Boisduval, 1833).

Pozornost je věnována i roli listových trichomů, resp. jejich změnám v důsledku sucha nebo napadení herbivorem. Podobně jako se v průběhu evoluce v suchu zvýšila hustota trichomů, tak se také zvyšuje u některých rostlinných druhů na nových listech po poškození herbivorem. Nicméně hustota trichomů může také ovlivňovat početnost a efektivitu predátorů a parazitoidů likvidujících škůdce (Dalin a kol. 2008).

Čínští autoři Liu a kol. (2018) studovali změny životního cyklu populací mšice kyjatky osenní *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775) přirozeně se vyskytujících ve vlhké, semiaridní a aridní oblasti ve třech vlhkostních režimech. Byly zjištěny signifikantní rozdíly ve vývoji, plodnosti a váze dospělců mezi klony ze všech tří oblastí a tato divergence je pravděpodobně na genetickém základě. Klony z aridních oblastí měly lepší adaptaci na vodní deficit ve srovnání s klony z obou vlhčích oblastí. Jako vhodný ukazatel pro adaptační potenciál kyjatky osenní v různých podmínkách vodního stresu autoři doporučují váhu dospělců.

Vztahy mezi vodním stresem, kvalitou rostliny a vývojem herbivorů zkoumali Tariq a kol. (2012). V pokusu byly použity dva druhy mšic: oligofágní mšice zelná *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758), která preferuje mladé listy, a polyfágní mšice broskvoňová *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) s preferencí listů starších. Pokusnou rostlinou byla brukev zelná *Brassica oleracea* L. Množství vody dodané jedné rostlině za týden bylo 75 %, 50 % a 25 % kontrolní nestresované skupiny jako nízký, střední a velký stres a 50 % každých 14 dní pro přerušovaný vodní stres. Vývoj obou druhů mšic na nestresovaných a vysoce suchem stresovaných

rostlinách byl signifikantně pomalejší než na středně stresovaných rostlinách, kde byla pozorována v průměru o 20 % vyšší plodnost. Biomasa rostlin a relativní obsah vody byly signifikantně vyšší u nestresovaných rostlin ve srovnání s vysokým a pulsním vodním stresem. Koncentrace dusíku v listech byla významně vyšší u vysoce stresovaných rostlin a u rostlin v pulzním stresu.

Plodiny napadené mšicemi mohou mít významné ekonomické ztráty, přičemž výskyt a počty mšic jsou vysoce sezónní a meziročně se liší. Zvýšené hladiny aminokyselinového dusíku ve floému u rostlin v suchu mohou být analogické k hladinám v mladých a senescentních listech, které jsou přirozeně bohatší na aminokyseliny. Vyšší hladiny dusíku umožňují vývoj větších dospělých jedinců mšic s vyšším reprodukčním potenciálem. Vodní stres může v krátké době zvýšit dostupnou nabídku dusíku pro herboviry, což představuje benefit pro jejich nymfy. To podporuje stresovou hypotézu rostlin – Plant Stress Hypothesis (Simpson 2013).

4. Materiál a metodika

Pokus byl rozdělen do několika částí. V první části bylo testováno pěstování rostlin pšenice v různé půdní vlhkosti. Ve druhé části bylo zjišťováno, zda mšice přijmou takto vypěstované rostliny, jestli se na nich uchytí a začnou klást. Třetí část hodnotila vývoj, plodnost a celkovou délku života mšic na rostlinách pšenice pěstovaných v zemině se třemi různými hodnotami půdní vlhkosti.

4.1 Materiál

4.1.1 Pěstební nádoby a zemina

Rostliny pšenice byly pěstovány v černých plastových kontejnerech se čtvercových půdorysem a objemem 0,5 litru. Použitá zemina byla směsí hnědozemě, kompostu a písku v poměru 6 : 2 : 1 a počáteční vlhkost této zeminy byla 70 % celkové půdní vodní kapacity (soil water capacity, SWC).

4.1.2 Hostitelské rostliny

V první a ve druhé části pokusu byla použita odrůda Sandra pšenice seté jarní *Triticum aestivum* L., ve třetí části byla hostitelskou rostlinou nesuchovzdorná odrůda jarní pšenice seté Quintus.

4.1.3 Mšice

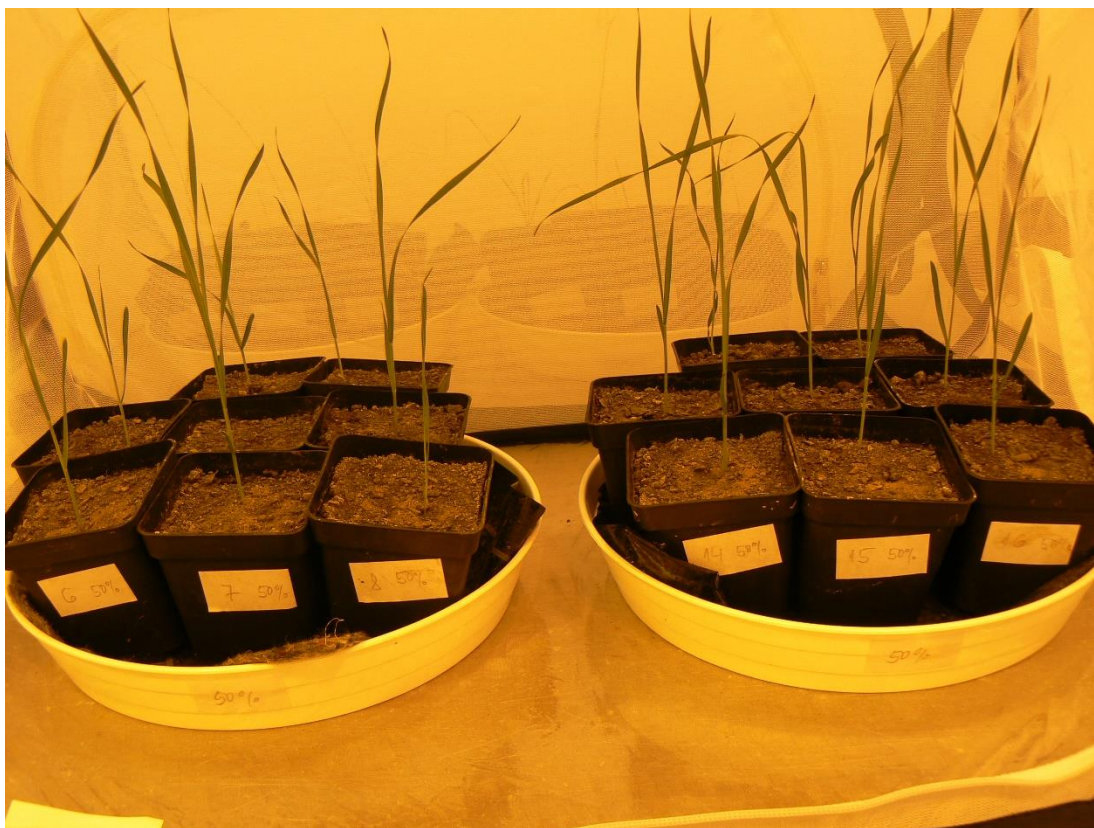
Jako modelový živočišný organismus byla použita mšice kyjatka travní *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849). Jednalo se o dospělé bezkřídle samice chované na rostlinách jarní pšenice *Triticum aestivum* L. v laboratorních podmínkách při pokojové teplotě a přirozené fotoperiodě. Chov tohoto kmene kyjatky travní je udržován ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Praze již více let (obr. 2).



Obr. 2: Detail listů chovu mšice kyjatky travní *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849) na rostlinách jarní pšenice seté *Triticum aestivum* L. ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Praze.

4.2 Metody

Obilky pšenice seté odrůdy Sandra byly před vysetím do kontejnerů naklíčeny do fenofáze BBCH 07, kdy byly již vyvinuty 3 kořínky a koleoptile (Meier 1997). Naklíčení probíhalo na vlhkém filtračním papíru ve tmě při teplotě 20 °C. Takto připravené obilky byly vysety v první části pokusu po jedné do každého kontejneru a zality. Celkem bylo připraveno 7 variant pro cílovou SWC 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 % a 80 %, přičemž v každé jednotlivé variantě bylo 16 pokusných rostlin, což odpovídalo 16 kontejnerům (obr. 3). Varianty byly označeny SWC20, SWC30, SWC40, SWC50, SWC60, SWC70 a SWC80. Nádoby s rostlinami pšenice byly umístěny v klimaboxu s regulovanou teplotou 20±1 °C a s fotoperiodou 16/8 (16 hodin světlo a 8 hodin tma), byly každý den kontrolovány, váženy a zalévány tak, aby se vlhkost zeminy pohybovala kolem plánované úrovně pro každou variantu zvlášť.



Obr. 3: Rostliny jarní pšenice seté *Triticum aestivum* L., odrůda Sandra, pěstované v zemině s půdní vlhkostí 50 %.

Ve druhé části pokusu byly na takto vypěstované rostliny pšenice s výjimkou varianty SWC20 umístěny dospělé bezkřídlé samice mšice kyjatky travní a to tak, že na každou rostlinu byla umístěna právě jedna samice. Druhý den po inokulaci bylo zkontrolováno, zda se mšice na rostlinách uchytily a zda nakladly nymfy prvního instaru.

Ve třetí části pokusu byla použita odrůda pšenice Quintus a obilky byly naklíčeny do fenofáze BBCH 07 stejným způsobem, jako u odrůdy Sandra. Naklíčené obilky byly poté vysety do kontejnerů se zeminou o vlhkosti zeminy 40, 50 a 70 procent, v každé variantě označené SWC 40, SWC50 a SWC70 bylo 8 kontejnerů a v každém kontejneru bylo pěstováno 10 rostlin (obr. 4). Pšenice byla pěstována za kontrolovaných podmínek v klimaboxu v teplotě 21 °C, s fotoperiodou 16/8 (16 hodin světlo a 8 hodin tma). Všechny varianty byly opět každý den kontrolovány, váženy a zalévány tak, aby se vlhkost zeminy pohybovala kolem plánované hodnoty 40 %, 50 % a 70 %. Ve fenofázi plně rozvinutého druhého listu (BBCH 12) byly na rostliny pšenice umístěny dospělé bezkřídlé samice kyjatky travní, ty potom na rostliny nakladly nymfy prvního instaru. Za 24 hodin byla imaga mšic odstraněna a počet nymf prvního instaru byl zredukován na 10 v každém

kontejneru. Aby se zabránilo migraci mšic mezi kontejnery, byl na každý kontejner umístěn válec z plastové folie, kterým bylo odděleno vždy všech 10 rostlin pšenice jednoho kontejneru od ostatních. Vývoj mšic od nymfy po dospělce byl zjišťován pomocí svleček. Svlečky byly každý den v každém kontejneru počítány a odstraňovány. Vývoj mšic pokračoval do dospělosti a imaga začala klást nové nymfy. Tyto nové nymfy byly každý den spočítány a odstraněny. Byl zaznamenán celkový počet nakladených nymf a celková délka života mšic v jednotlivých variantách.



Obr. 4: Rostliny jarní pšenice seté *Triticum aestivum* L., odrůda Quintus, pěstované v klimaboxu v zemině s půdní vlhkostí 70 %.

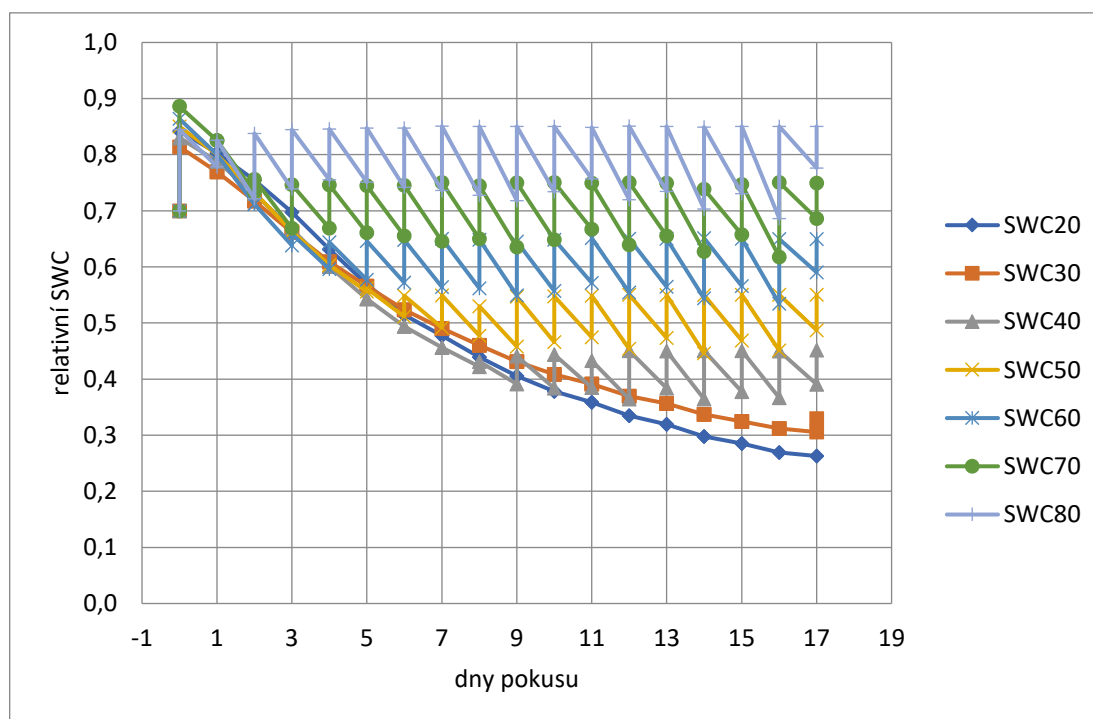
Statistické vyhodnocení naměřených hodnot bylo provedeno pomocí tabulkového procesoru Microsoft Excel 2016 a programu RStudio, Version 1.1.463. Grafy byly vytvořeny pomocí stejného software. Fotografická dokumentace byla pořízena digitálním fotoaparátem Panasonic Lumix DMC.

5. Výsledky

5.1 Evapotranspirace

V průběhu 17 dní bylo dosaženo cílové půdní vlhkosti ve všech variantách, kromě jedné. Ve variantě SWC20 nebylo dosaženo stanovené koncentrace 20 % vůbec, vzešlé rostliny pšenice postupně chřadly a usychaly, a proto nebylo možné tuto variantu použít v další části pokusu. Pro variantu SWC30 bylo dosaženo požadované koncentrace až 17. den od zahájení pokusu, ve variantě SWC40 byla zaznamenána cílová koncentrace 8. den a hodnoty poté kolísaly v rozmezí 36,5 až 45,2 %. Od 6. dne pokusu byla udržována půdní vlhkost ve variantě SWC50 v rozmezí 44,6 až 55,0 % a ve variantě SWC60 oscilovaly od 4. dne pokusu hodnoty od 53,4 do 65,2 %. Cílová SWC pro variantu SWC70 byla naměřena za 2 dny a hodnoty se pak pohybovaly v intervalu 61,8 až 75,6 %. Již od prvního dne byla zemina ve variantě SWC80 v plánovaných hodnotách, konkrétně v rozmezí od 68,6 do 85,1 %.

Souhrnný průběh vysychání zeminy a udržování cílové SWC v kontejnerech je znázorněn v grafu 1.

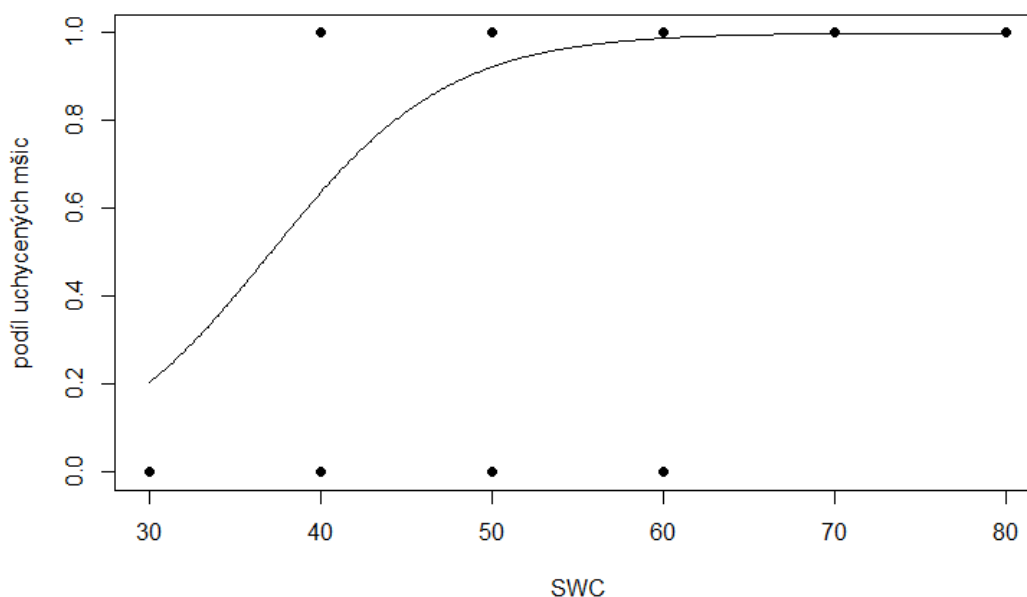


Graf 1: Časový průběh vysychání zeminy a udržování cílové SWC (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita).

5.2 Přijetí hostitelské rostliny mšicemi

5.2.1 Uchycení mšic na rostlinách pšenice pěstovaných v různých SWC

Uchycení dospělých samic mšic na rostlinách pšenice se mezi variantami lišilo. Zatímco ve variantě se zeminou s 30 % půdní vlhkostí se žádný jedinec neuchytil, ve všech ostatních variantách k osídlení došlo, přičemž varianty SWC70 a SWC80 měly úspěšnost osídlení 100 %. Toto pozorování znázorňuje graf 2 proložený logistickou regresní křivkou.



Graf 2: Osídlení rostlin pšenice podle SWC (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita v %)

5.2.2 Kladení na rostlinách pšenice pěstovaných v různých SWC

Ve všech variantách pokusu, kde se na rostlinách pšenice dospělé samice uchytily, pak také nakladly nymfy prvního instaru. Jednalo se konkrétně o varianty s půdní vlhkostí SWC40, SWC50, SWC60, SWC70 a SWC80. Jelikož všechny samice, které se uchytily, se také začaly během sledované doby rozmnožovat, nebylo možné provést statistické zhodnocení dat (nulová variabilita). Lze usuzovat, že mezi těmito skupinami nebyl pozorován signifikantní rozdíl. Ve variantě SWC30 se žádné dospělé mšice na pšenici neuchytily, a tudíž ani nemohly klást.

5.3 Vývoj, plodnost a celková délka života mšic

5.3.1 Vývoj mšic

Vývoj mšic od nymfy prvního instaru po dospělce byl hodnocen po jednotlivých variantách každý den a byly vypočítány tyto statistické ukazatele: průměrný počet dní pozorovaný pro vývoj od nymfy po imago, směrodatná odchylka a střední chyba průměru.

	n	průměr	směrodatná odchylka	střední chyba průměru
SWC40	91	8,07	1,00	0,105
SWC50	78	8,65	1,50	0,170
SWC70	72	7,73	0,83	0,098

Tab. 1: Vývoj mšic od nymf prvního instaru po dospělce (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita 40 %, 50 %, 70 %, n = počet mšic ve variantě).

Výsledky testů Analysis of variance (ANOVA) a TukeyHSD:

Analysis of Variance Table

Response: vyvoj

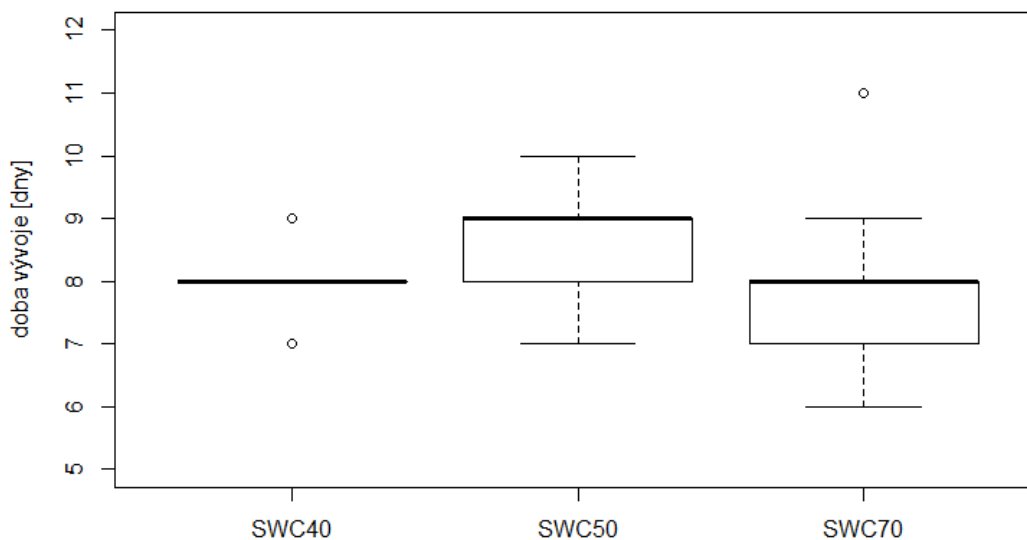
```
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
treatment  2  27.339  13.6696   34.153 9.122e-14 ***
Residuals 238  95.258   0.4002
```

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = vyvoj ~ treatment, data = dev)

```
$treatment
      diff      lwr      upr    p adj
SWC50-SWC40  0.5879121  0.3576784  0.818145727 0.0000000
SWC70-SWC40 -0.2326007 -0.4679432  0.002741723 0.0535124
SWC70-SWC50 -0.8205128 -1.0643644 -0.576661280 0.0000000
```

Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami SWC40 a SWC50 a stejně tak mezi variantami SWC50 a SWC70. Naopak rozdíly mezi skupinami SWC40 a SWC70 nebyly statisticky významné, a to na hladině významnosti $p=0,05$. Nejvíce času pro vývoj do dospělosti potřebovaly mšice ve variantě s vlhkostí zeminy 50 %, zatímco zbylé dvě varianty umožnily mšicím rychlejší vývoj. Uvedené skutečnosti znázorňuje graf 3.



Graf 3: Vývoj mšic od nymfy prvního instaru po dospělce (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita 40 %, 50 %, 70 %).

5.3.2 Plodnost mšic

Také pro hodnocení plodnosti mšic po variantách byly nejprve spočítány stejné parametry jako při hodnocení jejich vývoje, tedy průměrný počet nymf prvního instaru celé snůšky jedné dospělé samice, směrodatná odchylka a střední chyba průměru. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

	n	průměr	směrodatná odchylka	střední chyba průměru
SWC40	91	31,90	20,33	2,131
SWC50	78	31,73	19,64	2,224
SWC70	72	41,73	6,78	0,799

Tab. 2: Plodnost mšic v jednotlivých variantách (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita 40 %, 50 %, 70 %, n = počet mšic ve variantě).

Výsledky testů Analysis of variance (ANOVA) a TukeyHSD:

Analysis of Variance Table

Response: plodnost

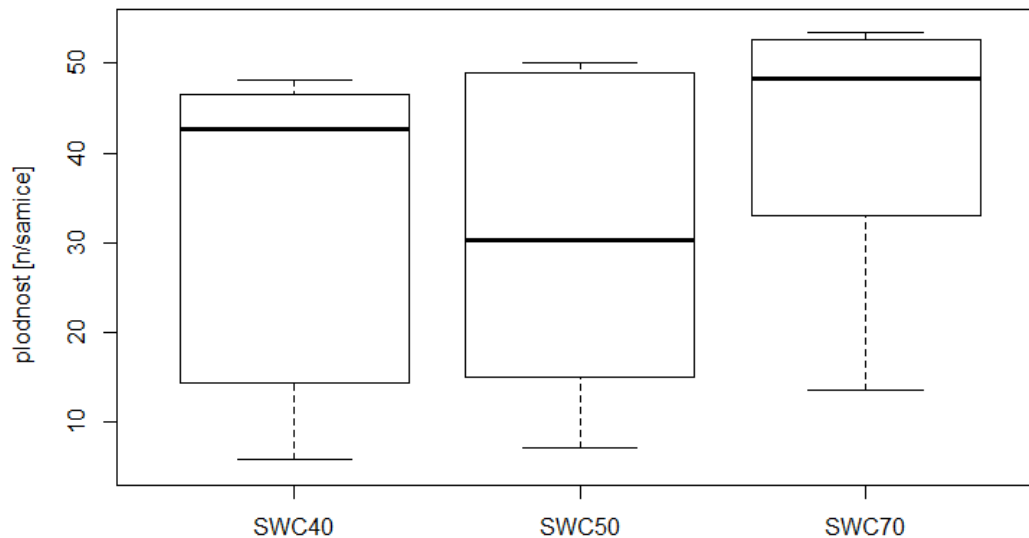
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
treatment	2	10013	5006.6	7.5678	0.0006511 ***
Residuals	238	157454	661.6		

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = plodnost ~ treatment, data = fec)

```
$treatment
      diff      lwr      upr    p adj
SWC50-SWC40 -8.016484 -17.376883  1.343916 0.1096503
SWC70-SWC40  8.336081  -1.232024 17.904185 0.1016476
SWC70-SWC50 16.352564   6.438514 26.266614 0.0003814
```

Nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami SWC40 a SWC50 a také mezi variantami SWC40 a SWC70. Naopak rozdíl mezi skupinami SWC50 a SWC70 byl statisticky významný, opět na hladině významnosti $p=0,05$. Největší počet nakladených mšic prvního instaru byl ve variantě s vlhkostí zeminy 70 %, zbylé dvě varianty měly počet mladých mšic menší, přičemž ale tato odchylka byla průkazná pouze vůči variantě s vlhkostí zeminy 50 %. To je patrné i z grafu 4.



Graf 4: Plodnost mšic v jednotlivých variantách (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita 40 %, 50 %, 70 %, n = počet nakladených nymf prvního instaru).

5.3.3 Celková délka života mšic

Hodnocení celkové délky života mšic je uvedeno v další tabulce, opět byl v jednotlivých variantách posuzován průměrný počet dní života, směrodatná odchylka a střední chyba průměru.

	n	průměr	směrodatná odchylka	střední chyba průměru
SWC40	98	25,36	1,00	0,101
SWC50	86	25,17	13,75	1,483
SWC70	82	26,17	12,80	1,413

Tab. 3: Celková délka života mšic (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita 40 %, 50 %, 70 %, n = počet mšic ve variantě).

Výsledky testů Analysis of variance (ANOVA) a TukeyHSD:

Analysis of Variance Table

Response: preziti

```
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
treatment  2     91  45.267   0.2432  0.7843
Residuals 263  48953  186.134
```

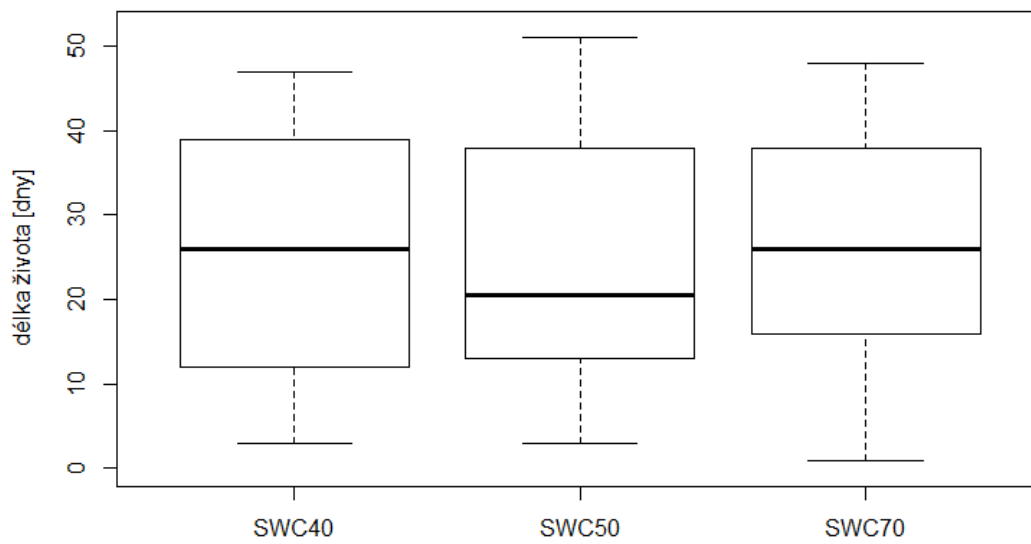
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = preziti ~ treatment, data = lon)

\$treatment

```
      diff      lwr      upr    p adj
SWC50-SWC40 -0.1827243 -4.934224  4.568775  0.9954806
SWC70-SWC40  1.1672474 -3.645580  5.980075  0.8353370
SWC70-SWC50  1.3499716 -3.613465  6.313409  0.7975616
```

Mnohonásobným skupinovým porovnáním nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi skupinami SWC40, SWC50 a SWC70, jinými slovy rozdíly v celkové délce života mšic parazitujících na rostlinách pšenice pěstovaných v zemině s vlhkostí 40 %, 50 % a 70 % nebyly na hladině významnosti 0,05 statisticky průkazné. Toto dokumentuje graf 5.



Graf 5: Celková délka života mšic (SWC = soil water capacity, půdní vodní kapacita 40 %, 50 %, 70 %).

6. Diskuse

Změna klimatu naší planety je nepochybná a bude ovlivňovat mnoho příštích generací (Ceccarelli 2010, Phalkey a kol. 2015, García 2019, Ulibarri a Scott 2019). Do jaké míry se jedná o přirozený proces a jak velký podíl má na této změně lidská činnost je spíše otázka politická než vědecká. Nepravidelnost vodních srážek vystavuje pěstované plodiny stresu suchem, rostliny reagují morfologickými a fyziologickými změnami, mění se exprese genů a tím i proteom celé rostliny (Dinant a kol. 2010, Stallmann a kol. 2018, Quandahor a kol. 2019). Všechny tyto změny mají dopad na populační dynamiku hmyzích škůdců, nicméně tento vliv na herbivory může být paradoxně jak negativní, tak pozitivní (Huberty a Denno 2004, Simpson 2013). Záleží na intenzitě a době trvání vodního stresu a také na tom, jestli je sucho trvalé nebo přerušované.

Rostliny pšenice seté byly v experimentu pěstovány v různé půdní vlhkosti (SWC) v laboratorních podmínkách v režimu zavlažování jednou denně. Tato frekvence zavlažování je všeobecně akceptována (Tariq a kol. 2012, Liu a kol. 2018, Quandahor a kol. 2019), nicméně je nutné si uvědomit, že skutečná vlhkost půdy oscilovala kolem uvedené cílové hodnoty na obě strany. Největší rozdíly mezi půdní vlhkostí před zalitím a po zalití byly ve variantách SWC 70 % a SWC 80 %. To bylo způsobeno tím, že rostliny v těchto variantách byly větší a vitálnější, s dostatkem vláhy, a proto u nich probíhala transpirace intenzivněji a docházelo k větším ztrátám vody než v ostatních variantách. Tím se pokus trochu blíží polním podmínkám, protože na poli samozřejmě nejsou podmínky pro všechny rostliny stejné, textura půdy není homogenní, stejně tak i dopadající srážky, někde je vyvýšenina, někde prohlubeň. Z tohoto pohledu by asi bylo vhodnější udávat SWC v intervalovém rozmezí než jedním konkrétním číslem, např. SWC 45–55 % a ne SWC 50 %.

Přijetí hostitelské rostliny mšicemi bylo hodnoceno pomocí dvou faktorů: uchycení na rostlině a kladení. Ve variantě s půdní vlhkostí 30 % se ani jedna ze 16 inokulovaných mšic neuchytila, rostliny pro ně byly neatraktivní, neperspektivní, a proto je opustily. To je sice pozitivní zjištění, ale na druhou stranu nemůžeme od takto suchem stresované pšenice očekávat hospodářský výnos. Ve všech ostatních variantách k osídlení došlo, rostliny pěstované již ve 40 % půdní vlhkosti byly některými mšicemi akceptovány. Úspěšnost osídlení byla různá, největší ve variantě SWC70 a SWC80, kde se všech 16 mšic se uchytilo. V tomto pokusu tedy mšice preferovaly rostliny pšenice pěstované ve vysoké kontinuální vlhkosti půdy. Je zajímavé, že ve všech

variantách, kde se mšice uchytily, také nakladly nymfy prvního instaru. To znamená, že samice mšic vyhodnotily tyto rostliny jako vhodné pro vývoj dalších generací.

Hodnocení vývoje, plodnosti a celkové délky života mšic bylo provedeno na rostlinách pšenice pěstovaných v zemině s půdní vlhkostí 40 %, 50 % a 70 %.

Vývoj mšic od nymfy prvního instaru po dospělce byl nejpomalejší ve variantě SWC 50 %, průměrně 8,65 dne. To odpovídá zjištění autorů Mody a kol (2009), kteří pozorovali nejpomalejší vývoj mšic na středně stresovaných rostlinách. Naopak nejvíce stresované a nestresované rostliny pšenice umožnily mšicím statisticky významně rychlejší vývoj. To může souviset s vyšším obsahem aminokyselinového dusíku ve floémové tekutině u rostlin ve stresu a s normálním turgorem u rostlin bez stresu. Nicméně Tariq a kol. (2012) publikovali opačné závěry, zjistili nejpomalejší vývoj právě na rostlinách ve středním stresu.

Podobné výsledky byly zjištěny při hodnocení plodnosti mšic neboli počtu nymf nakladených jednou dospělou samicí. Nejvíce nymf nakladly mšice na pšenici ve variantě SWC 70 %, průměrně téměř 42 nymf prvního instaru, nejméně opět ve variantě SWC 50 %. Nicméně statisticky významný rozdíl byl pouze mezi variantami 50 % a 70 %. Jinými slovy mšice měly výrazně početnější snůšku na nestresované pšenici ve srovnání s pšenicí pěstovanou v sušší zemině. Nicméně Tariq a kol. (2012) uvádějí naopak nejvyšší plodnost mšic ve středním stresu ve srovnání s nestresovanými rostlinami.

Celková délka života mšic se pohybovala přibližně mezi 25 až 26 dny a nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi všemi třemi skupinami. Kratší přežití mšic na rostlinách pěstovaných v suchu publikované v literatuře (Huberty a Denno 2004, Mody a kol. 2018) nebylo pozorováno.

Podle statistického vyhodnocení zjištěných hodnot v experimentu byla populační dynamika mšice kyjatky travní na pšenici seté nejlepší na nestresovaných rostlinách pěstovaných v 70 % vlhkosti půdy. Naopak kontinuální střední vodní stres SWC 50 % byl pro populační dynamiku mšic nejméně příznivý a rozdíl proti vodnímu stresu SWC 40 % nebyl velký. To podporuje předchozí úvahy o kontinuálním a přerušovaném vodním stresu. Mšice mohou profitovat více z rostlin v přerušovaném vodním stresu ve srovnání se stresem kontinuálním a nestresovanými hostitelskými rostlinami (Huberty a Denno 2004, Mody a kol. 2009, Simpson 2013).

7. Závěr

Pšenice setá je významná kulturní plodina, která má své postavení ve vzniku a rozvoji lidské civilizace. Je to důležitý zdroj výživy pro miliardy lidí. Probíhající změna klimatu může ovlivnit areál jejího pěstování, výnos i kvalitu, přemnožení herbivorů povede ke zvýšené aplikaci pesticidů. Česká republika je specifická v tom, že z hlediska vodních zdrojů je zcela závislá na atmosférických srážkách. Podmínky pěstování pšenice se u nás mění a měnit se budou. Zvyšuje se frekvence období sucha, pšenice reaguje na toto sucho adaptacemi, které ale ve svém důsledku mohou zvýhodnit některé herbivory.

Přerušovaný vodní stres se ukazuje jako klíčový pro vývoj a množení mšic včetně kyjatky travní. Laboratorní studie s kontinuálním vodním stresem jsou důležité a naprosto nenahraditelné pro pochopení morfologických, fyziologických a genetických změn ve stresované rostlině. Nicméně v přírodě se střídá déšť a sucho, proto by další studie o vlivu sucha na vztah hostitelská rostlina – herbivor měly tuto skutečnost reflektovat. Ať už je design experimentu s vodním stresem rostliny kontinuální nebo přerušovaný, bylo by možná vhodnější definovat půdní vlhkost zeminy v pokusu intervalově, ne pouze jedním číslem.

8. Přehled literatury

Adersen P. C., Brodbeck B. V., Mizell R. F., 2009: Assimilation efficiency of free and protein amino acids by *Homalodisca vitripennis* (Hemiptera: Cicadellidae: Cicadellinae) feeding on *Citrus sinensis* and *Vitis vinifera*. *The Florida entomologist*, vol. 92, no. 1, 116-122.

Bahlmann L., Govender P., Botha A-M., 2003: Leaf epicuticular wax ultrastructure and trichome presence on Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) resistant and susceptible leaves. *African entomology*, 11(1), 59-64.

Bi H., Kovalchuk N., Langridge P., Tricker P. J., Lopato S., Borisjuk N., 2017: The impact of drought on wheat leaf cuticle properties. *BMC plant biology*, 17, 1-13.

Blackman R. L. et Eastop V. F., 2000: Aphids on the world's crops. An identification and information guide. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 105(3), 304-308.

Brázdil R., 2015: Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny a Akademie věd České republiky, Brno.

Ceccarelli S., Grandó S., Maatougui M., Michael M., Slash M., Haghparast R., Rahmanian M., Taheri A., Al-Yassin A., Benbelkacem A., Labdi M., Himoun H., Nachit M., 2010: Plant breeding and climate changes. *Journal of agricultural science*, 148, 627-637.

Dalin P., Ågren J., Björkman C., Huttunen P., Kärkkäinen K., 2008: Leaf trichome formation and plant resistance to herbivory. In: Schaller A. (ed.): *Induced plant resistance to herbivory*, 89-105.

Daryanto S., Wang L., Jacinthe P-A., 2017: Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. *Agricultural water management*, 179, 18-33.

Dinant S., Bonnemain J-L., Girousse C., Kehr J., 2010: Phloem sap intricacy and interplay with aphid feeding. *Comptes rendus – biologies*, 333(6), 504-515.

Dixon A. F. G., 1997: Aphid ecology: life cycles, polymorphism, and population regulation. *Annual review of ecology and systematics*, 8, 329-353.

EPPO, ©2007: Aphids on cereal (online) [cit. 2007.08.14], dostupné z <www.eppo.int>.

Fanta J., 2014: Povodně a sucho: krajina jako základní řešení. Botanický ústav Akademie věd České republiky, Průhonice.

García B. M., 2019: Resilient cultural heritage for a future of climate change. *Journal of international affairs*, 73(1), 101-120.

Grinnan R., Carter T. E. Jr., Johnson M. T. J., 2012: Effects of drought, temperature, herbivory, and genotype on plant–insect interactions in soybean (*Glycine max*). *Arthropod-plant interactions*, 7(2), 201-215.

He J., Chen F., Chen S., Lv G., Deng Y., Fang W., Liu Z., Guan Z., He C., 2011: Chrysanthemum leaf epidermal surface morphology and antioxidant and defense enzyme activity in response to aphid infestation. *Journal of plant physiology*, 168(7), 687-693.

Hollan J., ©2014: Pojmy vztahující se ke globální změně (online) [cit. 2014.01.15], dostupné z <<http://amper.ped.muni.cz/gw/pojmy.html>>.

Huberty A. F. et Denno R.F., 2004: Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: a new synthesis. *Ecology*, 85(5), 1383-1398.

Karley A.J., Mitchell C., Brookes C., McNicol J., O'Neill T., Roberts H., Graham J., Johnson S. N., 2016: Exploiting physical defence traits for crop protection: leaf trichomes of *Rubus idaeus* have deterrent effects on spider mites but not aphids. *Annals of applied biology*, 168(2), 159-172.

Kůdela V., 2013: Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia, Praha.

Kusch S., Pesch L., Panstruga R., 2016: Comprehensive phylogenetic analysis sheds light on the diversity and origin of the MLO family of integral membrane proteins. *Genome biology and evolution*, 8(3), 878–895.

Liu D., Dai P., Li S., Ahmed S. S., Shang Z., Shi X., 2018: Life-history responses of insects to water-deficit stress: a case study with the aphid *Sitobion avenae*. *BMC Ecology*, 18(1), 1-15.

Meier U., 1997: *Biologische bundesanstalt für land- und forstwirtschaft*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

Mody K., Eichenberger D., Dorn S., 2009: Stress magnitude matters: different intensities of pulsed water stress produce non-monotonic resistance responses of host plants to insect herbivores. *Ecological entomology*, 34(1), 133-143.

Ni X. Z. et Quisenberry S. S., 1997: Effect of wheat leaf epicuticular structure on host selection and probing rhythm of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of economic entomology*, 90(5), 1400-1407.

Phalkey R. K., Aranda-Jan C., Marx S., Höfle B., Sauerborn R., 2015: Systematic review of current efforts to quantify the impacts of climate change on undernutrition. *Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America*, 112(33), 4522-4529.

Quandahor P., Lin C., Gou Z., Coulter J. A., Liu C., 2019: Leaf morphological and biochemical responses of three potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to drought stress and aphid (*Myzus persicae* Sulzer) infestation. *Insects*, 10(12), 1-17.

Rai B., Klein A. M., Walter J., 2018: Chronic dryness and wetness and especially pulsed drought threaten a generalist arthropod herbivore. *Oecologia*, 188(3), 931-943.

Robinson E. A., Ryan G. D., Newman J. A., 2012: A meta-analytical review of the effects of elevated CO₂ on plant–arthropod interactions highlights the importance of interacting environmental and biological variables. *New Phytologist*, 194(2), 321-336.

Simpson K. L. S., 2013: Interactions between aphids and their host plants under drought stress. The University of Edinburgh, School of GeoSciences, Edinburgh, 197 s. (disertační práce). Dep. The University of Edinburgh.

Slavík B., 1995: *Rosa canina*. In: Slavík B. (ed.): *Květena ČR, díl 4. Academia, Praha: 230-231.*

Stallmann J., Schweiger R., Müller C., 2018: Effects of continuous versus pulsed drought stress on physiology and growth of wheat. *Plant biology*, 20(6), 1005-1013.

Tariq M., Denis J. Wright D. J., Rossiter J. T., Staley J. T., 2012: Aphids in a changing world: testing the plant stress, plant vigour and pulsed stress hypotheses. *Agricultural*, 14(2), 177-185.

Ulibarri N. et Scott T. A., 2019: Environmental hazards, rigid institutions, and transformative change: How drought affects the consideration of water and climate impacts in infrastructure management. *Global environmental change*, 59, 1-13.

Wójcicka A., 2016: Fecundity and survival of grain aphid at various growth stages of waxy and waxless triticale. *Polish Journal of environmental studies*, 25(2), 843-849.

Züst, T. et Agrawal A. A., 2016: Mechanisms and evolution of plant resistance to aphids. *Nature plants*, 2, 1-9.

Žalud Z., 2019: Zemědělské sucho v české republice: vývoj, dopady a adaptace. Agrární komora České republiky, Praha.