

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv vodního stresu na výměnu plynů a fluorescenci
chlorofylů brambor**

Bakalářská práce

Václav Veleta

Rostlinná produkce

doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv vodního stresu na výměnu plynů a fluorescenci chlorofylů brambor" 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 15.7.2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za trpělivost, cenné rady, pomoc a čas strávený nad opravami závěrečné práce.

Vliv vodního stresu na výměnu plynů a fluorescenci chlorofylů brambor

Souhrn

V práci byl sledován vliv vodního stresu na výměnu plynů a fluorescenci chlorofylů brambor. V posledních letech jsou stále více patrné extrémní projevy počasí – suchá jara posledních let nás nutí hledat řešení, jak s těmito extrémy bojovat. Jedním ze způsobů je výběr vhodných odrůd, které jsou odolné vůči vodnímu stresu.

Cílem práce bylo stanovit rozdíly mezi vybranými odrůdami brambor (Laura, Marabel, Milva a Valfi) v reakci na vodní stres. U vybraných odrůd byla sledována rychlost výměny plynů, fluorescence chlorofylů a z hodnot fotosyntézy a transpirace byla následně vypočítána hodnota efektivity využití vody. Nádobový pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ. Rostliny byly vystaveny vodnímu stresu po dobu 71 dní. Schéma pokusu představovalo tři varianty – zavlažovaná kontrola, varianta s vodním deficitem a trvale zamokřená varianta. V průběhu pokusu bylo provedeno 11 měření ve fázích BBCH: 109, 209, 305, 406, 509, 625, 639, 707, 805, 901 a 909. Varianta s vodním deficitem byla dvakrát rehydratována, ve fázích 406 a 703 BBCH. Rychlost výměny plynů byla měřena přístrojem LCpro+ a fluorescence chlorofylů přístrojem OS1 – FL.

Z výsledků vyplývá, že vodní stres měl negativní vliv na rychlost fotosyntézy a transpirace u odrůd brambor. Byl prokázán vliv odrůdy na rychlost fotosyntézy v reakci na vodní stres, neboť nejnižší rozdíl mezi kontrolní a suchou variantou byl zjištěn u odrůdy Milva ($0,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) naopak nejvyšší rozdíl byl stanoven u odrůdy Laura ($0,72 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Nejnižší rozdíl mezi kontrolní a zamokřenou variantou byl zjištěn u odrůdy Valfi ($0,04 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Na straně druhé nejvyšší rozdíl byl naměřen u odrůdy Laura ($0,55 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). V případě stresu anoxie je možné konstatovat, že anoxie neměla prokazatelně negativní vliv na rychlost transpirace u odrůd brambor, Nejnižší rozdíl mezi kontrolní a suchou variantou byl zjištěn u odrůdy Marabel ($0,11 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). U odrůdy Milva byl rozdíl nejvyšší ($0,85 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Vodní deficit průkazně ovlivnil efektivitu využití vody a fluorescenci chlorofylů. Fluorescence chlorofylu nebyla ovlivněna odrůdou. Byla potvrzena

hypotéza o existenci meziodrůdového rozdílu v reakci na působení stresu, o vlivu vodního stresu na fluorescenci chlorofylů a rychlost výměny plynů.

Klíčová slova: lilek brambor, fluorescence, fotosyntéza, transpirace, vodní deficit, vodní stres, zamokření

Influence of water stress on gass exchange and fluorescent chlorophylls of potatoes

Summary

The thesis examined the effect of water stress on gas exchange and chlorophyll fluorescence of potatoes. In recent years, extreme weather events have become increasingly apparent – dry spring of recent years have forced us to look for solutions to fight these extremes. One way is to select suitable varieties that are resistant to water stress.

The aim of the work was to find out the differences between selected varieties of potatoes (Laura, Marabel, Milva and Valfi) in response to water stress. For selected varieties, the rate of gas exchange, chlorophyll fluorescence was monitored, and the value of water utilization efficiency was subsequently calculated from the values of photosynthesis and transpiration. The container experiment was established in partially controlled conditions in the greenhouse of the Department of Botany and Plant Physiology of the FAPPZ. The plants were exposed to water stress for 71 days. The experimental scheme consisted of three variants – an irrigated control, a variant with a water deficit and a permanently wet variant. During the experiment, 11 measurements were made in the BBCH phases: 109, 209, 305, 406, 509, 625, 639, 707, 805, 901 and 909. Plants of the water-deficient variant was rehydrated twice, in the 406 and 703 BBCH phases. The gas exchange rate was measured with an LCpro+ instrument and chlorophyll fluorescence with an OS1-FL instrument.

The results show that water stress had a negative effect on the rate of photosynthesis and transpiration in potato varieties. The influence of the variety on the rate of photosynthesis in response to water stress was demonstrated, as the lowest difference between the control and dry variant was found in the Milva variety ($0.38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and the highest difference was found in the Laura variety ($0.72 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). The lowest difference between the control and wet variant was found in the Valfi variety ($0.04 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). On the other hand, the highest difference was measured for the Laura variety ($0.55 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). In the case of anoxia stress, it can be stated that anoxia did not have a demonstrably negative effect on the rate of transpiration in potato varieties. The lowest difference between the control and dry variant was found in the Marabel variety ($0.11 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). The difference was the

highest for the Milva variety (0.85 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Water deficit has significantly affected water use efficiency and chlorophyll fluorescence. Chlorophyll fluorescence was not affected by variety. The hypothesis of the existence of an interspecific difference in response to stress, of the effect of water stress on chlorophyll fluorescence and the rate of gas exchange was confirmed.

Keywords: potato, fluorescence, photosynthesis, transpiration, water deficit, water stress, waterlogging

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl a hypotézy	11
3	Literární rešerše	12
3.1	Lilek brambor	12
3.1.1	Charakteristika rostliny	13
3.1.2	Historie pěstování brambor	13
3.1.3	Rozdělení brambor podle užitkových směrů	14
3.1.3.1	Konzumní brambory	15
3.1.3.2	Průmyslové brambory	15
3.1.3.3	Sadbové brambory	15
3.1.3.4	Krmné brambory	16
3.1.4	Rozdělení do varných typů	16
3.1.5	Podmínky pěstování	16
3.2	Stres	18
3.2.1	Vodní stres	21
3.3	Fotosyntéza	23
3.4	Fluorescence chlorofylů	24
4	Metodika	25
4.1	Charakteristika rostlinného materiálu	25
4.2	Charakteristika pokusu	25
4.3	Metody měření fyziologických charakteristik	26
4.3.1	Měření primárního metabolismu	26
4.3.2	Fluorescence chlorofylů	26
4.3.3	Efektivita využití vody (WUE)	27

5	Výsledky	28
5.1	Rychlost fotosyntézy.....	28
5.2	Rychlost transpirace.....	33
5.3	Efektivita využití vody	40
5.4	Fluorescence chlorofylů	41
6	Diskuze	43
6.1	Rychlost fotosyntézy.....	43
6.2	Rychlost transpirace.....	44
6.3	Efektivita využití vody	45
6.4	Fluorescence chlorofylů	46
7	Závěr	48
8	Použitá literatura	49
9	Seznam grafů.....	56

1 Úvod

Lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.) známý též jako brambor nebo brambory je víceletá hlíznatá rostlina, která se pěstuje jako jednoletá plodina. Brambory jsou pěstovány pro jejich hlízy – zásobní orgány, které mají vysoký obsah polysacharidů a dalších látek potřebných pro lidskou výživu. Brambory jsou v osevním postupu považovány za zlepšující předplodinu, v celosvětovém měřítku jsou čtvrtou nejvýznamnější plodinou s pěstitelskou plochou kolem devatenácti milionů hektarů. Přesto však osázené plochy v České republice klesají a v současné době se pěstují na ploše pohybující se okolo 30 000 ha. Za poklesem plochy brambor v České republice stojí především levnější dovoz z okolních států, nákladná technologie a v neposlední řadě kolísavé výnosy způsobené extrémní v počasí. Výnos se pohybuje okolo 20-30 t/ha. Z hlediska zemědělské produkce je dělíme na konzumní a škrobové.

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující výnos je množství srážek a jejich distribuce. Stále častější jsou srážkově podprůměrné roky, kdy sumu srážek z velké části tvoří přívalové deště. V těchto podmínkách jsou rostliny vystavovány působení vodního stresu. Brambory se řadí mezi plodiny se zvýšenou citlivostí k vodnímu stresu.

V případě vodního stresu můžeme rozlišovat dvě základní situace. V případě nedostatku vody je rostlina vystavena vodnímu deficitu, který se projevuje zhoršeným průběhem fotosyntézy, zpomalením růstu, dochází k vadnutí a při dlouhotrvajícím nedostatku vody může dojít i k úhynu rostliny. Opačný problém je zamokření půdy, kdy z důvodu zvyšování obsahu vody v půdních pórech dochází k poklesu dostupného kyslíku (hypoxie). Při kritických podmínkách přechází hypoxie v anoxii (naprostý nedostatek kyslíku). K hypoxii může docházet při vlhkém průběhu počasí, nejnáchylnější bývají těžké jílovité půdy s vysokou vododržností. Vliv zamokření nebývá pro rostlinu tak negativní jako vliv sucha.

Mezi způsoby boje s vodním stresem můžeme zařadit správnou agrotechniku, hnojení organickými hnojivy, zdravý osevní postup a do určité míry výběr vhodné odrůdy do daných podmínek.

2 Cíl a hypotézy

Vzhledem k měnící se klimatické situaci, kdy stále častěji přicházejí suché roky s nerovnoměrnou distribucí srážek, musí pěstitelé reagovat na nastalou situaci. Jednou z možností, jak dopady klimatické změny mírnit, je výběr vhodných odrůd odolných ke stresorům.

Cílem práce zjistit meziodrůdové rozdíly v rychlosti výměny plynů a fluorescence chlorofylů rostlin brambor vlivem nedostatku a nadbytku vody.

Na základě daného cíle byly stanoveny následující hypotézy:

1. Existuje meziodrůdový rozdíl v reakci na působení stresu.
2. Existuje vliv vodního stresu na fluorescenci chlorofylů.
3. Existuje vliv vodního stresu na rychlost výměny plyn

Výběr brambor jako pokusného materiálu nebyl náhodný. Jedná se o zajímavou plodinu, z hlediska projevů stresu, ke které má autor, díky působení na farmě v bramborářské výrobní oblasti, vztah.

3 Literární rešerše

3.1 Lilek brambor

Brambor (*Solanum tuberosum* L.) se řadí k nejdůležitějším plodinám, které v České republice pěstujeme. Je využíván především v lidské výživě, jako krmivo pro hospodářská zvířata nebo jako surovina pro výrobu škrobu nebo lihu (Jůzl a kol., 2015). Z celosvětového hlediska se jedná o 4. nejdůležitější potravinu s roční sklizní přesahující 320 milionů tun. V současné době je popsáno více než 4000 odrůd vhodných pro nejrůznější abiotické podmínky, tato genetická rozmanitost umožňuje pěstování brambor v různých oblastech světa (Barra a kol., 2013).

Vysoký obsah vitamínu C, který je mnohdy vyšší než u některých druhů zeleniny, činí z brambor velmi důležitou složku našeho jídelníčku. Brambory však nejsou bohaté pouze na vitamín C, obsahují i řadu dalších nám prospěšných látek, například soli draslíku a hořčíku činí z brambor zásaditou potravinu. Při konzumaci živočišných bílkovin a tuků a při jejich odbourávání se lidské tělo okyseluje, což může mít vliv na srdeční činnost. Právě konzumace zásaditých potravin, jako například brambor může takovým situacím předcházet (Rybáček a kol., 1988).

Z hlediska zemědělské produkce jsou brambory důležité tím, že v osevním postupu fungují jako zlepšující předplodina (nakypřují půdu, odplevelují pozemek a zanechávají v půdě živiny pro následné plodiny). Pro zemědělský podnik je výhodná i distribuce prací v bramborách – sázejí se po zasetí hlavních jařin a sklizeň probíhá před sklizní cukrové řepy a před zahájením podzimních prací (Dráb, 1956).

Z polních plodin dovezených z Nového světa se brambory uplatnily později než kukuřice a tabák. Přesto si tato plodina našla široké uplatnění jak v potravinářství, tak v průmyslu. Okopaniny spolu s jetelovinami stály za zánikem trojpolního hospodaření, nahradily úhor a umožnily intenzifikaci osevního postupu. V nížinách se jednalo především o vojtěšku a cukrovku, ve vyšších polohách právě o brambory a jetel (Rybáček a kol., 1988).

Brambory se často pěstují i v oblastech s vyšší nadmořskou výškou, v takových oblastech často panují i poměrně extrémní podmínky. Nejrůznější vnější stresory, kterým jsou

brambory vystaveny mohou způsobit snížení výnosů. Mezi hlavní vnější vlivy působící během vegetace na rostliny bramboru patří teplota a vodní poměry (Mariana a Hambdani, 2016).

3.1.1 Charakteristika rostliny

Lilek brambor je jednoletá bylina, patřící do čeledi lilkovité (*Solanaceae*), která zahrnuje přibližně tisíc dalších druhů.

Brambory mají hranatou, bohatě větvenou lodyhu, která může dorůst výšky až 100 cm. Listy jsou lichozpeřené, řapíkaté a stejně jako lodyha krátce chlupaté. Plodem je zelená 2–4 cm velká bobule s bílými semeny (Dorušková, 2008). Brambory však nepěstujeme pro plody, ale pro hlízy, které jsou přeměněné podzemní části stonku (Spooner a Salas, 2006).

Hlízy jsou tak bohaté na škrob, že brambory z celosvětového hlediska považujeme za čtvrtou nejvýznamnější plodinu (FAO, 2008).

Způsoby rozmnožování brambor jsou dva – generativně (semeny) nebo vegetativně (hlízami). V České republice se brambory množí téměř výhradně vegetativně, z důvodu zachování výkonnosti a uniformity odrůd (Vokál a kol., 2000). Generativního množení se využívá při šlechtění nových odrůd, kdy se ze semen pěstují semenáče, které posléze prochází výběrem a vegetativním množením. Vegetativně namnožené rostliny ze semenáčů (klony) prochází výnosovými zkouškami a pokud jsou výsledky dobré, může vzniknout nová odrůda (Rybáček a kol., 1988).

3.1.2 Historie pěstování brambor

Brambory jsou plodina pocházející z Nového světa, konkrétně ze západu Jižní Ameriky (Kutnar, 1963). Brambory se do evropských zemí dostaly přes koloniální mocnosti – Španělsko a Anglii. Brambory byly převezeny do naprosto jiných podmínek, než ve kterých se vyvíjely. Rozšíření brambor po Evropě bylo velmi pozvolné, v evropských státech měly zcela dominantní postavení obiloviny a změnit stravovací návyky obyvatelstva nebylo snadné. Vzhledem k těmto důvodům došlo k většímu využívání brambor až 200 let po jejich dovezení (Hruška, 1974).

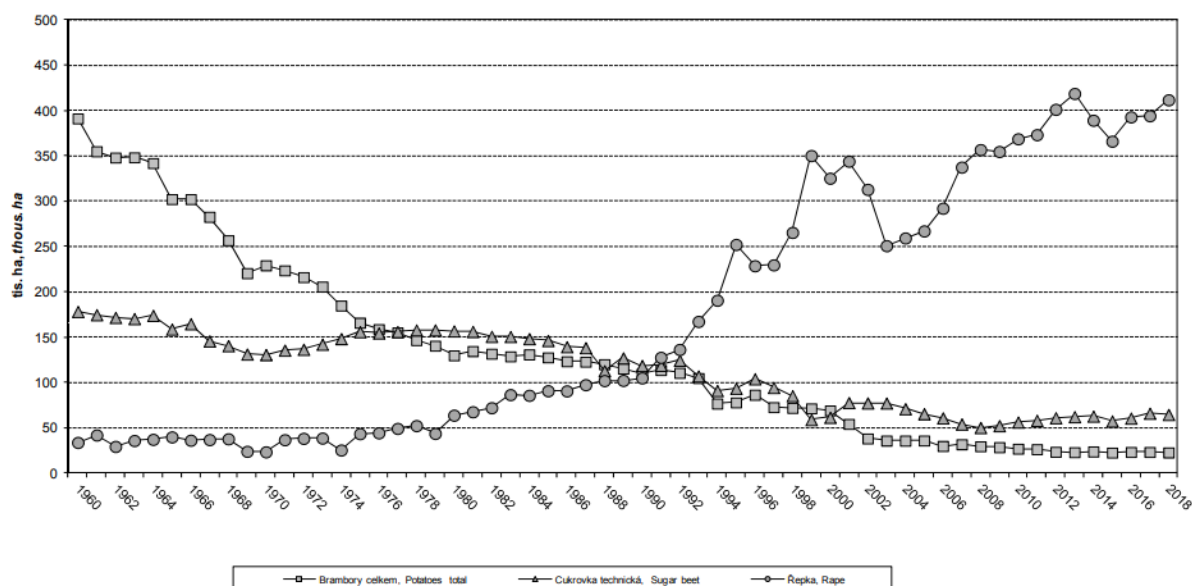
Zpočátku sloužily jako okrasné rostliny, posléze jako potrava pro hospodářská zvířata. Brambory byly jako složka lidské potravy odmítány, to však změnila válka, neúroda obilí a hlad (Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, 2020).

V českých zemích došlo k rozšíření ploch ve druhé polovině 18. století (Vokál a kol., 2003). Na jídelniček se ve větší míře dostaly na přelomu 18. a 19. století, čímž došlo k větší jistotě potravy a díky relativně vysokému obsahu vitamínu C i k potlačení kurdějí. Podle Rybáčka a kol. (1988) se u nás brambory začaly jako polní plodina a potravina uplatňovat hlavně v okolí hustě obydlených hornických měst. Zpočátku se jednalo spíše o nouzovou potravinu, protože neexistovaly zkušenosti s kuchyňskou úpravou.

Díky tomu, že se evropská populace stala na bramborách do značné míry závislá, docházelo v dobách neúrody k hladomorům. Například v polovině 19. století vlivem napadení brambor plísní bramborovou (*Phytophthora infestans*) a následným hladomorem zemřel v Irsku milion obyvatel a další přibližně milion emigroval (Čepl, 2005).

Spotřeba brambor se v českých zemích postupně zvyšovala až dosáhla svého vrcholu, a to v roce 1850 – 170 kg na osobu za rok. V dalších letech však spotřeba začala klesat, a to hlavně z důvodu zvýšené dostupnosti jiných druhů potravy (Vokál a kol., 2003). V současné době v České republice spotřebuje každý obyvatel průměrně 70 kg brambor ročně (Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, 2020).

Po roce 1989 dochází k poklesu plochy brambor v České republice (viz obr. 1) – čeští zemědělci nejsou schopni cenou a výnosy konkurovat levnějšímu dovozu z okolních států. Výnosy brambor jsou velmi nestabilní, a to především z důvodu nerovnoměrného úhrnu a distribuce srážek v průběhu vegetace. Vstupy do výroby rostou, ale ceny zemědělských produktů dlouhodobě stagnují (Hamouz a kol., 2008).



Obrázek 1: Vývoj osevních ploch vybraných plodin (ČSÚ, 2018)

3.1.3 Rozdělení brambor podle užitkových směrů

Brambory dělíme podle směru jejich využití do čtyř kategorií, jak uvádí Rybáček a kol. (1988):

1. konzumní brambory,
2. průmyslové brambory,
3. sadbové brambory,
4. krmné brambory.

3.1.3.1 Konzumní brambory

Potravinářské využití bramborových hlíz je dvojitý, a to ve formě přímé spotřeby a pro výrobu potravinářských výrobků.

Brambory určené k přímé spotřebě jsou neupravené hlízy, v současné době je trend hlízy před prodejem koncovému zákazníkovi vyprat. Hlízy, které se používají pro výrobu potravinářských výrobků skončí povětšinou jako smažené polotovary (hranolky) nebo se zpracují na lupínky (chipsy). Výhodou brambor jakožto potraviny je jejich snadná dostupnost a široké rozšíření. Nevýhodou může být poměrně náročné skladování, při kterém může docházet ke značným ztrátám (Rybáček a kol., 1988).

Hlízy brambor jsou velmi hodnotnou složkou naší stravy, podle Čepla a kol. (2012) jsou dokonce nejlepším potravinovým koncentrátem, vzhledem k jejich složení.

3.1.3.2 Průmyslové brambory

Jedním z dalších směrů využití brambor je jejich průmyslové zpracování na škrob a líh. Škrob a líh tvoří základ pro řadu dalších potravinářských výrobků. K výrobě těchto surovin se používají brambory průmyslové, které jsou speciálně šlechtěny na vysoký obsah sušiny (tedy škrobu) a dosahují vyšších výnosů než konzumní odrůdy. Proces výroby škrobu ve své podstatě sestává z nastrohání brambor, vypírání škrobu, následném zahuštění a sušení. Líh se z brambor vyrábí takzvanou kvasnou cestou. Brambory se po vyprání zpaří, zcukří a zkvasí. Po zkvašení dochází k destilaci (Rybáček a kol., 1988).

3.1.3.3 Sadbové brambory

Hovoříme-li o sadbových bramborách, svým způsobem se jedná o obě předchozí skupiny. Smysl sadbových brambor je rozmnožení rostlinného materiálu pro další sezónu. Vzhledem k obrovské genetické variabilitě při generativním množení brambor probíhá jejich množení vegetativně. Vegetativní množení přináší výhodu uniformity a stálosti odrůd, ale má i svá rizika – virózy přenášející se z mateřské rostliny na množitelský materiál. Další nevýhodou může být problém se skladováním (Guenther, 2001).

3.1.3.4 Krmné brambory

Brambory v České republice přímo za účelem zkrmování pěstovány nejsou, využívá se však odpad vzniklý při třídění brambor konzumních a sadbových, případně neprodejných přebytky (Šantrůček a kol., 2007). Během výroby potravinářských výrobků z brambory rovněž vzniká zkrmitelný odpad – slupky, výkrojky atd. (Rybáček a kol., 1988).

3.1.4 Rozdělení do varných typů

Pro potřeby spotřebitele se brambory dělí do čtyř skupin podle jejich stolní hodnoty:

Varný typ A: Lojovité, pevné brambory jemné struktury, nerozvářivé, slabě moučnaté. Vhodné pro přípravu bramborového salátu a ke konzumaci jako vařené.

Varný typ B: Polomoučnaté a polopevné brambory s jemnou až hrubší strukturou. Vhodné jako přílohy.

Varný typ C: Měkké, moučnaté hlízy s jemnou až středně hrubou strukturou. Vhodné k přípravě těst, kaší a výrobků z brambor.

Varný typ D: Hrubé, silně moučnaté, silně rozvářivé brambory nevhodné pro konzum (Vokál a kol., 2000).

3.1.5 Podmínky pěstování

Podle Hamouze (1994) se brambory v České republice dají pěstovat v podstatě ve všech výrobních oblastech. Z hlediska substrátu jsou vhodnější lehké až středně těžké, dobře propustné půdy se slabě kyselou půdní reakcí a hloubkou ornice alespoň 15 cm. Brambory velmi dobře reagují na hnojení statkovými hnojivy. Rybáček a kol. (1988) dodávají, že ačkoliv se brambory v minulosti pěstovaly téměř po celé republice, v současnosti je jejich produkce (s výjimkou nejranějších brambor) koncentrována do bramborářských oblastí.

Z hlediska půdní reakce Vokál a kol. (2003) konstatuje, že bramborám nejlépe vyhovuje kyselá půdní reakce (5,5 – 6,5 pH) a že nedochází k poklesu výnosu ani při pH 4,8. Pokud jsou navíc brambory pěstovány v zásadité půdní reakci, zvyšuje se nebezpečí výskytu strupovitosti bramboru (*Streptomyces scabiei*). Rybáček a kol. (1988) však uvádí, že vzhledem k používání fyziologicky kyselých hnojiv a zanedbávání vápnění dochází k poklesu půdní reakce

k hodnotám pH pod 5 což je i pro brambory jakožto plodiny, která dává přednost slabě kyselým půdám, nepříznivé. Pokles pH pod 5 narušuje schopnost přijímat živiny (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+), omezuje činnost mikroorganismů a mineralizace a snižuje stabilitu půdních agregátů.

Teplota je velmi důležitým aspektem při pěstování brambor, nejlepší podmínky pro klíčení jsou při teplotách okolo 15-20 °C (Rybáček a kol., 1988). Podle Govindakrishnana a Haverkorta (2006) jsou brambory schopné růst pouze v rozmezí průměrných denních teplot od 5 do 21 °C. Podle Rybáčka a kol. (1988) je optimální teplota pro růst hlíz 17 °C, avšak ještě větší vliv, než vzdušná teplota má teplota půdy.

Při pěstování brambor je vodní deficit nebo naopak zamokření jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující výnos. Pokud chceme dosáhnout dobrých výnosů, musí být distribuce vody dostatečná a pokud možno bez extrémních výkyvů (Lutaladio a kol., 2009).

Podle Vokála a kol. (2000) potřebuje brambora nejméně vody při klíčení. Pokud využíváme technologie předklíčování sadby, hlízy si vystačí pouze s vodou, kterou obsahují. Naopak nejvíce vláhy potřebuje rostlina brambory v období intenzivního růstu natě a hlíz (Rybáček a kol., 1988). Vláhová nejistota a sucho v období nasazování hlíz se nemusí projevit pouze na výnosu, ale může se projevit i strupovitostí na hlízách (Vos a MacKerron, 2000).

Pokud nastane opačná situace, tedy anoxie z důvodu zamokření, můžeme pozorovat, že stejně jako brambory nesnáší sucho, nesnáší také zamokření. V důsledku zamokření je narušena správná funkce kořenového systému, který nemá přístup ke kyslíku. Mezi další důsledky zamokření můžeme uvést větší tlak chorob a vyplavení pohyblivých živin (například dusíku) mimo dosah kořenů (Vos a MacKerron, 2000).

Rybáček a kol. (1988) konstatují, že požadavky brambor na vodu je možno vyjádřit různými způsoby. Všeobecně se však nejvíce využívá transpirační koeficient – spotřeba vody v kilogramech na vytvoření kilogramu sušiny biomasy. Dále autoři uvádí, že tyto hodnoty mohou dosahovat od 280 do 450. Willigen a kol. (1995) však uvádí, že toto rozpětí se může pohybovat od 300 do 2000 v závislosti na odrůdě a prostředí.

Podle Rybáčka a kol. (1988) je pro správný růst brambor zapotřebí kyprá a biologicky aktivní půda. V ideálním případě brambory hnojíme jak statkovými, tak minerálními hnojivy.

Nejdůležitější prvky z hlediska výživy brambor jsou podle Rybáčka a kol. (1988) dusík, fosfor, draslík, vápník a hořčík. Dusík je zapotřebí pro tvorbu aminokyselin a bílkovin. Vzhledem k jeho vysoké pohyblivosti jeho zásobenost v půdě kolísá.

V případě fosforu je jeho zásoba v půdě tvořena většinou málo rozpustnými sloučeninami s vápníkem, hliníkem a železem (Rybáček a kol., 1988).

Draslík je v rostlinách odpovědný za transport látek ke kořenům, jeho dostatek je důležitý pro správné hospodaření s vodou, podle Vaňka a kol. (1998) zároveň dobré zásobení rostlin draslíkem může být zodpovědné za snížení transpiračního koeficientu.

3.2 Stres

Stres nelze zcela snadno definovat, protože stav, který jednomu druhu vyhovuje může jiný druh usmrtit (Mahajan a Narendra). Obecně však můžeme stres definovat jako nepříznivý stav organismu, který je způsoben negativními vlivy vnějšího prostředí (Levitt, 1980). Stres je stav, ve kterém se rostlina nachází díky působení stresorů (sucho, anoxie, zasolení...).

Na působení stresoru na rostliny existují dva základní pohledy. Podle Levitta (1980) je jeden ze způsobů založen na mechanice – čím větší silou na rostlinu působí vnější vlivy (stresory), tím je způsobeno větší poškození. Další způsob je, že stres a stresory jsou extrémní abiotické faktory, které ovlivňují rostliny natolik, že je inhibován růst a rostlina je nucena adaptovat se na vnější působení (Nilsen a Orcutt, 1996). Pokud je překročena únosná mez, kterou je organismus zatížený stresem zvládnout, dochází k trvalému poškození nebo ke smrti (Larcher, 1987). Každý rostlinný druh má své mechanismy, jak se stresem bojovat, pokud by je neměl, vedlo by to k jeho eliminaci (Nicolaidis a kol., 2015).

Působení stresu nemusí mít na rostlinu nutně negativní vliv, pokud je rostlina stresorům vystavena v únosné míře, může mít jejich působení pozitivní vliv (Hnilička a Hniličková, 2016).

Stresory můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin podle jejich původu – biotické a abiotické. V případě stresorů abiotických jsou původci stresu faktory prostředí, ve kterém se organismus nachází, například vodní stres, zasolení, nedostatek živin apod. Mezi biotické stresory naopak řadíme škody způsobené živými organismy, nejčastěji se jedná o choroby a

škůdce. Poškození stresory z jedné skupiny může pro rostlinu znamenat větší náchylnost k působení stresorů ze skupiny druhé (Kůdela a kol., 2013).

Podle Wang a kol. (2001) stres způsobuje řadu fyziologických, biochemických, morfologických a molekulárních změn, které mají nepříznivé dopady na růst rostlin a jejich produktivitu. Kůdela a kol. (2013) konstatují, že abiotické prostředí, v němž rostliny žijí má dvě složky, a to klima a substrát.

Velké množství abiotických stresů je vzájemně podobných a mohou způsobovat obdobné poškození. Například stres ze sucha a zasolení, kdy oba tyto stresory jsou popisovány jako osmotický stres. Proto tyto na první pohled odlišné situace aktivují v rostlině podobné procesy (Wang a kol., 2008).

Podle Kůdely a kol. (2013) stresové faktory můžeme dělit ještě dále podle jejich původců. Abiotické faktory dále dělíme na fyzikální, mezi které patří mechanické účinky, nadbytek nebo nedostatek záření a vlivy teplot, a na chemické, mezi které řadíme vodní faktory, nedostatek kyslíku, živin v půdě, zasolení a vliv pesticidů. Mezi biotické faktory můžeme řadit herbivorní živočichy, patogeny, parazitické organismy nebo alelopatii.

Síla nebo intenzita stresoru působícího na rostlinu se nedá snadno určit. Stres může probíhat v malé míře a finální projev nemusí být příliš výrazný, pokud však i slabý stres trvá dlouhou dobu stává se stresem chronickým a dají se očekávat fyziologické změny pozorovatelné na rostlině. Naopak i poměrně velký stres který působí krátkou dobu nemusí být pozorovatelný (Orcutt a Nilsen, 2000). Reakci rostlin na stres můžeme pozorovat v různém časovém horizontu podle toho, jakému stresoru byla rostlina vystavena. Stres z teplotních extrémů je například pozorovatelný za poměrně krátkou dobu, naopak působení sucha nebo zamokření se projeví až po určité době (Boyer, 1982).

Podle Kůdely a kol. (2013) může stresor na rostlinu v různé intenzitě a déle působit po celou dobu vegetace. Čím dále rostlina žije, tím je větší pravděpodobnost, že se s nějakým stresorem setká. V posledních letech je stále patrnější, že na rostlinu nepůsobí pouze vlivy způsobené prostředím, ale i faktory, které má na svědomí lidská činnost.

Vzhledem k tomu, že rostliny jsou organismy, které jsou pevně svázány se stanovištěm, nemohou před stresem utéct. Vzhledem k této skutečnosti si rostliny vyvinuly různé

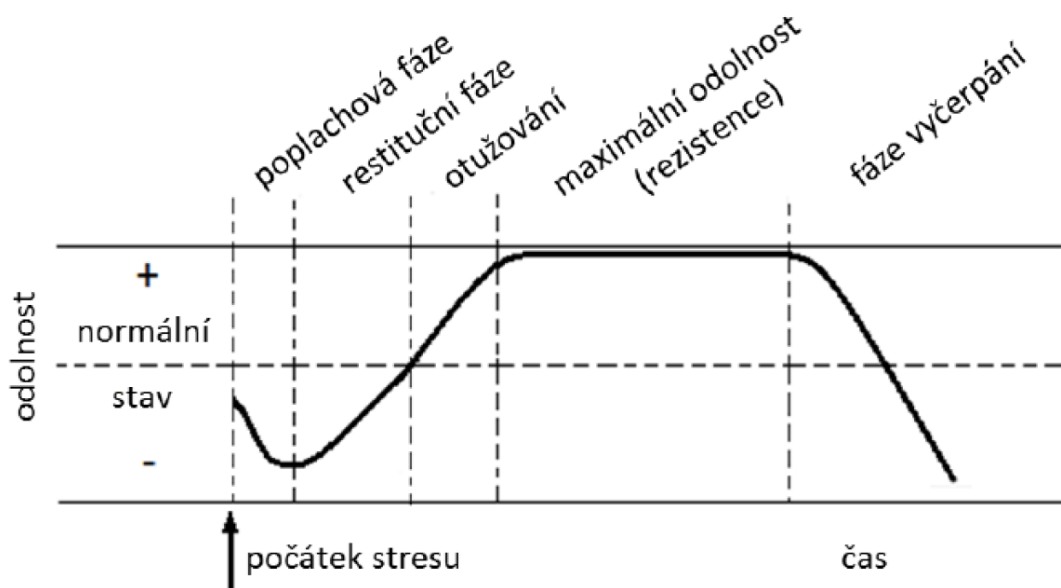
mechanismy reakcí na boj se stresory. Tento způsob boje se stresory není jednoduchý, ale spíše se jedná o celý komplex reakcí (Shao a kol., 2007). Existují dva základní způsoby odpovědi na působení stresorů – vyhýbání se stresu nebo tolerance vůči němu (Flowers, 2003). Vyhýbání se stresu může rostlina uskutečňovat na úrovni buněčné, na úrovni orgánů nebo celého organismu vyloučením stresoru. Jedna z možných cest, jak bojovat se stresem je budování tolerance vůči němu – šlechtění rostlin se schopností tvořit výnos i ve stresových podmínkách (Toriyama a kol., 2005).

Jakmile je rostlina, nebo část rostliny vystavena stresoru, dochází k odpovědi, která se většinou uskuteční v celé rostlině. Jednou z odpovědí je tvorba fytohormonů a proteinů, které běžně rostlina nevytváří vůbec nebo jen omezeně (Jones a kol., 1989). Například během působení chladu se tvoří proteiny dehydriny, které na sebe vážou vodu a brání rostlinu proti nízkým teplotám, dehydriny se v malé míře tvoří v rostlině i za běžných podmínek (Kosová a kol., 2008). Syntetizování výše popsaných látek je pro rostlinu poměrně velká zátěž, na kterou spotřebuje velké množství energie. Spotřebovaná energie posléze chybí na tvorbu biomasy a přestává růst. Reakce rostlin na stres tedy není pouze ve formě metabolických změn, ale i změn morfologických (Nilsen a Orcutt, 1996).

Všechny situace, kdy na rostlinu působí nějaký stresor považujeme podle Lichtenthalera (1998) za určité napětí. Musíme rozlišovat mezi stresovými faktory, které působí krátkou nebo dlouhou dobu. Pokud stresor působí kratší dobu a poměrně slabě, může rostlina kompenzovat možnou ztrátu výnosu tím, že se adaptuje. Pokud však stres působí silně, způsobuje nenávratnou škodu, která může končit i smrtí rostliny.

Průběh rostlinné reakce na stres dělíme podle Larchera (1987) na tři fáze, viz obr. 2:

1. Fáze poplachová – narůstá stres, rostlina začíná reagovat, snižuje se vitalita, pokud stres překročí únosnou mez, rostlina umírá.
2. Fáze restituční – dochází k aktivaci obranných mechanismů.
3. Fáze rezistence – rostlina se vrací do normálního stavu, adaptuje se na působení stresoru a zvyšuje se její odolnost.
4. Fáze vyčerpání – nastává v případě, že stres na rostlinu působí příliš dlouhou dobu a rostlina, ve snaze se adaptovat, umírá vyčerpáním.



Obrázek 2: Průběh stresové reakce podle Larchera (1995)

3.2.1 Vodní stres

Hovoříme-li o vodním stresu, zpravidla první, co nás napadne je situace, kdy rostliny mají vláhy nedostatek, v tomto případě se jedná o vodní deficit. Rostliny jsou však stresovány i situací opačnou – zamokřením, tyto dva extrémy jsou společně s teplotními extrémy nejvíce limitujícími faktory pro zemědělskou produkci (Kůdela a kol., 2013).

Klima pozorované během minulého století nám ukazuje, že globálně roste teplota vzduchu, což má za následek zvýšenou intenzitu výparu. Současně můžeme sledovat pokles sumy srážek (Masarovičová a kol., 2011). Z hlediska srážek však není hlavní problém úbytek, nýbrž distribuce, kdy oproti minulým letem byly dlouhé období sucha a většina srážek napršela během rychlých dešťů (Veleta, 2020).

Z těchto důvodů rostliny stále častěji trpí vodním deficitem (Masarovičová a kol., 2011). Podle Larchera (1988) je sucho dlouhodobým s deficitem atmosférických srážek, během nějž dochází ke snížení přijatelné vody v půdě na kritickou úroveň. V důsledku toho rostliny trpí vodním deficitem. Podobným stavem je přísušek – krátkodobé období sucha, které nezpůsobuje závažnější hospodářské škody.

Z hlediska zemědělské prvovýroby můžeme podle Hniličky a kol. (2008) nedostatek vody popsat jako situaci, kdy obsah přijatelné vody v půdě není dostatečný pro zajištění potřeby

pěstovaných plodin. Závisí i na dalších faktorech, jako například růstová fáze, nebo povětrnostní a půdní podmínky.

Možným způsobem, jak můžeme stres z nedostatku vody u kulturních plodin potlačit, nebo zcela vymýtit je závlaha. Podle Ashrafa a Harrise (2005) je však tento způsob těžkopádný, neekonomický a neekologický. Naopak autoři uvádí, že budoucností jsou biologické přístupy. Mezi biologické přístupy řadí šlechtění rostlin do stresových podmínek. Podle Boyera (1982) neexistuje v postižených oblastech žádný způsob, jak zvýšit úhrn srážek, a proto bychom se měli snažit využít agronomické znalosti, jak zadržet vodu v půdě a správně s ní hospodařit.

Vodní deficit však nemusí způsobovat pouze atmosférické vlivy, může být způsoben i vysokým obsahem solí v půdě. Pokud je v půdě zvýšený obsah solí, zvyšuje se koncentrace půdního roztoku a klesá vodní potenciál. Prevencí tohoto problému by mělo být přiměřené používání minerálních hnojiv, které při nadužívání mohou tento problém způsobit (Kramer a Boyer, 1995). Vodní deficit je jedním z nejvýznamnějších problémů současné zemědělské produkce. Zvyšuje se poptávka po odrůdách, které budou schopny tento problém tolerovat (Shao a kol., 2008). Existují však i jiné způsoby, jak rostlinu připravit na boj se suchem. Jedním z těchto způsobů je kyselina salicylová, která se již v zemědělské praxi využívá pod různými názvy jako pomocná látka (Kang a kol., 2012).

Rostlina většinou zareaguje změnou fyziologických procesů už při mírném vodním deficitu, nejvíce ovlivněn je proces buněčného růstu (Hsiao a kol., 1976).

Zkoumání vlivu vodního stresu v přírodě je poměrně náročné, protože v polních podmínkách na rostliny většinou působí několik stresů najednou a vzájemné působení těchto stresorů může podstatně změnit reakci oproti působení vodního stresu samostatně (Hniličková a Hnilička, 2006). Na rozdíl od minerálních živin má voda velmi rychlý koloběh a rostliny a půda mají poměrně krátkodobé zásoby. Deficit vody v rostlině nastává v okamžiku, kdy rychlost transpirace je větší než příjem vody (Bray, 1997).

Sucho postihuje rostliny povětšinou ve fázi, kdy je pro ně dostatek vody klíčový. Takové období nazýváme podle Penky (1985) kritickým obdobím. Půdní sucho přichází pravidelně na začátku léta a na jaře, v období největšího nárůstu biomasy, kvetení a nalévání zrna.

Podle Morgana a kol. (1992) je velmi důležité, pokud začne klesat vodní potenciál půdy, aby se rostlinné buňky osmoticky přizpůsobily podmínkám vzniklým kvůli vodnímu deficitu.

V případě, že rostlina trpí nedostatkem vody, dochází ke změnám buněčného obsahu. Zvyšuje se koncentrace buněčných šťáv a dochází k dehydrataci protoplazmy (Brestič a Olšovská, 2001). Rostlina na nedostatek vláhy reaguje zvýšením rychlosti tvorby kořenů. Pokud však situace přetrvává a nedochází k žádnému zlepšení, začíná stagnovat i růst kořenů z důvodu nedostatku energie. Hlubší a bohatší kořenový systém umožňuje rostlině dostat se k vodě, která se může nacházet v hlubších vrstvách půdy. Rostliny jsou dokonce schopny vylučovat vodu, kterou přijaly v hlubších vrstvách, do mělkých vrstev a zlepšovat tak příjem živin (Haberle a kol., 2008).

Ve stresových podmínkách se snižuje průchodnost průduchů a rychlost asimilace CO₂, což v důsledku znamená zpomalení fotosyntézy. Působení některých stresorů může způsobit zvýšení hladiny kyseliny abscisové (ABA) v pokožce listů (Jones, 2015). Podle Nilsena a Orcutta (1996) se během působení stresu ze sucha, může obsah ABA v rostlině zvýšit až 40krát. Atwell a kol. (1999) konstatují, že chemickým spouštěčem pro přivření průduchů je nejspíš kyselina abscisová. Přivírání průduchů na podnět ABA způsobí snížení vodivosti plynů a v souvislosti s tím dochází i ke snížení rychlosti transpirace a fotosyntézy – rostlina se snaží šetřit s vodou. Přesně opačný účinek, než působení ABA mají na rostliny cytokininy (CK), které naopak zrychlují buněčné dělení a nárůst biomasy, na což je potřeba velké množství vody.

Podle Kúdely a kol. (2013) se můžeme se zamokřením setkat mnohem méně často než se suchem, jedná se však o stejně závažný problém pro rostlinu, který je schopen napáchat ve stejném čase jako sucho ještě větší poškození. Hlavním problémem při zamokření je skutečnost, že kvůli nasycení pórů v půdě vodou, nemůže rostlina přijímat kyslík kořeny. Tímto problémem jsou nejvíce zasaženy těžké, jílovité půdy s dostatkem srážek (Dennis a kol., 2000). V důsledku omezeného příjmu kyslíku dochází k inhibici růstu biomasy. Ačkoliv je rostlina schopná přijímat kyslík i nadzemními orgány, v porovnání s příjmem kořeny se jedná o zanedbatelné množství (Kúdela a kol., 2013).

3.3 Fotosyntéza

Fotosyntéza je nejdůležitější rostlinný proces, zároveň je to jediný přírodní proces, který je schopný snížit množství oxidu uhličitého v atmosféře (Centritto a Loreto, 2005). Dále

uvedení autoři uvádí, že jsou rostliny díky fotosyntéze schopny vyprodukovat ročně více než 100 miliard tun suché biomasy. Dalším produktem fotosyntézy je kyslík. Každý rok se díky fotosyntéze uvolní do atmosféry 100 miliard tun kyslíku (Roháček a kol., 2008). Většina rostlin je autotrofních a využívají jako zdroj energie sluneční záření.

Rostliny reagují na nedostatek vody primárně postupným uzavíráním průduchů, což v důsledku zpomaluje výměnu plynů. Zpomaluje se příjem oxidu uhličitého a dochází ke zpomalení fotosyntézy. Dále dochází k degradaci chlorofylů a ke snižování jeho koncentrace v rostlině (Hniličková a Hnilička, 2006). Průduchy hrají hlavní roli ve výměně plynů mezi listem a vnějším prostředím, zbytek pokožky listů je totiž téměř nepropustný pro oxid uhličitý a vodu. Jejich zavírání tedy zásadně ovlivňuje pohyb vody v celé rostlině (Francíková a Zámečník, 1997).

3.4 Fluorescence chlorofylů

Některé látky (organické i anorganické) po ozáření radiací určité vlnové délky vyšlou zpět záření o jiné vlnové délce (Prášil, 2003). V devadesátých letech minulého století byly v devadesátých letech vyvinuty metody, které umožňují za pomoci fluorescence chlorofylů neinvazivně zjistit, nakolik je poškozen fotosyntetický aparát dané rostliny. Těmito metodami můžeme opakovaně snímat stále stejný list, aniž by došlo k jeho poškození (Lichtenthaler, 1998). Světlo podle Roháčka (2008) definujeme jako proud fotonů o určité vlnové délce a energie. Množství červeného světla, které je pohlceno molekulou chlorofylu způsobí přechod elektronu ze základního do excitovaného stavu. Tento děj označujeme jako emitované záření, nebo také fluorescenci. U rostlin a ostatních organismů využívajících fotosyntézu je tou molekulou právě chlorofyl a (Buschmann a kol., 2000). Pouze zhruba 3-5 % absorbovaného záření je zpět vyzářeno ve formě fluorescence, i přesto můžeme sledovat změny v průběhu fotosyntézy. V případě nízké intenzity fluorescence je účinnost fotosyntézy vysoká a naopak (Prášil, 2003).

Dlouhodobé působení stresu na rostlinu způsobuje snížení koncentrace chlorofylů v listech a můžeme ho sledovat za pomoci fluorescence chlorofylů. Pokud se sníží koncentrace chlorofylů v listech, zvýší se fluorescenční poměr (Lichtenthaler, a další, 1997).

4 Metodika

V pokusu byl sledován vliv vodního stresu na vybrané odrůdy brambor: Laura, Marabel, Milva a Valfi. U uvedených odrůd byla sledována rychlost výměny plynů, fluorescence chlorofylů a z hodnot fotosyntézy a transpirace byla následně vypočítána hodnota efektivity využití vody.

4.1 Charakteristika rostlinného materiálu

Odrůda Laura

Laura je středně až vysoce výnosná poloraná odrůda varného typu. Byla registrována v roce 1998. Hlízy jsou oválné, dužnina sytě žlutá a slupka červená, hladká. Z hlediska pěstitelských nároků má středně vysoké nároky na půdu a zásobení vodou. Odrůda je citlivá na rzivost dužniny bramboru a má dobrou polní odolnost proti plísni bramborové (EUROPLANT).

Odrůda Marabel

Marabel je vysoce výnosná raná odrůda varného typu B. Registrace proběhla v roce 1993. Hlízy jsou oválné, barva dužniny a slupky žlutá. Dává přednost lepším půdám. Odrůda má střední až vysokou odolnost proti plísni bramborové (EUROPLANT).

Odrůda Milva

Milva je mimořádně výnosná poloraná odrůda varného typu B. Registrována byla v roce 1998. Hlízy jsou oválné, dužnina a slupka žluté. Odrůda má střední nároky na půdu a vodu. Je citlivá na plíseň bramborovou (EUROPLANT).

Odrůda Valfi

Valfi je poloraná až polopozdní odrůda určená pro speciální použití, varný typ BC. Registrována byla v roce 2005. Hlízy jsou oválné, modrofialové s mramorovanou modrofialovou dužninou. Odrůda trpí náchylností k plísni bramborové (VÚBHB, 2014).

4.2 Charakteristika pokusu

Vybrané odrůdy brambor: Laura, Marabel, Milva a Valfi, byly pěstovány v částečně řízených podmínkách skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ. Rostliny byly pěstovány v nádobách o objemu 5 l v substrátu Hawita. Substrát je jemný se strukturou 0-5 mm. Obsahuje 70 % bílé rašeliny a 30 % černé. Substrát je neslévavý, nezasolený a hodnota půdní reakce pH ve vodném roztoku je v rozmezí 5,5 – 6,5. Substrát neobsahuje zárodky patogenních

organismů, škůdců, či semena plevelů. Obsah spalitelných látek ve vysušeném vzorku je 55 % a podíl částic přesahujících 25 mm nepřesahuje 5 % (Sinco).

Do každé nádoby byly před zasazením přidány 2 g NPK 8-24-24. Rostliny byly pěstovány za přirozeného světla v režimu 13 hodin světla a 11 hodin tmy. Teplotní režim byl nastaven na 22 °C ve dne a 17 °C v noci. Relativní vzdušná vlhkost byla 70 %.

Schéma pokusu představuje tři varianty. První varianta byla zavlažovaná kontrola, druhá varianta představovala stres z vodního deficitu a třetí varianta simulovala trvalé zamokření. Každá varianta měla čtyři opakování.

Rostliny kontrolní varianty byly zavlažovány destilovanou vodou v pravidelných třídních intervalech, množství závlivkové vody bylo vždy 450 ml. U druhé varianty byl vodní deficit navozen postupným přirozeným vysycháním substrátu. Poté byla provedena rehydratace v růstových fázích 406 a 703 BBCH. Od té doby byl opětovně navozen vodní deficit. Zamokření u třetí varianty bylo navozeno nasycením substrátu a následným umístěním nádob do van s vodou. Všechny varianty byly přihnojeny ve fázích 406 a 703 BBCH tříprocentním roztokem NPK ve 450 ml vody.

4.3 Metody měření fyziologických charakteristik

4.3.1 Měření primárního metabolismu

Rychlost výměny plynů (transpirace a fotosyntéza) byla měřena nedestruktivní metodou pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro+ (ADC Bioscientific Ltd.). K měření bilance CO₂ je využíváno nerozptýlené infračervené záření fungující na principu schopnosti CO₂ a H₂O absorbovat toto záření. Rozsah měření CO₂ je 0 až 3000 ppm. K měření H₂O slouží 2 senzory vlhkosti (adc.co.uk) (Ekotechnika). Rychlost výměny plynů byla sledována na základě metodiky Holé a kol. (2010). K měření byly využity pouze dospělé, intaktní listy a všechna měření probíhala během dopoledních hodin při konstantní teplotě a osvětlení.

4.3.2 Fluorescence chlorofylů

Fluorescence chlorofylů byla měřena pomocí přístroje OS 1-FL. S využitím fluorescenčních metod byly sledovány změny transportních mechanismů přenosu elektronů v rámci PSII. V rámci fluorescenčních metod byl sledován poměr Fv/Fm, výnos fluorescence.

4.3.3 Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody je poměr mezi vodou, která je využívána v metabolismu rostliny k vodě, která je spotřebovávaná rostlinou prostřednictvím transpirace. Jedná se tedy o poměr mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace.

Larcher (2003) popisuje efektivitu využití vody jako poměr mezi spotřebou CO₂ a výdejem vody v ekosystému. Hodnotu WUE vypočteme dle matematického vzorce:

$$WUE = A / E (10^{-3})$$

kde

A je intenzita fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

E je intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Uvedené fyziologické charakteristiky byly měřeny v následujících vývojových fázích a dnech pokusu:

Tabulka 1: Měření v závislosti na dni stresu a fázi BBCH

Číslo měření	Den pokusu	Fáze BBCH
1	0	109
2	10	209
3	17	305
4	27	406
5	32	509
6	39	625
7	46	639
8	53	707
9	60	805
10	66	901
11	71	909

5 Výsledky

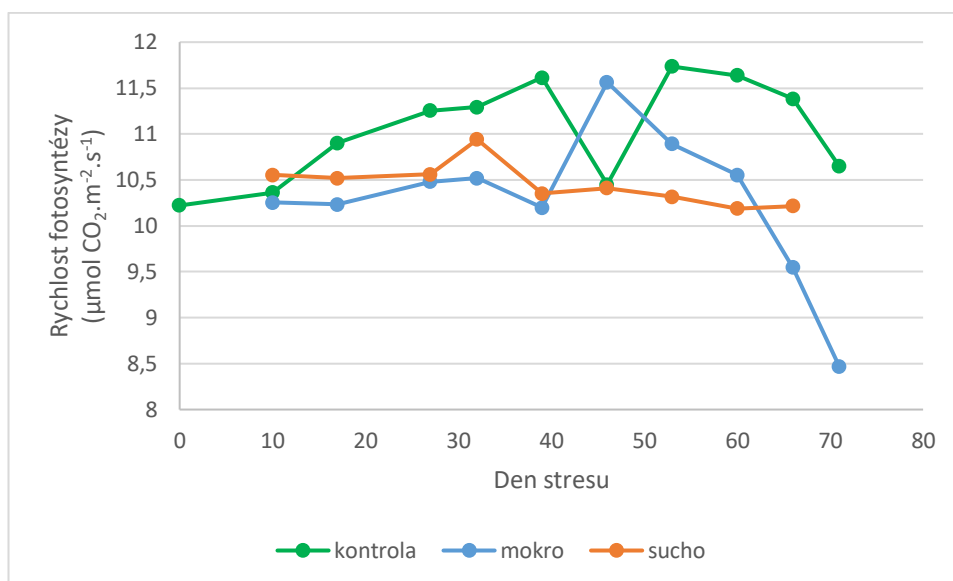
Pokusným materiálem byly čtyři odrůdy brambor (Laura, Marabel, Milva a Valfi), u nichž byly sledovány vybrané fyziologické ukazatele: rychlost fotosyntézy, rychlost transpirace, fluorescence chlorofylů a efektivita využití vody.

5.1 Rychlost fotosyntézy

Z grafu 1 je patrné, že nejvyšší rychlosti fotosyntézy dosahovala odrůda Laura v 53. dnu pokusu u kontrolní varianty – $11,74 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Naopak nejnižších hodnot bylo dosaženo na konci pokusu v 71. den sledování u zamokřené varianty – $8,47 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou byl $3,27 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Nejvyšší hodnoty dosáhla kontrolní varianta v 8. termínu měření ($11,74 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Naopak nejnižší hodnota byla naměřena 1. den pokusu ($10,22 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Varianta „sucho“ dosáhla svého maxima 5. den měření ($10,94 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Nejnižší hodnota byla naměřena 60. den pokusu ($10,19 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). U zamokřené varianty byla nejvyšší hodnota naměřena 46. den pokusu – $11,56 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. A nejnižší hodnota byla naměřena poslední den pokusu – $8,47 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, nejvyšší rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou byl zjištěn u trvale zamokřené varianty – $3,09 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dále je z grafu patrné, že rychlost fotosyntézy kontrolní varianty měla téměř celou dobu pokusu narůstající trend, kromě snížení v 46. dnu pokusu ($10,45 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a ke konci pokusu ($10,65 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), kdy už rostliny stárly. Opačný trend můžeme pozorovat u varianty s vodním deficitem, kde se rychlost fotosyntézy až na výjimku snižovala. Výjimka nastala 32. den pokusu, kdy došlo k nárůstu rychlosti fotosyntézy na hodnotu $10,94 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, což mohlo být způsobeno předchozí rehydratací. Klesající trend byl pomalý a až do 7. měření byla rychlost fotosyntézy vyšší u varianty s vodním deficitem než u zamokřené varianty. Po desátém měření rostliny odrůdy Laura s vodním deficitem zahynuly. U zamokřené varianty můžeme až do 39. dne pokusu sledovat poměrně vyrovnanou rychlost fotosyntézy. Změna nastala 46. den pokusu, kdy se rychlost fotosyntézy výrazně zvýšila na $11,56 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a poté byl zaznamenán výrazný pokles fotosyntézy ($8,47 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).



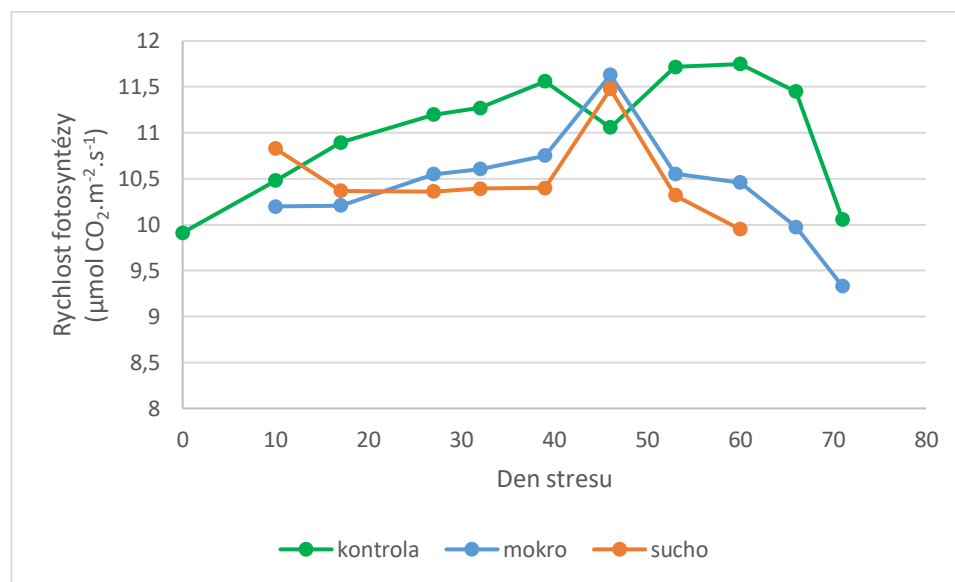
Graf 1: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Laura v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 2 je patrné, že nejvyšší rychlosti fotosyntézy dosahovala odrůda Marabel v 60. dni pokusu a to $11,75 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u kontrolní varianty. Nejnižší hodnota fotosyntézy byla naměřena 71. den pokusu – $9,33 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u zamokřené varianty. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou byl u této odrůdy $2,42 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Z průběhu rychlosti fotosyntézy u kontrolní varianty odrůdy Marabel je patrné, že nejvyšší hodnota byla zjištěna během 9. měření – $11,75 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší hodnota na začátku pokusu ($9,91 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Varianta s vodním deficitem dosáhla svého maxima 46. den pokusu – $11,48 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a svého minima 60. den měření – $9,95 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. U zamokřené varianty byla nejvyšší rychlost fotosyntézy zjištěna 46. den pokusu – $11,63 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší rychlost na konci pokusu ($9,33 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Z grafu 2 vyplývá, že nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální rychlostí fotosyntézy byl zjištěn u zamokřené varianty – $2,3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

V grafu 2 je patrná narůstající rychlost fotosyntézy u kontrolní varianty, kde v nejvyšším bodě dosáhla hodnoty $11,75 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (60. den pokusu). Narůstající rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin přerušuje 7. měření, kdy dochází k poklesu na hodnotu $11,06 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a od 9. měření nastává klesající trend způsoben stárnutím rostlin. Průběh fotosyntézy u varianty s vodním deficitem je podobný jako u odrůdy Laura, kdy se rychlost fotosyntézy snižuje, výjimku tvoří 7. měření, kdy se rychlost fotosyntézy zvýšila ($11,48 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Po 9. měření dochází k úhynu rostlin. Vyšších hodnot, než varianta s

vodním deficitem dosahovala zamokřená varianta (v průměru o $0,23 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), která měla také podobný průběh jako u odrůdy Laura. Zpočátku dochází k poměrně výraznému nárůstu rychlosti fotosyntézy, po 7. měření, kdy bylo dosaženo maximálních hodnot ($11,63 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), však dochází k prudkému poklesu až k minimální hodnotě.



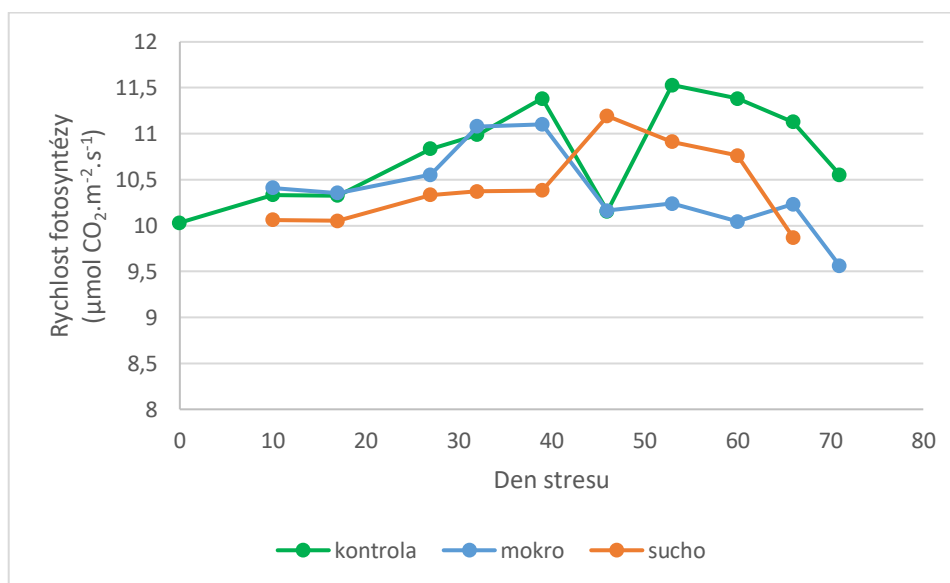
Graf 2: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Marabel v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 3 vyplývá, že nejvyšší rychlosti dosáhla fotosyntéza u odrůdy Milva 53. den pokusu – $11,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ u kontrolní varianty. Naopak nejnižší rychlost byla naměřena na konci pokusu – $9,56 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ u zamokřené varianty. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou u odrůdy Milva činí $1,97 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z průběhu rychlosti fotosyntézy u kontrolní varianty je patrné, že nejvyšší hodnota byla dosažena 53. den pokusu ($11,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a nejnižší hodnota na začátku pokusu – $10,03 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Varianta s vodním stresem dosáhla maximální rychlosti 46. den pokusu – $11,19 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a nejnižší rychlosti 66. den pokusu ($9,87 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). U trvale zamokřené varianty byla maximální hodnota zjištěna 39. den pokusu – $11,10 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a nejnižší hodnota na konci pokusu – $9,56 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Z grafu 3 je dále patrné, že nejvyšší rozdíl mezi extrémními hodnotami byl opět naměřen u zamokřené varianty – $1,54 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

U kontrolní varianty odrůdy Milva byl zaznamenán shodný trend vývoje rychlosti fotosyntézy v souladu s předchozími odrůdami. Zpočátku byl zaznamenán postupný nárůst rychlosti fotosyntézy. Tento nárůst byl vystřídán poklesem ve 46. dni pokusu a po dosažení

maximální hodnoty 53. den pokusu ($11,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) dochází k postupnému zpomalování vlivem senescence ($10,55 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Varianta s vodním deficitem vykazuje na rozdíl od předchozích odrůd opačný trend a má podobný průběh jako kontrola. Od začátku pokusu dochází k postupnému zvyšování rychlosti fotosyntézy, který je vystřídán snížením po dosažení maxima během 7. měření ($11,19 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Po 10. měření rostliny odrůdy Milva zahynuly. U trvale zamokřené varianty zpočátku dochází k nárůstu rychlosti fotosyntézy. Po 6. měření a dosažení maxima se však trend obrací a rychlost fotosyntézy klesá až do konce pokusu.



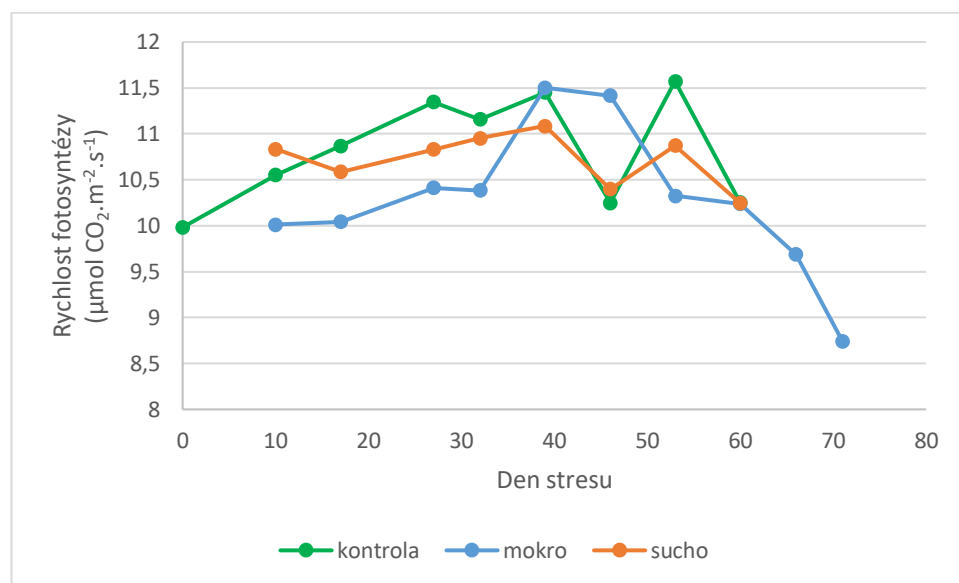
Graf 3: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Milva v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 4 je patrné, že nejvyšších hodnot dosáhla rychlost fotosyntézy u odrůdy Valfi 53. den pokusu – $11,57 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ u kontrolní varianty. Naopak nejnižší hodnota byla naměřena na konci pokusu – $8,74 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ u zamokřené varianty. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou u odrůdy Valfi činí $2,83 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Dále z grafu vyplývá, že nejvyšší rychlost fotosyntézy u kontrolní varianty byla zjištěna 53. den pokusu ($11,57 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Naopak nejnižší rychlost byla naměřena na začátku pokusu – $9,98 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U varianty s vodním deficitem byla nejvyšší hodnota naměřena 39. den pokusu ($11,09 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a nejnižší hodnota 60. den pokusu – $10,25 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U zamokřené varianty byla nejvyšší hodnota naměřena 39. den pokusu – $11,50 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejnižší hodnota byla naměřena 71. den pokusu –

8,74 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou byl zjištěn u zamokřené varianty – 2,76 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Průběh hodnot fotosyntézy rostlin z kontrolní varianty měl vzestupnou tendenci až do poklesu 46. den pokusu (10,25 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), poté byl zaznamenán nárůst rychlosti fotosyntézy na maximum (11,57 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), které bylo vystřídáno výrazným snížením fotosyntézy, kontrolní varianta byla naposledy měřena 60. den pokusu, poté došlo k jejímu úhynu. Rychlost fotosyntézy u varianty s vodním deficitem zpočátku klesala, po 3. měření však dochází k vzestupu hodnot (10,59 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) až do dosažení maxima 39. den pokusu (11,09 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), poté se fotosyntéza zpomalila. Rostliny odrůdy Valfi s vodním deficitem zahynuly předčasně po 10. měření. U zamokřené varianty můžeme pozorovat poměrně strmý nárůst rychlosti fotosyntézy, který je po dosažení maxima 39. den měření (11,5 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) vystřídán poklesem. Poté dochází ke strmému poklesu až do konce pokusu (8,74 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).



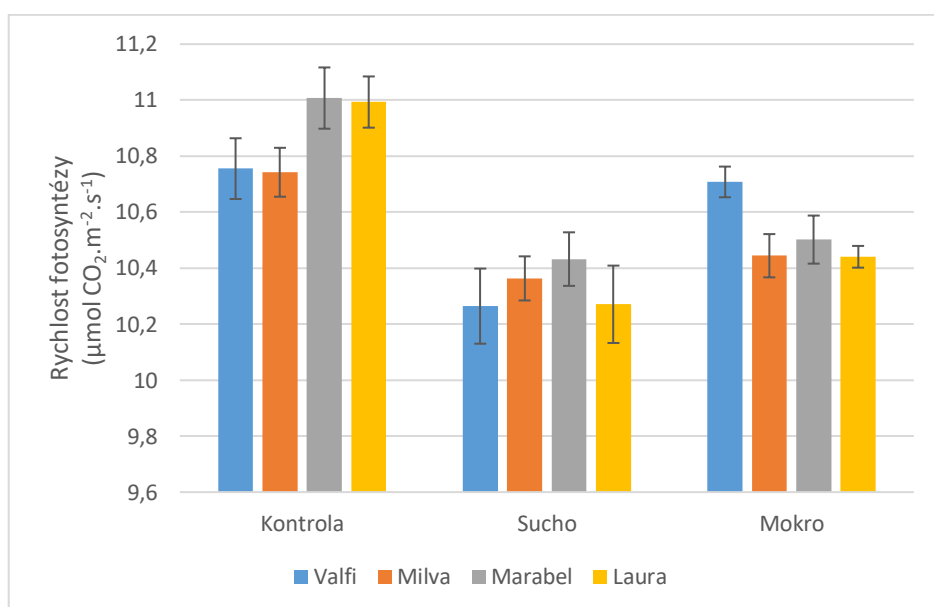
Graf 4: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Valfi v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 5 je patrné, že nejvyšší průměrnou rychlost fotosyntézy měla odrůda Marabel, kontrolní varianta – 11,01 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Naopak nejnižší rychlost fotosyntézy byla naměřena u odrůdy Valfi s vodním deficitem (10,26 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Z hlediska rychlosti fotosyntézy byla tato charakteristika nejvyšší u kontrolních rostlin odrůd Marabel a Laura. V podmínkách vodního deficitu měla nejvyšší rychlost fotosyntézy odrůda Marabel –

10,43 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, v podmínkách trvalého zamokření to byla odrůda Valfi – 10,71 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z grafu 5 je dále patrné, že nejcitlivěji na vodní deficit reagovala odrůda Laura, u které došlo k poklesu v rychlosti fotosyntézy o 0,72 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Naopak k nejnižšímu poklesu vůči kontrole došlo u odrůdy Milva – 0,38 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z grafu 5 vyplývá porovnání mezi kontrolou a trvale zamokřenou variantou. V tomto srovnání došlo k největšímu poklesu v rychlosti fotosyntézy u odrůdy Laura – 0,55 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. K nejnižšímu poklesu vůči kontrole došlo u odrůdy Valfi, u které se rychlost fotosyntézy průměrně snížila pouze o 0,04 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



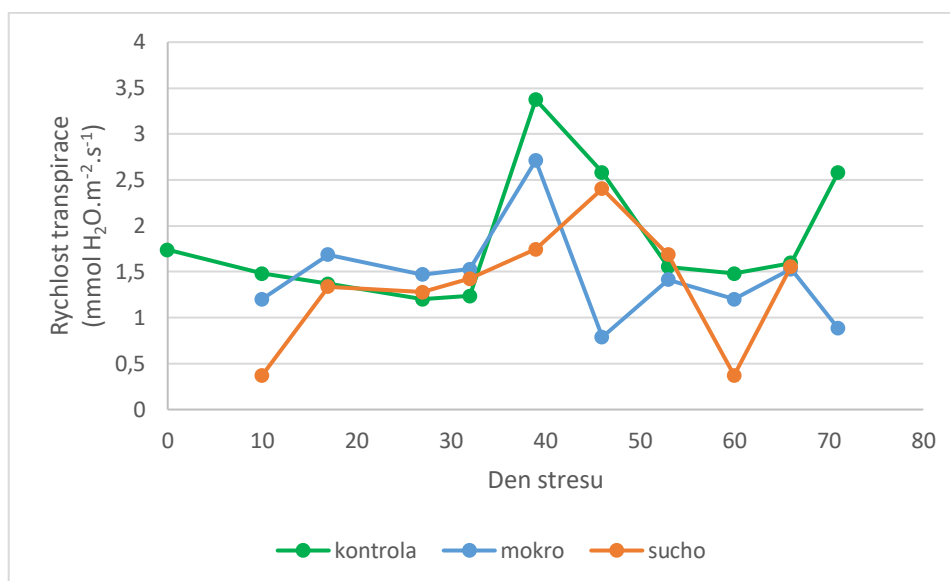
Graf 5: Porovnání průměrné rychlosti fotosyntézy u jednotlivých odrůd a variant

5.2 Rychlost transpirace

V grafu 6 je uveden vliv vodního stresu na rychlost transpirace u odrůdy Laura. Z grafu 6 je patrné, že nejvyšších hodnot transpirace bylo dosaženo při 6. měření (3,37 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u kontrolní varianty. Minimální hodnota byla u odrůdy Laura naměřena 10. a 60. den pokusu – 0,37 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Obě nejnižší hodnoty byly naměřeny u varianty s vodním deficitem. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou byl 3 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Nejvyšší naměřená hodnota u kontrolní varianty byla zjištěna 39. den pokusu - 3,37 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a nejnižší hodnota byla naměřena 27. den pokusu - 1,2 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. U varianty s vodním deficitem byla nejvyšší hodnota naměřena 46. den pokusu - 2,4 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a nejnižší hodnota 10. a 60. den pokusu (0,37 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Trvale zamokřená varianta dosáhla nejvyšší rychlosti transpirace 39. den pokusu - 2,71 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Naopak nejnižší hodnota byla u této varianty naměřena 46. den pokusu - 0,79 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Z těchto dat je patrné, že nejvyšší rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou rychlosti transpirace byl zjištěn u kontrolní varianty - 2,17 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

U kontrolní varianty měla rychlost transpirace klesající tendenci až do 32. dne pokusu (1,24 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Po 32. dni pokusu bylo zaznamenáno zvýšení transpirace z 1,24 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (5. měření) až k maximální hodnotě pro odrůdu Laura - 3,37 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (6. měření). Po dosažení maxima rychlost transpirace prudce klesla a zvýšila se až před posledním provedeným měřením. U varianty s vodním deficitem rychlost transpirace postupně narůstala až do 46. dne pokusu, kdy dosáhla svého maxima (2,4 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹), poté se rychlost transpirace výrazně snížila. Následné zvýšení rychlosti transpirace bylo zaznamenáno před 10. měřením (1,56 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹), po kterém rostliny odrůdy Laura s vodním deficitem zahynuly. Rostliny trvale zamokřené vykazovaly střídavou rychlost transpirace, nejvyšší nárůst nastal před 7. měřením, kdy byla naměřena hodnota 2,71 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a hned poté došlo k výraznému snížení rychlosti transpirace na 0,79 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.



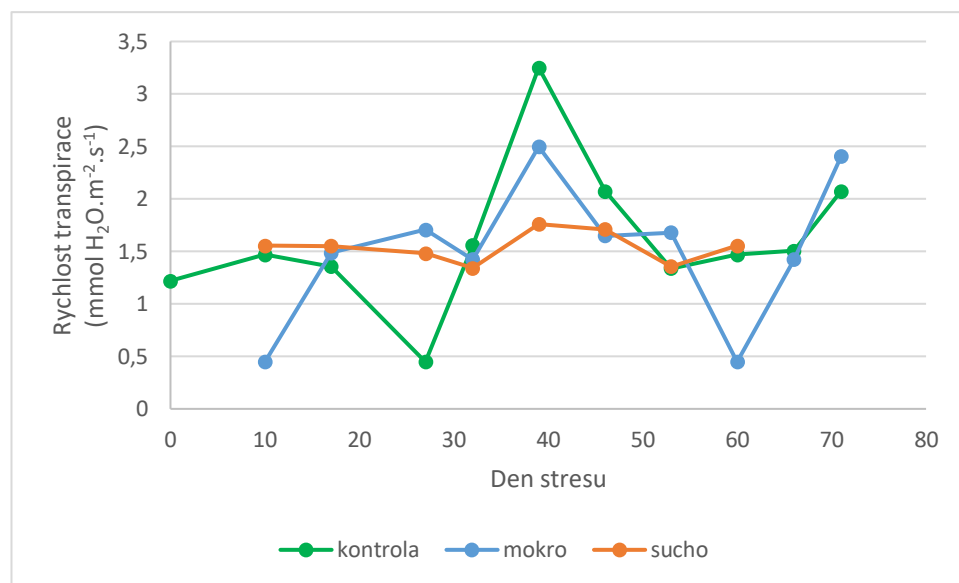
Graf 6: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Laura v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 7 je patrné, že nejvyšší rychlost transpirace rostlin odrůdy Marabel byla naměřena 39. den měření – 3,25 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ v podmínkách zavlažované kontroly. Nejnižší hodnoty (0,45 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) byly u odrůdy Marabel v 10. a 60. den pokusu u varianty trvale zamokřené a 27. den u zavlažované kontroly. Rozdíl mezi extrémními hodnotami činil 2,8 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

U kontrolní varianty byla nejvyšší rychlost transpirace naměřena 39. den pokusu – 3,25 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, nejnižší hodnota byla naměřena 27. den pokusu (0,45 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Varianta s vodním deficitem dosáhla maximální rychlosti transpirace 39. den pokusu – 1,76 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, nejnižší rychlost byla zjištěna 32. den pokusu – 1,34 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. U trvale zamokřené varianty byla maximální hodnota naměřena rovněž 39. den pokusu – 2,50 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a nejnižší hodnota 10. a 60. den pokusu (0,45 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Z grafu 7 je patrné, že nejvyšší rozdíl mezi extrémními hodnotami byl zjištěn u kontrolní varianty – 2,8 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

Průběh rychlosti transpirace u kontrolní varianty odrůdy Marabel měl zpočátku klesající tendenci, po čtvrtém měření byl zaznamenán výrazný nárůst rychlosti z minimální (0,45 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) k maximální hodnotě (3,25 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) naměřené u kontrolní varianty. Po dosažení maximální rychlosti transpirace byl zaznamenán výrazný pokles (1,34 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Na konci pokusu byla opět zjištěna narůstající rychlost transpirace. Varianta s vodním deficitem měla po celou dobu pokusu, až do předčasného úhynu rostlin po

9. měření, poměrně stabilní rychlost transpirace, rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou činil u této varianty pouze $0,42 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Průběh rychlosti transpirace u trvale zamokřené varianty byl velmi proměnlivý. Zpočátku došlo k výraznému nárůstu rychlosti ($2,5 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), který byl po 6. měření vystřídán výrazným poklesem ($0,45 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) z maximální k minimální hodnotě naměřené u dané varianty. Před koncem pokusu došlo opět k nárůstu rychlosti ($2,4 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

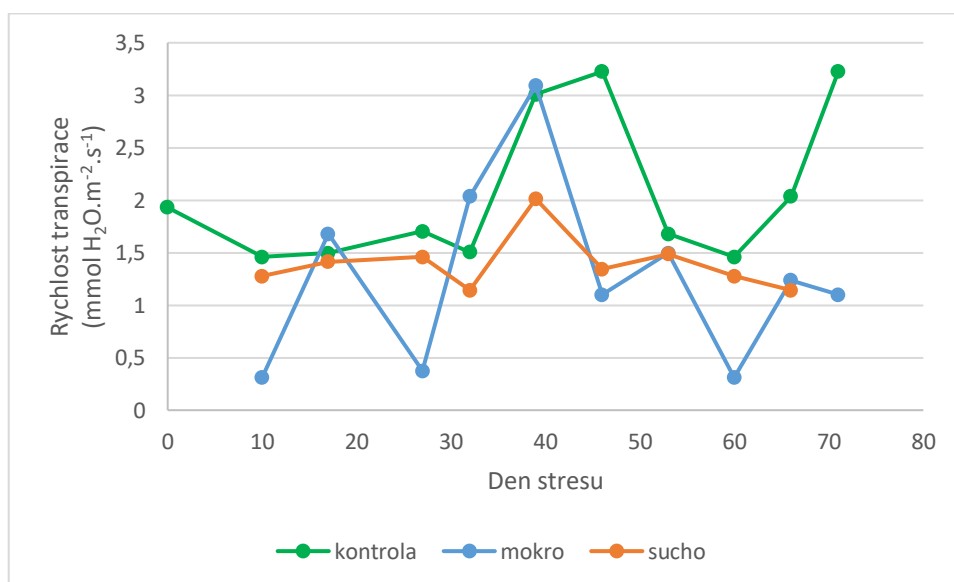


Graf 7: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Marabel v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 8 je patrné, že nejvyšších hodnot dosáhla rychlost transpirace u kontrolních rostlin odrůdy Malvi ve 46. den pokusu a 71. den pokusu – $3,23 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejnižších hodnot rychlosti transpirace bylo dosaženo u odrůdy Malvi z varianty trvale zamokřené 10. den pokusu a 60. den pokusu ($0,31 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou činí $2,92 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Zavlažovaná kontrola dosáhla nejvyšších hodnot 46. a 71. den pokusu – $3,23 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejnižší hodnota byla naměřena 10. a 60. den pokusu ($1,46 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). U varianty s vodním deficitem byla nejvyšší rychlost transpirace zjištěna 39. den pokusu ($2,01 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a nejnižší rychlost 32. a 66. den pokusu – $1,14 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U zamokřené varianty bylo rozpětí mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou vyšší. Nejvyšší rychlost byla naměřena 39. den pokusu – $3,09 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a nejnižší rychlost 10. a 60. den pokusu – $0,31 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi těmito hodnotami činil $2,78 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z grafu 8 je patrné, že kontrolní rostliny odrůdy Milva měly podobný průběh změn rychlosti transpirace jako předchozí dvě odrůdy. Zpočátku se rychlost snižovala, po 5. měření však došlo k výraznému navýšení rychlosti ($3,23 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), který byl vystřídán rychlým poklesem po 7. měření ($1,68 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Ke konci pokusu byl patrný opětovný nárůst rychlosti transpirace. Varianta s vodním deficitem byla z hlediska rychlosti transpirace, stejně jako u předchozí odrůdy, poměrně vyrovnaná, neboť naměřený interval hodnot byl od 1,14 (5. měření) do $2,03 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. měření). Rozdíl mezi extrémními hodnotami činil pouze $0,87 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Poslední měření u varianty s vodním deficitem se uskutečnilo 66. den pokusu, poté rostliny zahynuly ($1,14 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Trvale zamokřená varianta byla v porovnání s kontrolou a suchem mnohem více nevyrovnaná. Docházelo k poměrně velkým změnám v rychlosti transpirace. U rostlin rostoucích v této variantě bylo rozpětí hodnot od 0,31 (2. měření) do $3,09 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. měření).



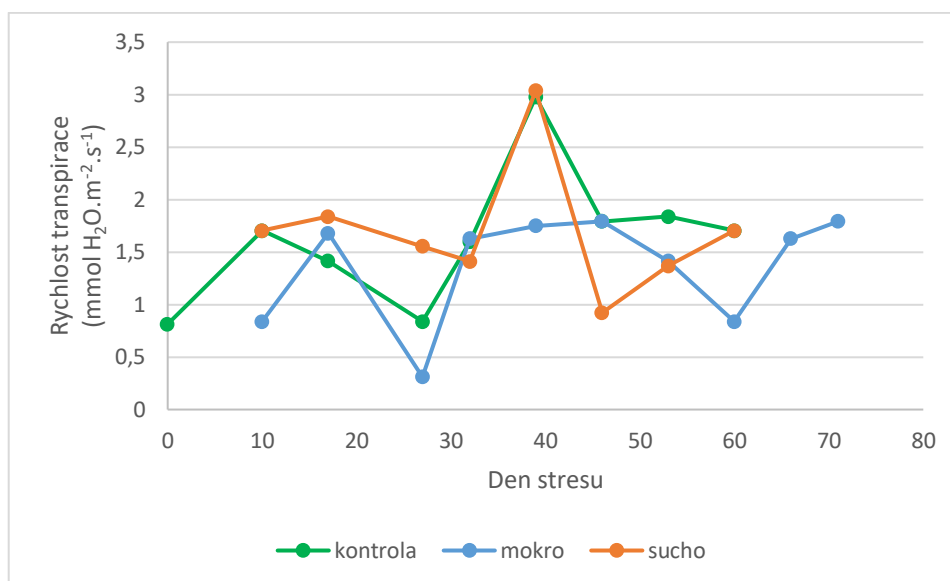
Graf 8: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Malvi v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 9 je patrné, že nejvyšší naměřená rychlost transpirace u odrůdy Valfi byla 39. den pokusu – $3,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ u kontrolní varianty a u varianty „sucho“. Nejnižší naměřená hodnota byla 27. den pokusu – $0,31 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ u varianty trvale zamokřené. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou činil $2,73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

U kontrolní varianty bylo nejvyšší hodnoty transpirace dosaženo 39. den pokusu ($3,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a nejnižší hodnoty byly stanoveny na začátku pokusu – $0,81 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U varianty s vodním deficitem byla největší rychlost transpirace

naměřena rovněž 39. den pokusu – 3,04 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a nejmenší rychlost při následujícím měření (0,92 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Zamokřená kontrola dosáhla maximálních hodnot dvakrát, poprvé 46. den pokusu a podruhé na konci pokusu (1,79 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Nejnižší rychlost transpirace u zamokřené varianty byla naměřena 27. den pokusu – 0,31 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Z těchto dat vyplývá, že nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou transpirace byl zjištěn u kontrolní varianty – 2,23 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

Průběh změn rychlosti transpirace byl u kontrolních rostlin odrůdy Valfi jiný než u předchozích odrůd. Zpočátku došlo k nárůstu a po druhém měření začala rychlost klesat až ke svému minimu (0,84 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) 27. den pokusu. Po dosažení minima nastal výrazný nárůst rychlosti až k maximální hodnotě (3,04 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) 39. den pokusu. Poté následovalo zpomalení a stabilizace až do 9. měření (1,7 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹), po kterém kontrolní rostliny odrůdy Valfi zahynuly. Průběh u varianty s vodním deficitem byl u odrůdy Valfi poněkud méně stabilní než u předchozích odrůd. Zpočátku došlo k poklesu rychlosti transpirace (1,4 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹), což se však změnilo po 5. měření, kdy se rychlost transpirace zvýšila k maximu v dané variantě (3,04 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Po dosažení maxima transpirace poklesla ke svému minimu (0,92 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) a poté se zvyšovala až do předčasného úhynu rostlin po 9. měření. Rychlost transpirace rostlin v zamokřené variantě se zpočátku zvyšovala, po 3. měření klesla (0,31 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Od 4. měření se začala rychlost transpirace opět zvyšovat, což pokračovalo až do 7. měření (1,79 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹), po kterém se rychlost snížila (0,84 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Poslední nárůst nastal po 9. měření a trval až do ukončení pokusu.



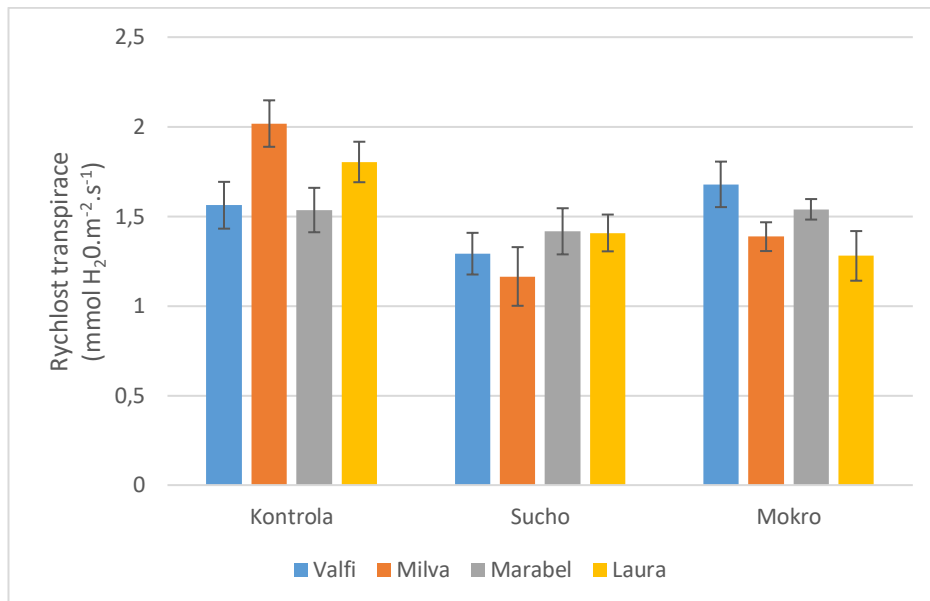
Graf 9: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Valfi v závislosti na variantě a délce působení stresu

Z grafu 10 je patrné, že nejvyšší průměrnou rychlost transpirace měla odrůda Milva pěstovaná v zavlažované kontrole – 2,02 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a nejnižší odrůda Milva s vodním deficitem – 1,16 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

V podmínkách zavlažované kontroly se prokazatelně nejlépe dařilo odrůdám Milva a Laura. V podmínkách varianty s vodním deficitem neprůkazně lépe reagovaly odrůdy Marabel a Laura. Na trvale zamokřenou variantu nejlépe reagovala odrůda Valfi.

Z grafu 10 je dále patrné, že nejvyšší rozdíl mezi kontrolní variantou a variantou s vodním deficitem měla odrůda Milva, u které rychlost transpirace poklesla o 0,85 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Z hlediska rychlosti transpirace sucho nejlépe snášela odrůda Marabel, u které došlo k poklesu rychlosti o 0,11 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

Srovnání zavlažované kontroly a trvale zamokřené varianty nám demonstruje, že na zamokření nejvíce reagovala odrůda Milva, u které rychlost transpirace poklesla v průměru o 0,63 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Nejlepších výsledků v podmínkách zamokření dosáhla odrůda Valfi, u které se rychlost transpirace zvýšila o 0,12 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

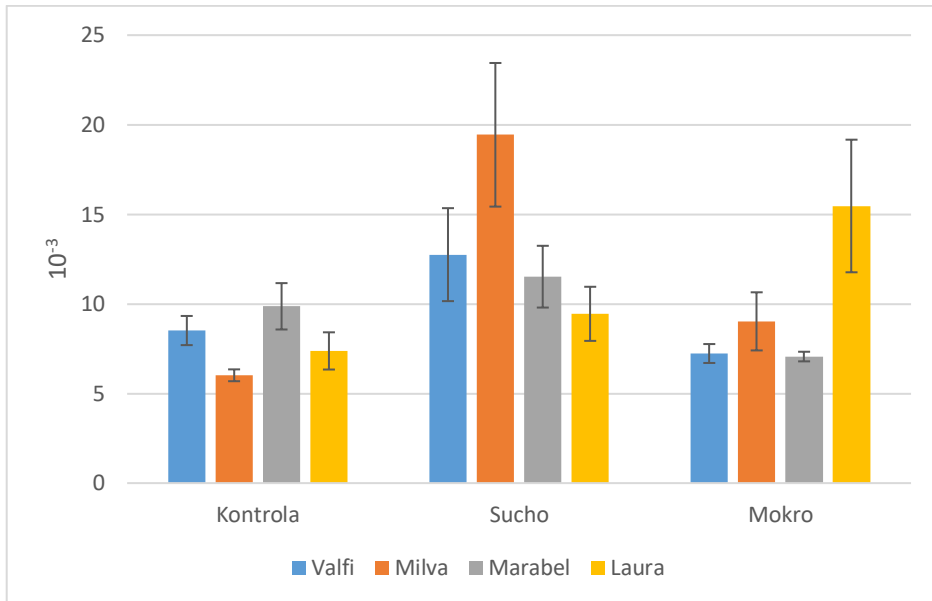


Graf 10: Porovnání průměrné rychlosti transpirace u jednotlivých odrůd a variant

5.3 Efektivita využití vody

Z grafu 11 je patrné, že vyšší efektivitu využití vody obecně dosahují rostliny, které byly pěstovány v podmínkách vodního deficitu. Nejvyšší hodnotu zaznamenaly rostliny odrůdy Milva pěstované v podmínkách vodního deficitu – 19,44 (10^{-3}). Prokazatelně nejnižších hodnot dosáhly rostliny odrůdy Milva pěstované v zavlažované kontrole – 6,02 (10^{-3}).

Neprůkazně nejvyšší efektivitu využití vody mezi rostlinami kontrolní varianty vykazovala odrůda Marabel s hodnotou 9,87 (10^{-3}). V podmínkách sucha se prokazatelně nejlépe dařilo hospodařit s vodou rostlinám odrůdy Milva, s průměrnou hodnotou 19,44 (10^{-3}). V podmínkách trvalého zamokření dosáhly nejlepší efektivitu využití vody rostliny odrůdy Laura s hodnotou 15,47 (10^{-3}).



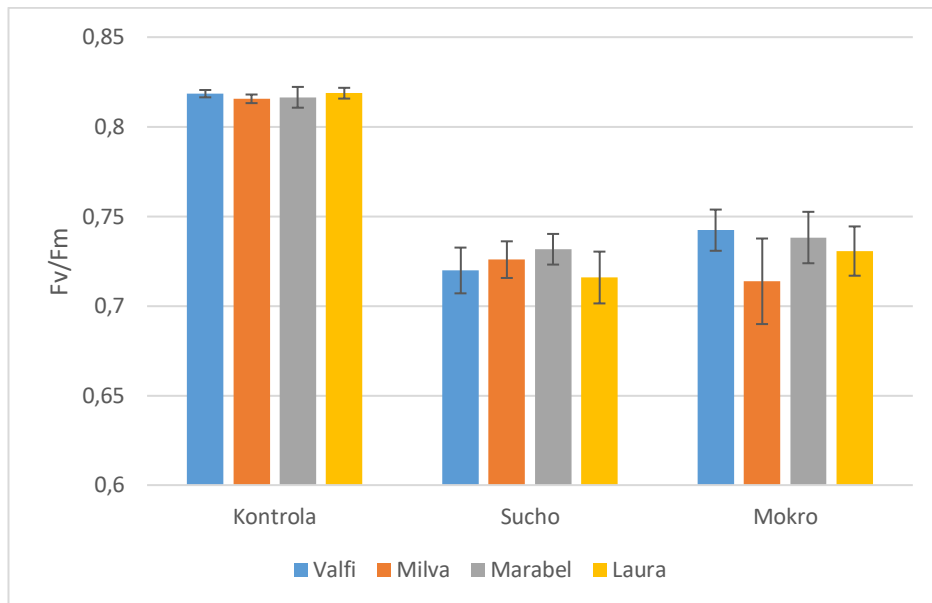
Graf 11: Porovnání efektivity využití vody u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě

5.4 Fluorescence chlorofylů

Z grafu 12 je patrné, že všechny odrůdy pěstované v zavlažované kontrole dosahují velmi podobných hodnot fluorescence. Rozdíl je patrný mezi jednotlivými variantami pokusu. Nejvyšších hodnot dosáhly rostliny pěstované v zavlažované kontrole 0,820.

Z odrůd pěstovaných v podmínkách vodního deficitu měla nejvyšší hodnotu fluorescence odrůda Marabel s hodnotou 0,732 a nejnižší odrůda Laura s hodnotou 0,716. Z porovnání odrůd pěstovaných v podmínkách trvalého zamokření vykazuje vyšších hodnot fluorescence odrůda Valfi (0,742) a naopak odrůda Milva měla hodnotu fluorescence nejnižší (0,714).

Nejvyšší rozdíl mezi kontrolní variantou a variantou s vodním deficitem vykazuje odrůda Laura (0,103) a na straně druhé nejnižší rozdíl má odrůda Marabel (0,084). V podmínkách zamokření reagovala nejcitlivěji odrůda Milva (0,102) a nejméně citlivě reagovala odrůda Valfi (0,076).



Graf 12: Porovnání průměrné fluorescence chlorofylů u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě

6 Diskuze

U čtyř odrůd brambor byl sledován vliv vodního deficitu a trvalého zamokření na rychlost výměny plynů, efektivitu využití vody a fluorescenci chlorofylů.

6.1 Rychlost fotosyntézy

Z výsledků je patrné, že rychlost fotosyntézy byla v porovnání s kontrolou prokazatelně nižší u stresovaných rostlin. Nejnižší průměrná rychlost fotosyntézy byla u rostlin s vodním deficitem. Tyto výsledky jsou v souladu Yordanovem a kol. (2003), kteří konstatují, že stres negativním způsobem ovlivňuje rychlost fotosyntézy. Dále bylo zjištěno, že stres ovlivňuje rychlost fotosyntézy u brambor již v raných fázích vývoje, což potvrzuje práci Fleishera a kol. (2008), kteří uvádí, že k fyziologickým změnám u brambor v podmínkách vodního stresu dochází již při působení malého stresu.

Z výsledků je dále patrné, že vodní stres neovlivňoval všechny odrůdy shodně, některé odrůdy prokazovaly vyšší pokles rychlosti fotosyntézy v podmínkách vodního deficitu některé citlivěji reagovaly na trvalé zamokření. Toto zjištění potvrzuje práci Schapendonka a kol. (1989), kteří konstatují, že meziodrůdové rozdíly v rychlosti fotosyntézy byly významné v podmínkách optimálních i stresových. Výše uvedené závěry dále potvrzují práce Logginioho a kol. (1999) a Kocona (2006), kteří se zabývali rozdíly v rychlosti fotosyntézy u rostlin kukuřice a pšenice. Petr a kol. (1987) konstatují, že rychlost fotosyntézy je přímo závislá na přístupném množství vody pro rostlinu, což se v pokusu potvrdilo. Podobný vliv na rychlost fotosyntézy má i například zasolení, působením tohoto stresoru rovněž dochází k poklesu rychlosti fotosyntézy, což ve svých pracích dokládají např. Zenga a kol. (2014) nebo He a kol. (2014).

Na nedostatek vody reagovala nejnižším poklesem rychlosti fotosyntézy odrůda Milva ($0,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). V podmínkách trvale zamokřené varianty vykazovaly nejnižší pokles rychlosti fotosyntézy rostliny odrůdy Valfi ($0,04 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Z těchto skutečností vyplývá, že z vybraných odrůd stres z vodního deficitu nejlépe snášela odrůda Milva a stres ze zamokření snášela nejlépe odrůda Valfi.

Všechny odrůdy v kontrolní variantě vykazovaly nárůst rychlosti fotosyntézy a v pozdějších fázích pokusu začala rychlost klesat. Výjimka u všech odrůd nastala během 7.

měření, kdy byl porušen trend a rychlost fotosyntézy prudce klesla. Tento výkyv je pozorovatelný u všech odrůd a mohl být způsoben chybou měření.

Rozdíly v rámci ontogenetického vývoje rostlin popisuje ve své práci van Loon (1981), který konstatuje, že brambory jsou velmi citlivou rostlinou z hlediska působení vodního stresu a v průběhu vývoje jsou znatelné velké rozdíly v rychlosti fotosyntézy. Stejný autor uvádí, že nejvyšší rychlosti fotosyntéza dosahuje v průběhu tvorby hlíz, což potvrzují výsledky práce. Z naměřených výsledků vyplývá, že rychlost fotosyntézy v průběhu pokusu postupně narůstala, což je v souladu s pracemi Aftaba a kol. (2010), Slatyera a Gilberta (1971) a Jonese (1998), kteří uvádí, že rychlost fotosyntézy narůstá v průběhu ontogenetického vývoje rostlin.

Dále byl v pokusu pozorovatelný trend klesající rychlosti fotosyntézy u rostlin stresovaných suchem. Ze získaných výsledků vyplývá, že odrůdy Laura a Valfi pozitivně reagovaly na 1. rehydrataci 27. den pokusu. U odrůdy Laura došlo k nárůstu rychlosti fotosyntézy o $0,38 \text{ CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a rychlost fotosyntézy u odrůdy Valfi po rehydrataci stoupala. Tyto výsledky potvrzuje práce Singha a kol. (1973), kteří podobou reakci na rehydrataci sledovali u rostlin ječmene. Podobné výsledky zjistili i Vomáčka a Pospíšilová (2003).

V porovnání s kontrolou se ukázala odrůda Milva jako nejvíce tolerantní k podmínkám vodního deficitu. U odrůdy Milva došlo k poklesu rychlosti fotosyntézy pouze o $0,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Jako nejvíce tolerantní k podmínkám zamokření se jeví odrůda Valfi, u které byl zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy o $0,04 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

6.2 Rychlost transpirace

Rozdíly v rychlosti transpirace nebyly tak výrazné jako u rychlosti fotosyntézy. Průměrně dosahovaly nejnižších hodnot rostliny stresované suchem, avšak vezmeme-li v úvahu konfidenční interval, tak hodnoty často nebyly průkazné. Rostliny pěstované v trvale zamokřené variantě často vykazovaly vyšší rychlost transpirace nežli kontrolní varianta. To potvrzuje práci Hailmeira a kol. (2007), podle kterého je snížení rychlosti transpirace základním obraným mechanismem, pomocí kterého rostliny mohou přežít během nedostatku vláhy.

Rychlost fotosyntézy u sledovaných rostlin značně kolísala i u zavlažované kontrolní varianty, což potvrzují práce Ahmadiho a Siosemardecha (2005) nebo Kumara a Tripathiho,

kteří sledovali změny rychlosti fotosyntézy u rostlin pšenice a konstatují, že rychlost transpirace závisí na růstové fázi rostliny.

Pokles hodnot rychlosti transpirace byl zjištěn u stresovaných odrůd. To potvrzuje práce Hnilíčkové a kol. (2005) na rostlinách chmele nebo Downse (1970) u rostlin pšenice a čiroku.

V rychlosti transpirace byl pozorovatelný podobný trend u kontrolní varianty a varianty zamokřené. U obou těchto variant se v průběhu pokusu rychlost transpirace velmi měnila. Uvedené nelze konstatovat o variantě s vodním deficitem, která dosahovala průměrně nejnižších hodnot, avšak v průběhu pokusu byla rychlost transpirace u této varianty poměrně stabilní.

Z výsledků můžeme usuzovat, že vodní deficit relativně nejméně ovlivnil odrůdu Marabel, u které došlo k poklesu rychlosti o $0,11 \text{ H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Největší změna v rychlosti transpirace oproti kontrole byla zjištěna u odrůdy Milva – $0,85 \text{ H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z porovnání kontrolní varianty a trvale zamokřené varianty vycházejí nejlépe dvě odrůdy, u kterých nedošlo ke zpomalení transpirace – Valfi a Marabel. U první jmenované se rychlost transpirace ve stresované variantě dokonce zvýšila o $0,12 \text{ H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ oproti zavlažované kontrole. Naměřené výsledky potvrzují práci Jefferiese (1993), který ve své práci uvádí, že odrůdy mohou na vodní stres reagovat různě. Genotypové rozdíly v rychlosti transpirace v reakci na stres ve svých pracích dále sledovali např. Salomon a Labuschagne (2003) nebo Siosemardeh a kol. (2004).

Poté, co byly rostliny s vodním deficitem rehydratovány, došlo k nárůstu rychlosti transpirace, to potvrzují práce Vomáčky a Pospíšilové (2003) a Singha a kol (1973).

6.3 Efektivita využití vody

Efektivita využití vody, anglická zkratka WUE, je podíl rychlosti fotosyntézy a transpirace. U odrůdy, která má WUE nejvyšší, se dá předpokládat dobrá odolnost vůči vodnímu deficitu (Zámečnicková, 2000).

Nejvyšší efektivitu využití vody měly v průměru rostliny stresované vodním deficitem. Tyto výsledky jsou v souladu se Sunem a kol. (2006), který konstatuje, že během vodního deficitu hodnoty efektivity využití vody stoupají. Podobné výsledky uvádí ve své práci Zhang

a kol. (2005) nebo Meng a kol. (2006). Výsledky prací výše uvedených autorů byly v pokusu potvrzeny, protože hodnoty WUE byly ve variantě s vodním deficitem v průměru o $5,35 (10^{-3})$ vyšší než hodnoty naměřené u rostlin v kontrolní variantě.

Porovnání mezi kontrolou a zamokřenou variantou není jednoznačné, některé odrůdy vykazují větší efektivitu v podmínkách vodního stresu a některé mají větší efektivitu využití vody v podmínkách zavlažované kontroly. Nejvyšší efektivitu využití vody vykazovaly rostliny odrůdy Milva rostoucí ve vodním deficitu ($19,44 (10^{-3})$). Dále odrůda Laura měla v podmínkách trvalého zamokření vyšší WUE ($15,47 (10^{-3})$). Vzhledem k velkému rozptylu hodnot však tento výsledek nemusí být průkazný. Nejnižší hodnota byla vypočítána u odrůdy Milva v podmínkách zavlažované kontroly ($6,02 (10^{-3})$). Genotypové rozdíly v efektivitě využití vody uvádí ve své práci Horáková a Kovár (2006) nebo Sinclair a kol (1983)

6.4 Fluorescence chlorofylů

Nejvyšších hodnot dosahovala fluorescence chlorofylů v podmínkách zavlažované kontroly. U obou stresovaných variant byla naměřena nižší fluorescence, což potvrzuje výsledky Liu a kol. (2012), kteří konstatují, že vodní stres snižuje fluorescenci chlorofylů. Snížení hodnot fluorescence u rostlin rostoucích v anoxii dokládá např. Dolstra a kol. (1994). V práci Haldimanna (1999), který zkoumal fluorescenci chlorofylů u rostlin kukuřice, je uvedeno, že se hodnota fluorescence v zamokřené variantě snížila oproti kontrole v průměru o 10-20 %, což potvrzuje výsledky pokusu, ve kterém došlo k průměrnému snížení hodnot fluorescence o 11 %.

U všech odrůd ve stresovaných variantách došlo k poklesu fluorescence, což potvrzuje výsledky Liu a kol. (2012) a Betrána a kol (2003), kteří měřili fluorescenci chlorofylů u kukuřice.

Hodnota fluorescence u varianty s vodním deficitem byla v průměru 0,724, u zamokřené varianty tato hodnota činila 0,731. V podmínkách zavlažované kontroly byl průměr z hodnot 0,818. Podle Lichtenthalera a kol. (2004) by se měly hodnoty F_v/F_m pohybovat u zdravých, nestresovaných rostlin v rozpětí 0,750 – 0,840. Výsledky pokusu tuto teorii potvrzují. Z výsledků pokusu dále vyplývá, že ze stresovaných variant byla lepší reakce na stres u rostlin trvale zamokřených.

Dále nebyly zjištěny žádné prokazatelné rozdíly ve fluorescenci chlorofylů mezi odrůdami, což potvrzuje práci Liu (2012) na kukuřici. Podobné výsledky zjistil také Souza a kol. (2004) u rodu *Vigna*.

7 Závěr

U čtyř odrůd brambor byl sledován vliv vodního stresu na rychlost fotosyntézy, transpirace, efektivitu využití vody a fluorescenci chlorofylů. Ze získaných výsledků vyplývají tyto závěry:

1. Vodní stres měl negativní vliv na rychlost fotosyntézy a transpirace u odrůd brambor.
2. Byl prokázán vliv odrůdy na rychlost fotosyntézy v reakci na vodní stres.
3. Nejnižší rozdíl mezi kontrolní a suchou variantou byl zjištěn u odrůdy Milva ($0,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) naopak nejvyšší rozdíl byl stanoven u odrůdy Laura ($0,72 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
4. Nejnižší rozdíl mezi kontrolní a zamokřenou variantou byl zjištěn u odrůdy Valfi ($0,04 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Na straně druhé nejvyšší rozdíl byl naměřen u odrůdy Laura ($0,55 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
5. Anoxie neměla prokazatelně negativní vliv na rychlost transpirace u odrůd brambor.
6. Nejnižší rozdíl mezi kontrolní a suchou variantou byl zjištěn u odrůdy Marabel ($0,11 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). U odrůdy Milva byl rozdíl nejvyšší ($0,85 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
7. Byl zjištěn vliv vodního stresu na efektivitu využití vody a fluorescenci chlorofylů.
8. Nebyl zjištěn vliv odrůdy na fluorescenci chlorofylů.
9. Byla potvrzena hypotéza o existenci meziodrůdového rozdílu v reakci na působení stresu.
10. Byla potvrzena hypotéza o existenci vlivu vodního stresu na fluorescenci chlorofylů.
11. Byla potvrzena hypotéza o existenci vlivu vodního stresu na výměnu plynů.
12. Ze sledovaných odrůd na vodní deficit citlivě reagovaly odrůdy Laura a Milva.
13. Jako tolerantní vůči anoxii se jeví odrůda Valfi.

8 Použitá literatura

adc.co.uk. lcpro-t. adc. [Online] [Citace: 3. červenec 2020.]

<https://www.adc.co.uk/products/lcpro-t/>.

Aftab, T., Khan, M. A., Idrees, M., Naeem, M., Singh, M., Ram, M. 2010. Stimulation of crop productivity, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. by triacontanol and gibberellic acid application. *Journal of Plant Interactions*. 5.

Ahmadi, A., Siosemardeh, A. 2005. Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and nonstomatal limitations. *International Journal of Agriculture and Biology*. 7.

Ashraf, M. a Harris, P. J. C. 2005. *Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches*. New York : Haworth Press. 1-56022-965-9.

Atwell, B., Kriedeman, P. a Turnbull, C. 1999. *Plants in action*. South Yarra : MacMillan Publishers Australia. 0-7329-4439-2.

Betrán, F. J., a kol. 2003. Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and nonstress environments. *Crop Science*. 43.

Boyer, J. S. 1982. Plant Productivity and Environment. *Science*. 218.

Bray, E. A. 1997. Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*. 2.

Jefferies, R. A. 1993. Cultivar responses to water stress in potato: effects of shoot and roots. 123. *New Phytologist*, Sv. 3.

Čepl, J., a kol. 2012. *Máme rádi brambory: proč jsou brambory zdravé, jak je správně nakupovat i pěstovat, úspěšné projekty PRV a několik osvědčených receptů*. Praha : Ministerstvo zemědělství České republiky. 978-80-7434-060-4.

Čepl, Jaroslav. 2005. Brambory - zdravá potravina. *Bramborářství*. 13, 6.

De Willigen, P., Heinen, M. a J., van den Broek B. 1995. Modelling water and nitrogen uptake of potato crop growing on a fidge. [autor knihy] A. J. Haverkort a D. K. L.

Dolstra, O., Haalstra, S. R., Van der Putten, P. E. L., Schapendok, A. H. C. M. 1994. Genetick variation for resistance to low-temperature photoinhibition of photosynthesis in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*. 80.

MacKerron. *Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth*. Dordrech : Kluwer Academic Publishers.

Dorušková. 2008. botany. [Online] [Citace: 18. únor 2020.] <https://botany.cz/cs/solanum-tuberosum/>.

Dráb, J. 1956. *Pěstování bramborů*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství.

Ekotechnika. výrobky. ekotechnika. [Online] [Citace: 3. červenec 2020.] <https://ekotechnika.cz/kategorie/vyrobky/rostliny>.

EUROPLANT. Laura. eurolplant. [Online] [Citace: 1. červenec 2020.] <https://eurolplant.cz/laura>.

EUROPLANT. marabel. eurolplant. [Online] [Citace: 1. červenec 2020.]

EUROPLANT. Milva. eurolplant. [Online] [Citace: 2. červenec 2020.] <https://eurolplant.cz/milva>.

FAO. 2008. FAO. [Online] <http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/index.html>.

Fleisher, D. H., Timlin, D. J. a Reddy, V. R. 2008. Elevated carbon dioxide and water stress effects on potato canopy gas exchange, water use, and productivity. *Agricultural and forest meteorology*.148.

Flowers, T. J. 2003. *Journal of Experimental Botany*. [Online] [Citace: 22. červen 2020.] https://watermark.silverchair.com/erh003.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAO4wggKKBgkqhkiG9w0BBwagggJ7MIICdwIBADCCAnAGCSqGSib3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMbNdWty6SQ8Lxy339AgEQgIICQc8dgSsSoNOxOycmVKvastU8ADy37QRqgxfmQb7L3z8pgYOE.

- Govindakrishnan, P. M. a Haverkort, A. J. 2006. Ecophysiology and Agronomic Management. [autor knihy] J. Gopal a S. M. (editors) Khurana. Handbook of Potato Production, Improvement, and Postharvest Management. New York : The Haworth Press.
- Guenther, J. 2001. The International potato industry. Cambridge : Woodhead Publishing. 1-85573-465-6.
- Haldimann, P., Strasser, R. J. 1999. Effects of anaerobiosis as probed by the polyphasic chlorophyll a fluorescence rise kinetic in pea (*Pisum sativum* L.). Photosynthesis Research. 62.
- Hamouz, K. 1994. Základy pěstování konzumních a průmyslových brambor. Praha : Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky. 80-7105-090-3.
- He, Y., Yu, C., Zhou, L., Chen, Y., Liu, A., Jin, J., Hong, J., Qi, Y., Jiang, D. 2014. Rubisco decrease is involved in chloroplast protrusion and Rubisco-containing body formation in soybean (*Glycine max*) under salt stress. Plant physiology and biochemistry. 74.
- Heilmeyer, H., a kol. 2007. General relations of stomatal response to xylem sap abscisic acid under stress in the rooting zone - a global perspective. Flora. 202.
- Hnilička, F., a kol. 2008. Vliv sucha na rychlost fotosyntézy a transpirace juvenilních rostlin kukuřice. Úroda. 8.
- Horáková, M. a Kovár, M. 2006. Úloha osmotického prispôsobenia v tolerancii jačmeňa na suchu. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. 80 – 213 – 1484 - 2.
- Hruška, L. 1974. Brambory. Praha : Státní zemědělské nakladatelství.
- Jones, A. M. 2015. A new look at stress: abscisic acid patterns and dynamics at high-resolution. New Phytologist. Sv. 1, 210.
- Jones, H. G., Kershanskaya, O. I., Bogdanova, E. D. 1998. Photosynthesis characteristics of rolling leaf wheat lines in response to drought stress. Photosynthesis: mechanisms and effects. Volume V.
- Kocon, A. 2006. Efektywnosc fotosyntetyczna pszenicy w warunkach stresu wodnego. Nawozy i Nawozenie Fertilisers and Fertilization. 8.

- Kůdela, V., a kol. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Praha : Academia. 978-80-200-2262-2.
- Kumar, A., Tripathi, R. P. 1990. Relation of leaf-water potential, diffusive resistance, transpiration rate and canopy temperature in bread wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agricultural Sciences. 60.
- Kutnar, F. 1963. Malé dějiny brambor. Havlíčkův Brod : Východočeské nakladatelství.
- Larcher, W. 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Praha : Academia.
- Larcher, W. 1987. Streß bei Pflanzen. Naturwissenschaften. 74.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, radiation, salt, and other stresses. New York : Academic Press.
- Lichtenthaler, H. K. a Mische, J. A. 1997. Fluorescence paging as a diagnostic tool for plant stress. Trends in Plant Science. 2.
- Lichtenthaler, H. 1998. The Stress Concept in Plants: An Introduction. [autor knihy] P. Csermely. Stress of life from molecules to man. New York : Annals of the NY Academy of Science.
- Liu, M., a kol. 2012. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence to drought stress in two maize cultivars. African Journal of Agricultural Research. 7.
- Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. a Knapp, M. 2004. Measurement of chlorophyll fluorescence kinetics (Kautsky effect) and the chlorophyll fluorescence decrease ratio (RFd-values) with the PAM-Fluorometer. Analytical Methods in Plant Stress Biology.
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E., Navari-Izzo, F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. Plant Physiology. 119.
- Meng, Z., Liu, Z-g., Chen, J., Duan, A., Zhang J., LIU Z-d. 2006. Effects of different soil moisture treatments on physiological characteristics of summer maize leaves

- Morgan, P. W., Abeles, F. B. a Saltveit, M. E. 1992. Ethylene in Plant Biology. San Diego : Academic Press. 0-12-041451-1.
- Nilsen, E. T. a Orcutt, D. M. 1996. The Physiology of Plants Under Stress. John Wiley and Sons. 978-0-471-03152-9.
- Penka, M. 1985. Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Praha : Academia.
- Petr, J., Baier, J., Bureš, R., Coufal, V. 1987. Počasí a výnosy. Praha : Státní zemědělské nakladatelství
- Prášil, O. 2003. Fluorescence chlorofylu jako metoda studia fotosyntézy a diagnostiky porostu. Živa. 6.
- Roháček, K., Soukupová, J. a Barták, M. 2008. Chlorophyll fluorescence: a wonderful tool to study plant physiology and plant stress. [autor knihy] Benoît Schoefs (editor). Plant cell compartments - selected topics. Kerala : Research signpost.
- Rybáček, V., a kol. 1988. Brambory. Praha : Státní zemědělské nakladatelství.
- Schapendonk, A. H. C. M., Spitters, C. J. T. a Groot, P. J. 1989. Effects of water stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of five potato cultivars. Potato research. 32.
- Sinclair, T. B., Tanner, C. B., Bennet, J. M. 1983. Water-Use Efficiency in Crop Production. BioScience. 34.
- Sinco. HAWITA MNOŽÁRENSKÝ A VÝSEVNÍ SUBSTRÁT 250L. sinco. [Online] [Citace: 2. červenec 2020.] <https://www.sinco.cz/substraty/hawita/hawita-mnozarensky-a-vysevni-substrat-250l.html>.
- Singh, T. N., Paleg, L. G. a Aspinall, D. 1973. Stress metabolism III. Variations in response to water deficit in the barley plant. Australian Journal of Biological Sciences. 26.
- Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Ebrahimzadeh, H. 2004. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 35.
- Slatyer, R. O., Gilbert, N. E. 1971. Photosynthesis and Photorespiration. Science. 173.

- Souza, R. P., Machado, E. S., Silba, J. A. B., Lagoa, A.M.M.A., Silveira, J. A. G. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*. 51.
- Sun, H. Y., a kol. 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural water managements*. 85.
- van Loon, C. D. 1981. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. *American Potato Journal*. 58.
- Vaněk, V., a kol. 1998. Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. Praha : Farmář - Zemědělské listy. 80-902413-1-X.
- Veleta, V. 2020. Meteorologický archiv.
- Vokál, B., a další. 2003. Pěstujeme brambory. Praha : Grada Publishing. 80-247-0567-2.
- Vokál, B., Cvrček, M., Čepl, J., Čížek, M., Domkářová, J., Fér, J., Hausvater, E., Králíček, J., Prugar, J., Rasocha, V., Zrůst, J. 2000. *Brambory*. Praha : Agrospoj.
- Vomáčka, L. a Pospíšilová, J. 2003. Rehydration of Sugar Beet Plants after Water Stress: Effect of Cytokinins. *Biologia plantarum*. 46.
- VÚBHB. 2014. Valfi - varný typ BC. vubhb. [Online] [Citace: 2. červenec 2020.] <https://www.vubhb.cz/cs/clanky/brambory/valfi-varny-typ-bc>.
- Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod. 2020. historie a současnost. vubhb. [Online] [Citace: 19. únor 2020.] <https://www.vubhb.cz/cs/zahradkari-a-spotrebitele/historie-a-soucasnost-zs>.
- Wang, W. X., a kol. 2001. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Horticulurae*. 560.
- Yordanov, I., Velikova, V. a Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*.

Zámečnicková, B. 2000. Vliv vodního potenciálu, dusíkaté výživy a abiotických stresů na fotosyntézu a transpiraci u rostlin ječmene a pšenice. Praha : ČZU.

Zeng, W., Xu, C., Wu, J., Huang, J., Zhao, Q., Wu, M. 2014. Impacts of Salinity and Nitrogen on the Photosynthetic Rate and Growth of Sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Pedosphere*. 24.

Zhang, H., a kol. 2005. Improved Water Use Efficiency Associated with Cultivars and Agronomic Management in the North China Plain. *Agronomy Journal*. 97.

9 Seznam grafů

Graf 1: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Laura v závislosti na variantě a délce působení stresu	29
Graf 2: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Marabel v závislosti na variantě a délce působení stresu	30
Graf 3: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Milva v závislosti na variantě a délce působení stresu	31
Graf 4: Změny rychlosti fotosyntézy u odrůdy Valfi v závislosti na variantě a délce působení stresu	32
Graf 5: Porovnání průměrné rychlosti fotosyntézy u jednotlivých odrůd a variant	33
Graf 6: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Laura v závislosti na variantě a délce působení stresu	35
Graf 7: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Marabel v závislosti na variantě a délce působení stresu	36
Graf 8: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Malvi v závislosti na variantě a délce působení stresu	37
Graf 9: Změny rychlosti transpirace u odrůdy Valfi v závislosti na variantě a délce působení stresu	39
Graf 10: Porovnání průměrné rychlosti transpirace u jednotlivých odrůd a variant	40
Graf 11: Porovnání efektivity využití vody u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě	41
Graf 12: Porovnání průměrné fluorescence chlorofylů u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě	42