

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních
zdrojů**

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv vodního deficitu na fyziologické charakteristiky
vybraných druhů listové zeleniny**

Diplomová práce

Autor práce: Kamil Kraus

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

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv vodního deficitu na fyziologické charakteristiky vybraných druhů listové zeleniny" jsem vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady a systematické vedení mé diplomové práce.

Vliv vodního deficitu na fyziologické charakteristiky vybraných druhů listové zeleniny

Souhrn

Vlivy působící na rostliny negativním způsobem se nazývají stresovými faktory. Samotný stres nezpomaluje pouze životní funkce rostlin, ale přímo ovlivňuje i výši a kvalitu výsledného produktu.

Z celosvětového hlediska řadíme mezi nejvýznamnější stresory rostlinné produkce tzv. abiotické stresy, které v posledních letech zahrnují extrémně vysoké teploty, nerovnoměrné rozložení srážek, jak plošné, tak v průběhu vegetace rostlin.

Vodní deficit (sucho) patří mezi nejvýznamnější stresové faktory v zemědělství, ovlivňuje zemědělskou produkci na celém světě. Na vodní deficit citlivě reagují také zeleniny, a to především zeleninové druhy, které obsahují velké množství vody ve svých pletivech. Proto cílem práce bylo posouzení vlivu vodního stresu na výměnu plynů a fotosyntetickou aktivitu rostlin mangold "*Beta vulgaris* subsp. *Cvikla*", roseta setá "*Eruca sativa*" a locika setá "*Lactuca sativa*", vystavených vodnímu deficitu.

Rostliny mangoldu rosety seté a lociky seté byly pěstovány v částečně řízených podmínkách skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Rostliny byly pěstovány při teplotě ve dne 25 °C a v noci 18 °C, za přirozených světelných podmínek. Rostliny byly pěstovány v nádobách o rozměru 11x11 cm ve směsi zahradního substrátu A a křemičitého písku v poměru 2:1. Schéma pokusu zahrnovalo dvě varianty – kontrolní a stresovanou. Kontrolní skupina rostlin byla zalévána, a druhá polovina rostlin byla ponechána působení stresu po dobu 22 dnů, kdy vodní deficit byl navozen postupným vysycháním po dobu jednoho měsíce, pokus

probíhal od 1.6 2015 do 22.6. 2015. U rostlin byla měřena rychlost výměny plynů gazometricky pomocí přístroje LCpro+. Z hodnot fotosyntézy a transpirace byla vypočtena efektivita využití vody (WUE) a fluorescence chlorofylů.

Ze získaných výsledků vyplývá, že je prokazatelný rozdíl v reakci na vodní stres mezi sledovanými druhy listové zeleniny.

Rychlost fotosyntézy a transpirace u sledovaných druhů rostlin byla měřena, která se snižovala vlivem působení vodního deficitu. Průměrná rychlost fotosyntézy stresovaných rostlin byla nejnižší u lociky seté ($11,16 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a naopak nejvyšší u mangoldu ($13,2 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). V případě rostlin kontrolních byla nejnižší rychlost fotosyntézy zaznamenána u lociky seté ($12,03 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a u mangoldu byla nejvyšší ($14,00 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Nejvýrazněji se vlivem působení vodního deficitu snížila rychlost fotosyntézy v porovnání s kontrolou lociky seté (rozdíl činí 7,23 %). Na straně druhé u druhu mangold bylo zaznamenáno snížení fotosyntézy u rostlin stresovaných nejnižší 5,93 %.

V případě rychlosti transpirace je možné konstatovat, že nejnižší transpiraci vykazují v rámci kontrolní skupiny rostliny mangoldu, u nichž byla průměrná rychlost transpirace ve výši $1,82 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, a naopak u rockety byla naměřená transpirace nejvyšší, a to $3,20 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. U stresovaných rostlin se průměrná rychlost transpirace pohybovala v rozmezí hodnot od ($1,54 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) u lociky a do $1,79 \text{ (mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ u mangoldu. Také mezi kontrolními a stresovanými rostlinami téhož druhu byly nalezeny rozdíly, přičemž na stres suchem citlivěji reagoval druh rocketa setá a méně citlivě mangold. U těchto dvou druhů rostlin bylo zaznamenáno snížení transpirace ve výši 23,80 % a 1,76 %.

Z naměřených hodnot fotosyntézy a transpirace byla vypočtena efektivita využití vody (WUE). Z vypočtených hodnot vyplývá, že rostliny

stresované mají vyšší hodnoty WUE v porovnání s rostlinami kontrolními. U rostlin kontrolních měla nejnížší hodnotu efektivity využití vody roketa ($6,51 \times 10^{-3}$) a naopak nejvyšší mangold ($10,31 \times 10^{-3}$). V případě rostlin stresovaných byla nejnížší hodnota WUE zaznamenána u rockety ($8,96 \times 10^{-3}$), kdežto u mangoldu ($10,71 \times 10^{-3}$) byla nejvyšší.

U pokusných rostlin byla měřena také fluorescence chlorofylů. Tato charakteristika nebyla ovlivněna rostlinným druhem, neboť v rámci kontrolních rostlin nebyly mezi sledovanými druhy nalezeny rozdíly. Rozdíly v hodnotách fluorescence byly nalezeny mezi rostlinami stresovanými, kdy nejnížší fluorescenci měly rostliny lociky seté (0,69) a naopak nejvyšší mangold a roketa (0,70). Závěrem je možné konstatovat, že na vodní deficit citlivěji reagují rostliny lociky seté. Jako tolerantnější k vodnímu deficitu se jeví mangold a roketa.

Klíčová slova: fotosyntéza, transpirace, fluorescence, sucho, listová zelenina

The influence of water deficit on physiological characteristics of chosen species of leaf vegetables

Abstract

The harmful influences on plants are called stress factors. The stress itself does not slow down only vital functions of plants but influences directly the size and quality of final product as well.

Worldwide, we count the so called abiotic stresses as the most significant crop production stressors. These include in recent years extremely high temperatures and unequal rainfall distribution both areal and during vegetation period.

The water deficit (drought) belongs to the most important stress factors in agriculture. It influences crop production all over the world. Also vegetables are responsive to water deficit, especially the species with huge amount of water in their tissue. Therefore, the goal of this thesis is to assess the impact of water stress on gas exchange and photosynthetic activity of mangold "*Beta vulgaris*", salad rocket "*Eruca sativa*" and lettuce "*Lactuca sativa*", which were placed at water deficit.

The plants - mangold, salad rocket and lettuce - were grown in a partly controlled greenhouse conditions under the Department of Botany and Plant Physiology FAPPZ ČZU in Prague. The plants were grown at a temperature of 25°C in daytime and 18°C at night under natural light conditions. They were grown in containers of size of 11x11 cm in a mixture of garden substrate A and silica sand in the ration 2:1. The experimental scheme included two variants - control and stressed. The control group of plants was watered, and the second half of plants was left under stress for 22 days, when the water deficit was induced by gradual drying for one month, the experiment took place from 1.6 2015 to 22.6 2015. The speed of gas exchange by plants was measured by apparatus LCpro+. From the values of photosynthesis and

transpiration water use efficiency (WUE) and chlorophyll fluorescence were calculated.

The gained results proved difference at reaction to water stress between observed kinds of leaf vegetables.

The speed of photosynthesis and transpiration of observed plant species was measured, which decreased due to impact of water deficit. The average speed of photosynthesis of stressed plants was the lowest by lettuce ($11,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), contrarily the highest by mangold ($13,2\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). In case of control plants was the lowest speed of photosynthesis noticed by lettuce ($12,03\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and the highest by mangold ($14,00\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). In comparison with control group, the speed of photosynthesis of lettuce decreased significantly by impact of water deficit (difference make 7,23 %). On the other hand the lowest decrease of photosynthesis from stressed plants 5,93% was noticed for mangold.

In case of speed of transpiration, it is possible to note, that the lowest transpiration of control group shows mangold with the average speed of transpiration $1,82 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, by contrast the highest transpiration was measured by lettuce $3,20 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. In the case of stressed plants moved the average speed of transpiration between $1,54 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for lettuce and $1,79 \text{ (mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ for mangold. Also, between control and stressed plants of the same species were found differences, and salad rocket reacted to stress of drought more sensitively and mangold less sensitively. For these two plant species was noted decrease of transpiration in the amount of 23,80% and 1,76%.

From the measured value of photosynthesis and transpiration was calculated water use efficiency (WUE). The calculated values show that stressed plants have higher value of WUE in comparison to control plants. The lowest water efficiency from control plants produced salad rocket (6.51×10^{-3}), while the highest mangold (10.31×10^{-3}). In the case of stressed

plants was the lowest value of WUE noted for salad rocket (8.96×10^{-3}), while for mangold was the highest (10.71×10^{-3}).

Chlorophyll fluorescence of the experimental plants was also measured. This characteristic was not influenced by plant species, because in case of control plants, there were no differences found between observed plant species. The lowest difference in value of fluorescence had plants of lettuce (0,69) while the highest mangold and salad rocket (0,7). In conclusion it is possible to note, that more sensitive to water deficit are plants of lettuce. As more tolerant to water deficit seems mangold and salad rocket.

Keywords: photosynthesis, transpiration, fluorescence, drought, leaf vegetables

Obsah

1. Úvod	12
2. Cíl práce	14
3. Hypotézy práce	14
4. Literární rešerše.....	15
1.1 Botanická charakteristika	15
Mangold " <i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>Cvikla</i> "	15
Roketa setá " <i>Eruca sativa</i> "	15
Locika setá " <i>Lactuca sativa</i> "	15
1.2 Stres – obecná charakteristika	19
1.3 Vodní deficit.....	21
1.3.1 Hospodaření rostliny s vodou	23
1.3.2 Vliv vodního deficitu na rostliny	24
1.3.3 Obranné reakce rostlin vůči vodnímu deficitu	25
5. Metodika.....	27
1.4 Založení pokusu.....	28
1.4.1 Rychlost fotosyntézy a transpirace	29
1.4.2 Efektivita využití vody - WUE	29
6. Výsledky	30
7. výsledky	30
1.5 Rychlost fotosyntézy	30
1.6 Rychlost transpirace	36
1.7 Efektivita využití vody (WUE).....	41
1.8 Fluorescence	42
8. Diskuse	46

1.9	Rychlost fotosyntézy	46
1.10	Rychlost transpirace	46
1.11	Rychlost efektivity vody (WUE).....	47
9.	Závěr.....	49
10.	Literární zdroje	51
1.12	Ostatní zdroje	55

1. Úvod

Veškeré negativní vlivy působící na rostliny se nazývají stresy. Je patrné, že jedním z nejvýznamnějších abiotických stresů je sucho. To je faktorem, ovlivňujícím kvalitu rostlin i jejich metabolismus.

Případné riziko půdního sucha a následného vodního deficitu jsou značným rizikem i v České republice, neboť v prostředí naší republiky jsou srážky nevyrovnané jak v průběhu vegetace, tak i roku, a jsou známé oblasti, u kterých hrozí dlouhodobé či trvalé sucho, a to především oblasti jižní Moravy a Polabí. Z toho vyplývá, že sucho je jedním z nejčastějších stresorů na našem území, vodním deficitem je ohroženo cca 1,7 % zemědělské půdy. Toto riziko by se mohlo do budoucna prohloubit až na 6,8 % celkové plochy České republiky, což by znamenalo, že v roce 2050 by mohlo být až 20 % plochy orné půdy zasaženo suchem.

Dále je známo, že celková rozmanitost života na naší planetě je založena na ekologickém základě, tvořeném převážně rostlinami. Pro obyvatele Země představují rostliny obživu, krásu ale i léčiva a nejen to, mohou je využívat jako oděvní materiál, palivo nebo krmivo pro zvířata či případně jako hnojivo. Průměrný roční nárůst vypěstované biomasy na světě se díky intenzivní práci genetiků pohybuje okolo 1,25 %. I přes tuto hodnotu se stále zvyšuje náročnost na množství produkované biomasy, už jen z důvodu nárůstu počtu obyvatelstva a stále se zmenšující výmě orné půdy. A na straně druhé začíná působit stále větší variabilita počasí. Proto se klade stále vyšší důraz nejen na vyšší výnosu, ale i na její kvalitu.

Cílem této práce je rozšířit znalosti o výměně plynů rostlin zatížených vodním deficitem. Růst a vývoj rostlin je totiž přímo ovlivněn intenzitou fotosyntézy a sní spojenou fixací CO₂. Na těchto propojených procesech je závislá existence rostlin a s ní i spojená samotná existence života na planetě.

Ale tento metabolický proces je ovlivněn řadou faktorů, včetně stresových, které jsou v dnešní době jednou z hlavních limitujících podmínek produkce.

Proto je nutné se zabývat šlechtěním na odolnost vůči těmto nepříznivým podmínkám životního prostředí a také hledat vhodné markery pro stanovení míry odolnosti rostlin vůči stresorům.

2. Cíl práce

Listová zelenina patří mezi významné druhy zelenin, s ohledem na jejich nutriční složení a možnost využití v lidské výživě. S ohledem na pěstování patří vzhledem k vyššímu obsahu vody k rostlinám s vysokými nároky na vodu. Z tohoto důvodu velmi citlivě reagují na vodní deficit. Cílem diplomové práce je:

Stanovení a vyhodnocení vlivu vodního deficitu na rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů vybraných druhů listové zeleniny.

3. Hypotézy práce

Na základě stanovených cílů práce byly navrženy následující hypotézy:

1. existují mezidruhové rozdíly v rychlosti výměny plynů a fluorescence chlorofylů?
2. existují rozdíly v reakci sledovaných druhů rostlin na vodní deficit a následnou rehydrataci?
3. lze uvedené metody využít pro detekci odolnosti/citlivosti k vodnímu deficitu?

Mangold "*Beta vulgaris* subsp. *Cvikla*", roketa setá "*Eruca sativa*" a locika setá "*Lactuca sativa*" byly jako modelové rostliny zvoleny s ohledem na jejich obsah vody, rychlost růstu a možnosti pěstování v širokých agro-ekologických podmínkách.

4. Literární rešerše

1.1 Botanická charakteristika

Mangold "*Beta vulgaris* subsp. *Cvikla*"

Mangold je dvouletá bylina. Kulový kořen je neztloustlý, vřetenovitý, se ztloustlou nebo neztloustlou bulvou. Lodyhy vyrůstají jednotlivě, většinou ve druhém roce. A dorůstají výšky 50 až 150 cm. Přízemní listy dlouze řapíkaté, s čepelí vejčitou, na vrcholu zaoblenou v horských oblastech hrubě rýhovanou. Tvary listu mohou být zvlněné, pilovité, hladké, kadeřavé různě zbarvené dle odrůdy. Květy v klubíčkách po 2 až 6, ale i jednotlivě v úžlabí čárkovitých až eliptických listů. Okvětí je zelené, bylinné, dužnaté (Slavík, a Štěpánská 2004).

Roketa setá "*Eruca sativa*"

Jsou to jednoleté, po rozemnutí vonné byliny s tenkým hlavním kořenem, lysé nebo řídké chlupaté trichomy jednobuněčné, rovné nebo srpovitě zahnuté. Lodyhy rozvětvené, jemně rýhované. Dolní a střední listy řapíkaté. Kališní lísky úzce obkopinaté, vstřícné, s úzkým bělavým lemem s vnitřními tyčinkami o málo delšími než kalich. Semeník válcovitý, přisedlý, zúžený v zobanech, čnělka tlustá. Rostliny vysoké 20 až 60 cm. Listy světle zelené, vejčité až kopinaté (Hejný a Slavík, 1990).

Locika setá "*Lactuca sativa*"

Locika setá (salát) je jednoletá až dvouletá rostlina s tenkým kulovým kořenem. Lodyha je přímá, hustě olistěná. Rostliny dosahují výšky 30 až 70 cm. Listy svěže zelené až žluté, přízemní, krátce řapíkaté až 50 cm dlouhé. Většinou kulovité, hladké, občas ozubené i kadeřavé. Květy seskládají bohatou hustou latu, jsou světle žluté až nafialovělé. Plodem jsou nažky, obvejcovité, šedavé, na vrcholu měkce osténkovité. Květní lodyhy

vyrůstající většinou z hlávkovité růžice přizemních listů (Hejný a Slavík, 1990).

Dvouletá, vzácněji jednoletá silně mléčící bylina, vysoká 50–100 cm (i více), s hlízovitě ztloustlým kořenem. Olistěná lodyha je přímá, oblá, tuhá, dutá, zelená nebo červeně naběhlá, v horní části větvená. Listy jsou tenké, až 20 cm dlouhé, naspodu poněkud nasivělé, dolní jsou řapíkaté, lyrovitě peřenoklané, s velkým koncovým úkrojkem, střední a horní lodyžní listy jsou v obrysu podlouhlé až kopinaté, peřenosečné až peřenodílné, střelovitou bází objímavé, řidčeji jsou všechny listy celistvé (var. *integrifolia*). Úbory jsou stopkaté, tvořené 7–15 květy, skládají husté chocholičnaté laty s prodlouženými větvemi, se srdčité přisedlými špičatými listeny. Zákrov je víceřadý, válcovitý, 12–15 mm dlouhý, zákrovní listeny jsou čárkovitě kopinaté, tupé, zelené, někdy načervenalé, úzce bíle lemované, často přívěskaté. Květy jsou pouze jazykovité, delší než zákrov, žluté, blizna je dvouramenná. Nažky jsou úzce zploštěle elipsoidní, pětižebřé, černé, se zobánkem asi tak dlouhým jako tělo nažky, s jednořadým bílým chmýrem (Pekárková, 2002).

4.2 Historie a současnost pěstování sledovaných druhů

Mangold "*Beta vulgaris* subsp. *Cvikla*"

Mangold se pěstuje v kultuře od starověku. Nejstarší popsané typy řepy odpovídají nejvíce mangoldu. Pochází zřejmě ze Středozeří, odkud se díky Římanům (podle nich nazýván římské zelí) rozšířil do střední a severní Evropy. Ve středověku se přes Malou Asii dostal až na Dálný východ. Od 17. století je znám v Číně. V Evropě se dnes pěstuje především na Balkáně, dále ve Švýcarsku a dalších západoevropských zemích. V ČR získává znovu na oblibě (Pekárková, 2002).

Podle této autorky vyžaduje propustné půdy s vyšším obsahem živin, dostatečnou závlahou, ale nesnáší zamokření. Preferuje slunečná stanoviště, ale snese i polostín. V ČR se mu daří především v teplejších krajích. Může přezimovat i ve vyšších nadmořských výškách, před vymrznutím je třeba ho chránit chvojím nebo fólií.

Pěstuje se pro listy užívané jako špenát, za který bývá často zaměňován. Především mladé listy se používají do salátů, odrůdy se ztloustlými řapíky se upravují jako chřest. Listy obsahují vitamíny A, B, E a C, karoten, minerální látky (vápník, železo, sodík, fosfor) a betain. Zadržuje méně dusičnanů, má i nižší obsah kyseliny šťavelové, která brání vstřebávání vápníku, než špenát. Je považován za účinný v prevenci nádorových onemocnění, kornatění cév, posiluje imunitní systém, pročišťuje krev, příznivě působí při chudokrevnosti. Kromě typů listových, s tenkým řapíkem, jsou známé i typy řapíkaté, se silně ztloustlým řapíkem, a typy chřestové, které mají ztlustlý řapík nasládlé chuti. Liší se také barvou, od bílých, žlutých přes zelené až po červené a nafialovělé. U nás nejdostupnější odrůdou je 'Lucculus' s širokými listy, tlustými žebry a řapíky o rozměrech 6 × 3 cm. Karmínově červené řapíky má odrůda 'Rhubard Chard'. Odrůda 'Vulcan' má červené řapíky a sladkou chuť. Barevné odrůdy, např. 'Bright Lights', se pěstují i jako okrasné rostliny.

Dříve se používal jako krmivo pro zvířata nebo jako přísada při přípravě piva(Pekárková, 2002).

Roketa setá "*Erucasativa*"

Roketa je původní v Mediteránu, jihozápadní Asii, zřejmě i na Krymu a v Makaronésii. Je to kulturní plodina, která byla zavlečena jako plevel v porostech lnu a obilí. Dnes je severní hranicí rozšíření střední Evropa (archeofyt), na východě roste po Afghánistán a severní Indii, zplaněla v Severní Americe, jižní Africe, jihovýchodní Asii a Austrálii. U nás se v současnosti objevuje zplanělé jen vzácně a je považována za neofyt (Pekárková, 2002).

Tato autorka dále konstatuje, že ve své domovině roste na kamenitých svazích a na místech ovlivněných člověkem – v zanedbaných zahradách, na okrajích cest. Preferuje teplé, suché klima. Kromě počáteční potřeby vláhy je velmi odolná vůči suchu. Snáší i teploty do -4 °C. Je hojně pěstována jako listová zelenina – do salátů, omáček a polévek, je velmi oblíbená ve středomořské kuchyni. Mladé rostlinky v optimální délce 15 cm se sklízí 6–8 týdnů po zasetí, mají ředkvičkovou chuť. Roketu je také možné pěstovat podobně jako řerichu ze semínek na buničité vatě. Má vysoký obsah vitamínu C, účinky diuretické, upravuje zažívání, je považována za afrodisiakum. Využívá se ale především jako olejnatá rostlina, celkové množství oleje v semeni je asi 29 %. Díky vysokému podílu kyseliny erukové má tento olej stabilitu za vysokých teplot, schopnost setrvat v tekutém stavu i za nízkých teplot a trvanlivost. Využívá se pro výrobu mazadel, mýdel, fermeží a v kosmetickém průmyslu. Pro semena se pěstuje především v Indii (Pekárková, 2002).

Salát setý "*Lactucasativa*"*capitata*

Podle Pekárkové (2002) roste locika setá ve střední a jihovýchodní Evropě a v západní Asii. Druh je uváděn z jihovýchodní Francie, severní Itálie, Německa, Rakouska, České republiky, ze Slovenska, z Maďarska,

Balkánu, Turecka, Ukrajiny a jižního Ruska, včetně Krymu a Kavkazu, ze severního Íránu. U nás roste především na jižní a jihozápadní Moravě, zvláště v panonské oblasti, v Čechách je mnohem vzácnější, roste vzácně u Chomutova, v Českém středohoří, v okolí Prahy, na Mladoboleslavsku a Rožďalovicku.

Locika setá roste v podrostu listnatých lesů, v jejich lemech, pobřežních křovinách, akátinách, nezřídka na místech ovlivněných člověkem, na pohostinných stanovištích, na půdách úživných, dobře zásobených dusíkem a často též vápníkem. Kvete od června do září (Pekárková, 2002).

1.2 Stres – obecná charakteristika

Stres lze definovat jako obecně nepříznivé působení přírodních faktorů na rostlinu. Na toto působení lze nahlížet ze dvou různých směrů. První z nich vychází z mechaniky, kdy čím větší silou (stresem) na rostlinu působíme, tím silnější reakci zaznamenáváme. Z čehož vyplývá, že čím větší stres, tím větší poškození organismu. Podle druhé teorie je stres jakákoli změna okolního prostředí, která může nepříznivě ovlivnit nebo zpomalit vývoj rostliny (Levitt 1980), nebo na stres nahlížíme jako na jakékoli biologické zatížení, které zpomalí nebo zastaví biologický vývoj organismu (Selye, 1973).

Dalším způsob, jak popsat stres, je pojem "strain" který Levitt (1982) definuje jako fyziologickou změnu, která je reakcí na působení stresu vznikajícího v životním prostředí, ale tato reakce nemusí vždy nezbytně vést ke zpomalení růstu či poškození rostliny.

Dále je možné jako stres označit situaci kdy se životní podmínky významně odchýlí od normálních optimálních podmínek k životu, nebo se jedná o stav či reakci na jistou situaci celého organismu (Larcher, 2001). Další možností prohloubení stresových faktorů může být mimo jiné vysoká mezidruhovná variabilita, a mimo jiné i přisedlý způsob rostlinného života kdy rostlina před daným stresem neuteče (Larcher, 2003).

Také si musíme uvědomit, že u rostlinného stresu se jedná o celý komplex reakcí, které se liší podle působení typu stresu, zda je stres biotický či abiotický. Škody způsobené stresem na rostlinném těle mohou být jak dočasné tak i nenávratné i přesto, že působení stresu bylo krátkodobé, nicméně kvalita rostliny se snižuje tak dlouho, jak dlouho stres působí. A jakmile stres dosáhne hraniční hodnoty, dojde buďto k nevratným poškozením nebo až k letálnímu stavu (Larcher, 2001).

Během svého růstu se musejí rostliny vypořádat s celou řadou změn podmínek prostředí, ve kterém rostou. V průběhu růstu jsou vystavovány různým nepříznivým podmínkám biotických a abiotických stresů. K nejčastějším abiotickým stresorům patří nevhodné množství světla, vody nebo živin. Na rozdíl od biotických stresorů, které způsobují spíše patogeny a býložravci (Věchet, 2007).

V průběhu napadení rostliny choroboplodným organismem dochází k vzájemné interakci mezi těmito organizmy. Interakce mezi rostlinou a patogenem je vždy individuální v otázce reakce, lokalizace a množství vynaložených obranných látek. Obecnou reakcí je snaha o identifikaci patogenu a následnou produkci obranných látek k jeho likvidaci (Agrios, 2005).

Další obranou proti stresu může být adaptace rostlin na abiotické stresory. Ta je závislá na aktivaci řady reakcí na molekulární úrovni, zapojených do určení stresového faktoru, při přenosu signálu a exprese genů. Tím se zvyšuje tolerance k danému stresoru (Shao et al., 2007). Podle Levitta (1980) může být adaptace dosaženo buď vyhnutím se stresu, kdy hovoříme o tzv. stres avoidance, nebo vytvořením vnitřní tolerance (rezistence). Piterková a kol. (2005) dále uvádí, že stres avoidance představuje způsob obrany, zahrnující mechanickou bariéru rostliny, která má převážně dlouhodobý charakter. Jedná se např. o silnou kutikulu na listech, rezervoáry vody, výraznou impregnaci buněčné stěny.

1.3 Vodní deficit

Vodní kapacita půdy (jímavost, vododržnost) představuje množství vody, které je půda schopna po určitou dobu zadržet. Aby byla voda v půdě fyziologicky účinná, je nezbytné, aby byla v půdním prostředí zadržena dostatečně dlouhou dobu, alespoň natolik nezbytnou pro příjem rostlinami (Penka, a kol., 1985).

Pokud je vodní potenciál půdy blízký hodnotám od -1 do -2 MPa, vzniká v půdě bod trvalého vadnutí, a poté u rostlin dochází k vadnutí (Hale et Orcutt, 1987)

Bod trvalého vadnutí představuje jednu ze základních půdních charakteristik, která souvisí s půdními hydrolimity. Mezi půdní hydrolimity patří např.: a) Maximální (plná) vodní kapacita – MVK. Tato charakteristika je definována tak, že veškeré půdní póry jsou naplněny půdní vodou. Polní vodní kapacita – PVK nebo maximální kapilární kapacita – MKK. V tomto případě jsou vodou zaplněny všechny kapilární póry, ostatní póry jsou vyplněny vzduchem. Bod snížené dostupnosti půdní vody má obsah vody v půdě, který omezuje příjem vody kořeny rostlin. Jedná se o minimální přípustnou zásobu využitelné půdní vody. Bod vadnutí (BV) nastává při poklesu zásoby půdní vody. Půdní voda není využitelná pro rostliny (Nilsen et Orcutt, 1996).

Vodní deficit lze chápat jako rozdíl mezi momentálním obsahem vody v rostlině a jejím maximálním nasycením. Vodní deficit lze rozdělit na přechodný nebo trvalý vodní deficit, podle délky trvání záporné vodní bilance (Penka, 1985).

Dále vodní deficit popisuje Hsiao (1973), který jej rozděluje do tří skupin na mírný, střední a silný vodní deficit (stres, sucho). Při mírném vodním stresu dochází k poklesu turgoru listů v řádech desetin MPa, a poklesu relativního obsahu vody o 8 až 10 %. Střední stres má hodnotu vodního potenciálu -1,2 až -1,5 MPa a sytostní vodní deficit je vyšší než 10 %

ale zároveň nižší než 20 %. A rostliny vystavené těžkému stresu mají vodní potenciál více než -1,5 MPa a sytostní vodní deficit vyšší než 20 %. A pokud je vodní sytostní deficit vyšší než 50 %, jedná se o dehydrataci.

Pro rostlinu má především význam množství vody v půdě, protože půda je pro rostliny prostředím, ve kterém se přizpůsobují měnícím se podmínkám a odkud čerpají živiny rozpuštěné v půdním roztoku. Voda se v půdě vyskytuje ve všech skupenstvích, pevném, plynném i kapalném. Avšak největší význam má právě skupenství kapalné. Celkové množství vody v půdě se označuje jako půdní vlhkost, samozřejmě toto množství se v průběhu vývoje rostlin mění (Penka, a kol., 1985).

Podle Critchfield (1985) můžeme nedostatek vody v půdě rozdělit do následujících kategorií: a) stálé sucho spojené s aridním podnebím; b) sezonní sucho, které se vyskytuje v podobě zřetelných každoročních období suchého počasí; c) sucho způsobené proměnlivostí srážek. Dále tento autor charakterizuje sucho jako deficit, který nastává, když půdní vlhkost nestačí pokrýt požadavky půdní potenciální evapotranspirace.

Penka, a kol., (1985) dále uvádí, že kapalnou fázi vody najdeme v půdě ve třech formách, obalové, kapilární a gravitační, přičemž tyto formy nejsou od sebe odděleny ostrými přechody, naopak jsou propojeny volně. Obalová voda se při vzrůstající tloušťce mění na kapilární. Opačná situace je v případě vody v jednotlivých buňkách a v pletivech rostlin, kde v jednotlivých částech buňky není voda vázána stejným způsobem. Přechody mezi jednotlivými vazbami jsou víceméně plynulé. Všeobecně můžeme konstatovat, že jako vázanou vodu můžeme označit takovou vodu, která se nechová v některém z možných směrů jako voda roztoková. Jako vodu normální označujeme vodu, která si zachovává všechny fyzikální a fyzikálně-chemické vlastnosti. Dalším typem vody v buňce je voda mobilní, která se jako první zředňuje při aktivní vodní bilanci nebo jako první koncentruje při pasivní vodní bilanci.

Vodní bilance rostlin vyjadřuje Penka a kol. (1985) jako poměr vody přijaté a vypařené. Pokud výdej vody převýší příjem, vzniká vodní deficit. Vodní deficit, při kterém je rostlina ještě schopna získat zpět plné nasycení bez poškození, se nazývá kritický vodní deficit. Jako subletální deficit označujeme takový stav rostliny, kdy dochází k prvním známkám poškození. Jako poslední letální stupeň vodního RWC (relativní obsah vody) označujeme situaci, kdy rostlina není schopna dosytit pletiva do původní hmotnosti.

Vnější projevem vodního deficitu rostliny je její zavadání neboli pokles turgoru. Toto zavadání může být buďto dočasné (částečné) nebo úplné (trvalé). K dočasnému vadnutí dochází při vystavení rostliny vysokým teplotám v prostředí s nízkou vzdušnou vlhkostí, kdy příjem vody kořenem je menší než výpar listy. Avšak k úplnému vadnutí dochází tehdy, když rostlina není schopna přijímat vodu z půdy, v tomto případě se vodní deficit nenahradí, ale stále se prohlubuje. Tím dochází ke snižování množství vody nejen v listech, ale i v ostatních rostlinných orgánech (Penka a kol., 1985).

V důsledku zasychání rostliny dojde k odumírání vlásečnicových kořínků, které zajišťují kontakt s půdou. Vodní deficit nezpůsobuje pouze ztrátu turgoru, ale i zavírání průduchů, což vede i po zpětné hydrataci k poruchám fyziologických procesů jako je respirace, rychlost fotosyntézy, celkově se zastavuje vývoj rostlin a urychluje se její stárnutí (Penka a kol., 1985).

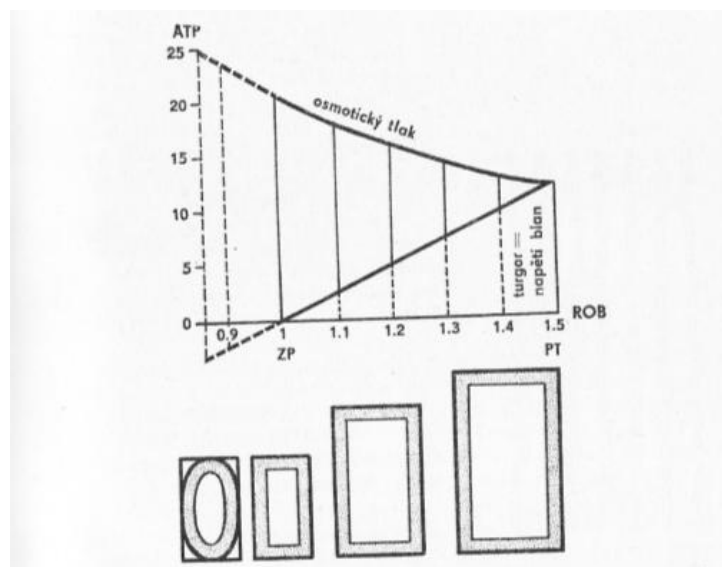
1.3.1 Hospodaření rostliny s vodou

Penka, a kol., (1985) uvádějí, že příjem vody z hypotonického roztoku nezávisí pouze na osmotické hodnotě buňky, tedy koncentraci buněčných šťáv, a proto nemůže neustále pokračovat. Nasáváním vody z okolního prostředí dochází k nárůstu vakuoly, která tlačí na cytoplazmu a buněčnou stěnu, která se tím napíná. Tento tlak buněčné membrány a tlak okolních buněk se nazývá turgor a pojem turgescence se označuje stav napjaté

buňky. Zcela nasycenou buňku vodou označujeme jako buňku turgescenční, turgor se tímto stává velmi významným činitelem při příjmu vody.

V nedostatečně hydratovaných buňkách vzniká jistý vodní deficit (nedostatek), tento vodní deficit je hnací silou celého vodního cyklu rostlin, ale je i jeho limitním faktorem (Penka, a kol., 1985).

Savé napětí buňky podle Penka a kol., (1985) se rovná osmotické hodnotě. Je-li buňka plně turgescenční, savé napětí je nulové a turgor je roven osmotické hodnotě (viz obrázek 1).



Obrázek 1 intenzity osmotického tlaku (Penka, a kol., 1973)

1.3.2 Vliv vodního deficitu na rostliny

Působení vodního deficitu na rostlinu je možné vyjádřit hodnotou vodního sytostního deficitu, (VSD), vyjadřuje množství chybějící vody v rostlině do jejího plného nasycení v procentech, již při hodnotách 12 až 20 % VSD dochází k vyloučení kyseliny abscisové (ABA), což vede k uzavření průduchů, čímž klesá jak úroveň dýchání, tak i fotosyntézy (Nátr, 1997).

Při nedostatku vody v rostlinném těle dochází k celé řadě fyziologických, anatomických a biologických změn v rámci celého rostlinného těla nebo jednotlivých orgánů či samostatných buněk (Holá a kol., 20010).

Nedostatek vody se však neprojevuje pouze uzavřením průduchů, ale i rychlostí fixace CO₂ v chloroplastech. Voda je mimo jiné nezbytná k samotnému růst, při nedostatku vody se silně zpomaluje růst listu. Zejména u tvorby sušiny lze konstatovat, že s nízkým RWC se snižuje i rychlost tvorby sušiny, zejména z důvodu snížené rychlosti růstu listů (Nátr, 1997).

Jedním z prvních projevů stresu suchem je ztráta turgoru, při které dochází ke změnám obsahu buněčných šťáv, a tím je omezeno zvětšování buněčné stěny. Ztráta turgoru je pravděpodobně nejcitlivějším a nejrychlejším procesem při stresu suchem a vede k rychlému snížení vodní kapacity listu a s ním spojenému zavadání listů (Slama et al., 2006).

Stres nedostatkem vody ovlivňuje buňky rostlinného těla a samozřejmě s nimi i ostatní části rostlinného těla, při nedostatku vody se výrazně zpomaluje růst nadzemní části, a naopak se urychluje růst kořenového povrchu, a to do všech směrů, zjednodušeně se rostlina snaží dostat za vodou (Bláha a Hnilička, 2004).

1.3.3 Obranné reakce rostlin vůči vodnímu deficitu

Při déle trvajícím suchu se snižuje obsah vodního potenciálu buněk na hodnotu 0,2 až 0,8 MPa. Při těchto hodnotách dochází ke zpomalování aktivity enzymů, což zpomaluje dělení a růst buněk, produkci proteinů a cytokininů, ale zvyšuje se obsah kyseliny abscisové až 40x. A její vysoké koncentrace zapříčiní uzavření průduchů kvůli udržení zbývající vody v pletivech. Dále při delším suchu dochází ke zpomalení metabolických procesů, zejména fotosyntézy (Griffiths et Parry, 2002).

Jednou z nejznámějších a nejrychlejších reakcí na sucho je uzavírání průduchů, které je způsobeno vlivem fytohormonu kyseliny abscisové, která je v poměrně velkém množství produkována při zatížení suchem (Chandler et Robertson, 1994). Dále se zvyšuje u stresovaných rostlin koncentrace iontů K^+ , Na^+ , Cl^- a proteinu prolinu (Slama et al., 2006).

Z pohledu obrany vůči vodnímu stresu je významná druhá skupina LEA genů, do které jsou také řazeny hydrofilní proteiny, které jsou umístěné v cytoplazmě. Druhá skupina proteinů je charakterizována oblastí bohatou na karboxyly (Galau et Clouse, 1992).

Jsou známy především dvě skupiny proteinů –dehydriny (*dhn*) a *rab* (citlivé na ABA). Jako odpověď na vodní stres, ale také po působení nízkých teplot a stresu zasolením, dochází k hromadění mRNA (Cohen et Bray, 1990). Podle Mikulkové a kol. (2006) je tvorba dehydrinů závislá na koncentraci ABA a pro přežití silné dehydratace jsou naprosto nezbytné a mají významnou roli v aklimačních procesech rostlin a přispívají k jejich toleranci zřejmě jako stabilizátory buněčných struktur.

Dále je obsah kyseliny abscisové spolehlivým indikátorem vodního stresu při nedostatku vody. Při nedostatku vody se její koncentrace zvyšují, což je prvním spouštěčem genů reagujících na nedostatek vody (Bray, 1993).

Dalšími fytohormony, které jsou ovlivňovány suchem, jsou cytokininy, jejichž produkce je na rozdíl od kyseliny abscisové potlačována (Olšovská a Brestič, 2001).

5. Metodika

V pokusu byl sledován vliv vodního deficitu na výměnu plynu a fluorescenci chlorofylů u rostlin mangoldu, roketý seté a lociky seté. Z naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy a transpirace byly vypočteny hodnoty efektivity využití vody (WUE) a v neposlední řadě byla sledována fluorescence chlorofylů.

Rostlinný materiál

Jako pokusné modelové rostliny byli vybráni tři zástupci listové zeleniny: mangold "*Beta vulgaris* subsp. *Cvikla*", roketá setá "*Eruca sativa*" a locika setá "*Lactuca sativa*".

Mangold "*Beta vulgaris* subsp. *Cvikla*"

Většinou se jedná o dvouleté rostliny s křulovým kořenem. Přizemní listy jsou často hladce kadeřavé, s řapíkem silným, dužnatým, které mohou být dlouhé až 50 cm. Tloušťka a zabarvení řapíku se liší podle různých odrůd; listová čepel bývá většinou zelená. Květy v klubičkách většinou po 2–3 vyrůstají v úžlabí čárkovitých až eliptických listenů; okvětí je zelené, víceméně dužnaté (Pekárková, 2002).

Roketa setá "*Eruca sativa*"

Je to jednoletá bylina, bohatě větvená, vysoká 10–60 (–100) cm. U vzrostlé rostliny jsou listy přizemní růžice i lodyžní listy lyrovitě peřenoklané, s laločnatým až zubatým okrajem. Květy jsou čtyřčetné, světle žluté s hnědofialovými žilkami, později až bílé. Plodem je asi 4 cm dlouhá šesule se semeny uspořádanými ve dvou řadách (Pekárková, 2002).

Salát setý "*Lactucasativa*"capitata

Salát tvoří listovou růžici hebkých listů, která se později zavinuje dovnitř a tvoří pevnou hlávku listů. Listy jsou široce vejčité s výraznými žebry. Barva může být kromě zelené, žlutozelená, červenozeleň a hnědozelená. Okraje listů některých druhů mohou být zkadeřené. Rostlina obsahuje bílou šťávu, která je hořká. Tento druh salátu je chladnomilný a snese nízkou intenzitu světla. Rychlíme jej v nevytápěných skelnicích, pařeništích či fóliovníkách. Semena vyséváme v únoru. První sklizeň salátu je obvykle nejjemnější (Pekárková, 2002)

1.4 Založení pokusu

Rostliny mangoldu, roketu a lociky (salátu) byly pěstovány za přirozených světelných podmínek a částečně řízených teplotních podmínek skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Teplota byla nastavena na 25 °C ve dne a 18 °C v noci. Rostliny sledovaných druhů listové zeleniny byly pěstovány v nádobách o rozměru 11x11 cm, ve směsi zahradního substrátu A a křemičitého písku v poměru 2:1.

Zahradní substrát A je jemný (maximálně 10 % částic nad 10 mm), udržující vzdušnost prostředí, nesléhavý, nezasolený, pH ve vodném roztoku 5,5–6,5, bez plevelů a škůdců, obsahující 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku, s podílem částic nad 25 mm maximálně 5 %. Obsah živin byl následující: N 80-120 mg.l⁻¹, P₂O₅ 50-100 mg.l⁻¹, K₂O 100–150 mg.l⁻¹. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg.kg⁻¹ sušiny. Cd 1, Pb 100, Hg 1, As 10, Cr 100, Cu 100, Ni 50, Zn 200 (<http://www.raselina.cz/produkty/substraty-a-zeminy/>)

Schéma pokusu zahrnovalo tři varianty, přičemž rozmístění nádob vycházelo z principu metod Latinského čtverce, při zachování čtyř opakování. První varianta byla kontrolou, která byla pravidelně zalévána vodou. Množství záливkové vody bylo 200 ml. Druhá varianta představovala variantu

stresovanou vodním deficitem. U stresované varianty byl navozen vodní deficit postupným přirozeným vysycháním substrátu a trval 22 dnů. Fyziologické charakteristiky byly měřeny od pěti pravých listů, ve dvoudenních intervalech.

Měření fyziologických charakteristik

1.4.1 Rychlost fotosyntézy a transpirace

U rostlinného materiálu byla měřena gazometricky rychlost fotosyntézy a transpirace. Uvedené charakteristiky byly měřeny u intaktních listů komerčním přenosným infračerveným analyzátozem LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd.) s listovou komorou, který umožňuje měřit při hustotě ozáření FAR (400 – 700 nm) v rozsahu 0–2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a teplotě -5 až +50 °C. Měření se uskutečnilo v dopoledních hodinách, kdy je dosahována maximální fotosyntéza. Při každém měření byly po ustálení podmínek uvnitř měřicí komůrky měřené hodnoty automaticky zaznamenávány po dobu 10 minut v intervalu 60 sekund. Jako optimální byla nastavena teplota 25 °C a hustota ozáření 650 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Holá a kol., 2010).

1.4.2 Efektivita využití vody - WUE

Poměr veličiny fotosyntéza (A) ku transpiraci (E) nám udává hodnotu, kolik uhlíku byla rostlina schopna vyvázat na množství odpařené vody, a nazývá se efektivita využití vody WUE (anglicky water use efficiency, WUE) (Šantrůček, 2010).

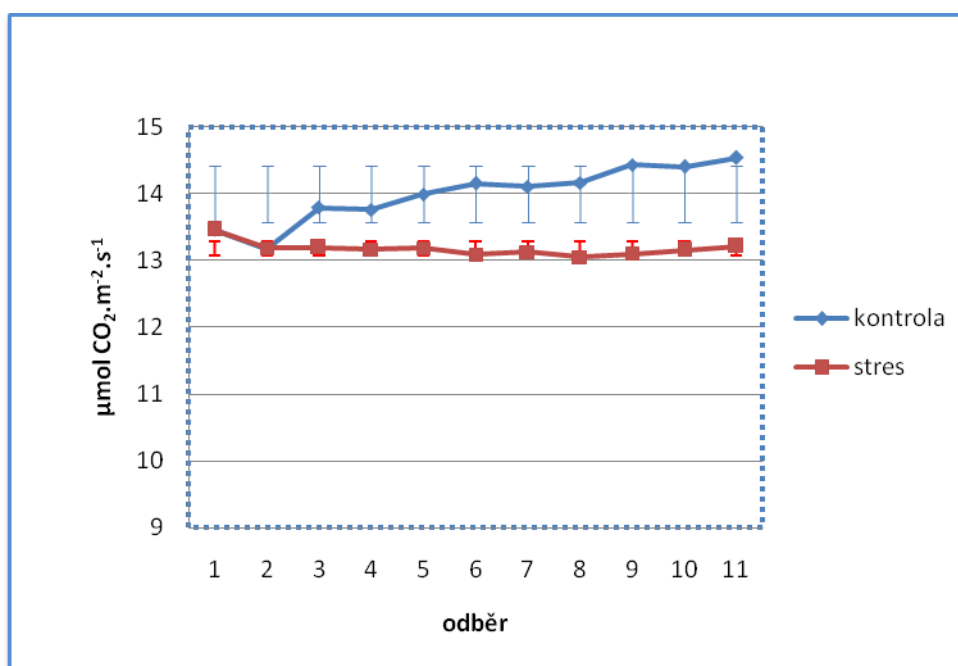
WUE měříme jako poměr čisté fotosyntézy a transpirace listu $(A/E) = WUE$ (Šantrůček, 2010).

6. Výsledky

7. výsledky

U sledovaných rostlin mangoldu, roketu seté a lociky seté byl sledován vliv vodního deficitu na hodnoty rychlosti fotosyntézy, transpirace, fluorescence a hodnoty efektivity využití vody (WUE).

1.5 Rychlost fotosyntézy

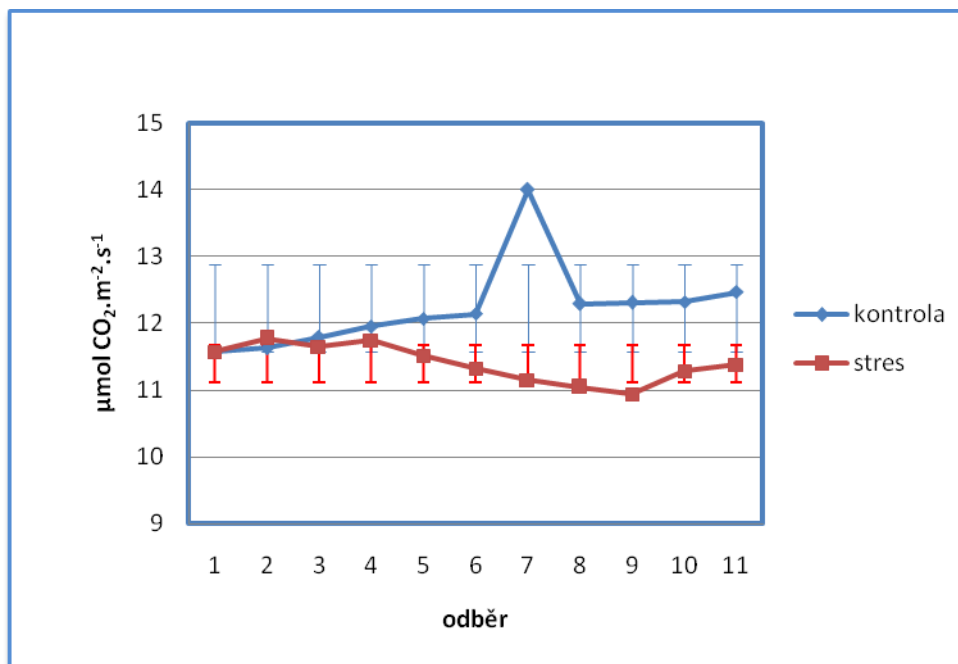


Graf 1 rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) rostlin mangoldu v závislosti na době působení stresoru.

Z grafu 1 vyplývá, že rychlost fotosyntézy (A) rostlin mangoldu nebyla ovlivněna ontogenetickým vývojem, ale variantou pokusu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost fotosyntézy v porovnání s rostlinami kontrolními. Průměrná rychlost fotosyntézy stresované varianty byla $13,17 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a průměrná rychlost fotosyntézy kontroly byla $14,00 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 5,93 % v neprospěch stresovaných rostlin.

Rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin byla nejnižší při druhém termínu měření ($13,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), a naopak nejvyšší na konci pokusu ($14,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Na počátku sledovaného období byla rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin $13,64 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Poté bylo zaznamenáno mírné zvýšení rychlosti fotosyntézy na hodnotu $14,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, při třetím odběru. Ke konci pokusu se rychlost fotosyntézy zvyšuje až na svou maximální hodnotu, která byla $14,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, viz graf 1.

V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 1, byla nejnižší fotosyntetická aktivita zaznamenána v 8. termínu měření, kdy činila $13,05 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, a nejvyšší při zahájení pokusu, kdy byla $13,46 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Na rozdíl od kontrolních rostlin se rychlost fotosyntézy u stresovaných rostlin snižovala. Docházelo k průběžnému poklesu až do období 6. Odběru, kdy rychlost fotosyntézy činila $13,09 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. V následujícím odběru byl zaznamenán neprůkazný nárůst rychlosti fotosyntézy na hodnotu $13,13 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Toto neprůkazné zvýšení bylo vystřídáno neprůkazným snížením. Vlivem dalšího působení vodního deficitu se opět neprůkazně rychlost fotosyntézy zvýšila na hodnotu $13,21 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, viz graf 1.

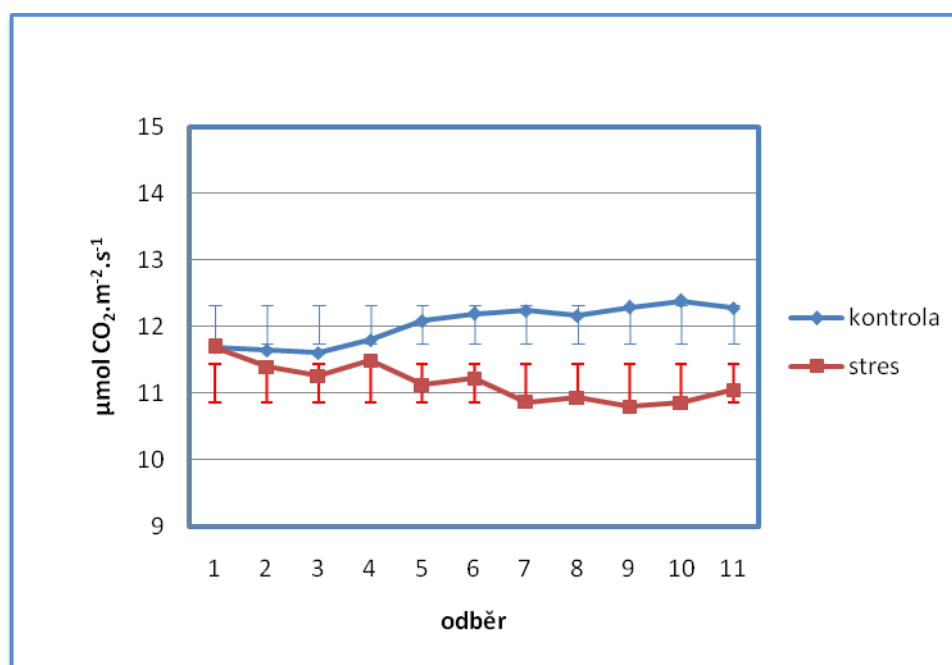


Graf 2 rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) rostlin roketky v závislosti na době působení stresoru.

Z grafu 2 vyplývá, že rychlost fotosyntézy rostlin roketky byla ovlivněna variantou pokusu. Z uvedeného grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost fotosyntézy v porovnání s rostlinami kontrolními. Průměrná rychlost fotosyntézy stresované varianty činila $11,40 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, přičemž průměrná rychlost fotosyntézy kontrolní varianty byla $12,23 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil $6,79 \%$ v neprospěch stresovaných rostlin.

Rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin byla nejnižší při druhém termínu měření, $11,63 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a naopak nejvyšší na konci pokusu, $12,47 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Na počátku sledovaného období docházelo k pozvolnému nárůstu rychlosti fotosyntézy až do období šestého odběru, kdy dosáhla výše $12,14 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. V následujícím termínu měření se rychlost fotosyntézy průkazně zvýšila na hodnotu $14 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Poté bylo zaznamenáno průkazné snížení rychlosti fotosyntézy na hodnotu $12,29 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ale toto snížení bylo vystřídáno opětovným postupným, avšak neprůkazným nárůstem až na hodnotu $12,47 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jak dokazuje graf 2.

V případě rostlin stresovaných byla nejnižší rychlost fotosyntézy zaznamenána v 9. termínu, $10,94 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, a nejvyšší při 2. termínu $11,77 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Na rozdíl od kontrolních rostlin nevykazovaly změny rychlosti fotosyntézy rostlin ze stresované varianty rozdíly v nárůstu či poklesu rychlosti fotosyntézy v závislosti na době působení vodního deficitu. Od druhého termínu měření byl zaznamenán pouze postupný pokles fotosyntézy až do devátého odběru, kdy bylo zaznamenáno snížení fotosyntézy na hodnotu $10,94 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Při posledních dvou odběrech byl zaznamenán průkazný nárůst fotosyntézy až na hodnotu $11,38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

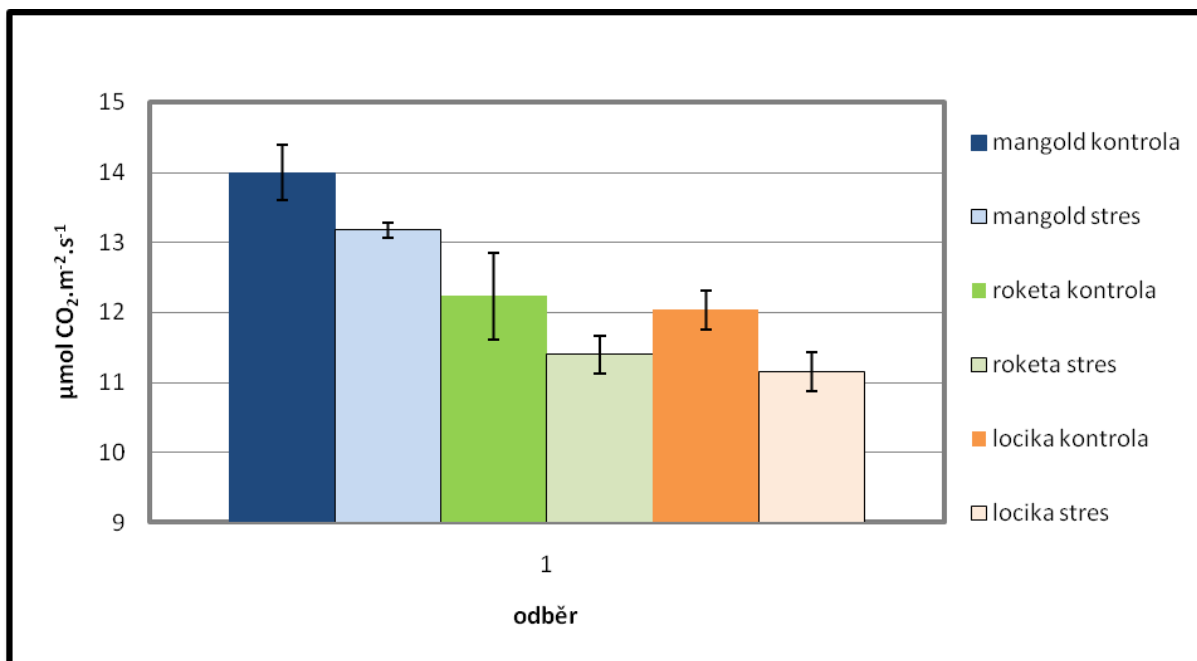


Graf 3 rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) rostlin locika v závislosti na době působení stresoru.

Z grafu 3 vyplývá, že rychlost fotosyntézy rostlin lociky seté (salátu) byla ve shodě s předcházejícími druhy zelenin ovlivněna variantou pokusu. Z grafu 3 je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost fotosyntézy v porovnání s rostlinami kontrolními. Rychlost fotosyntézy stresované varianty byla v průměru $11,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a u kontrolních rostlin byla $12,03 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 7,23 % v neprospěch stresovaných rostlin.

Rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin byla nejnižší ve třetím termínu měření ($11,61 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a nejvyšší při předposledním měření pokusu, kdy činila $12,38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Na počátku sledovaného období se rychlost fotosyntézy neprůkazně snížila z hodnoty $11,70 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ na hodnotu $11,61 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ve třetím termínu. Poté již docházelo k postupnému zvyšování rychlosti fotosyntézy až do konce sledovaného období, kdy rychlost fotosyntézy činila $12,28 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jak dokládá graf 3.

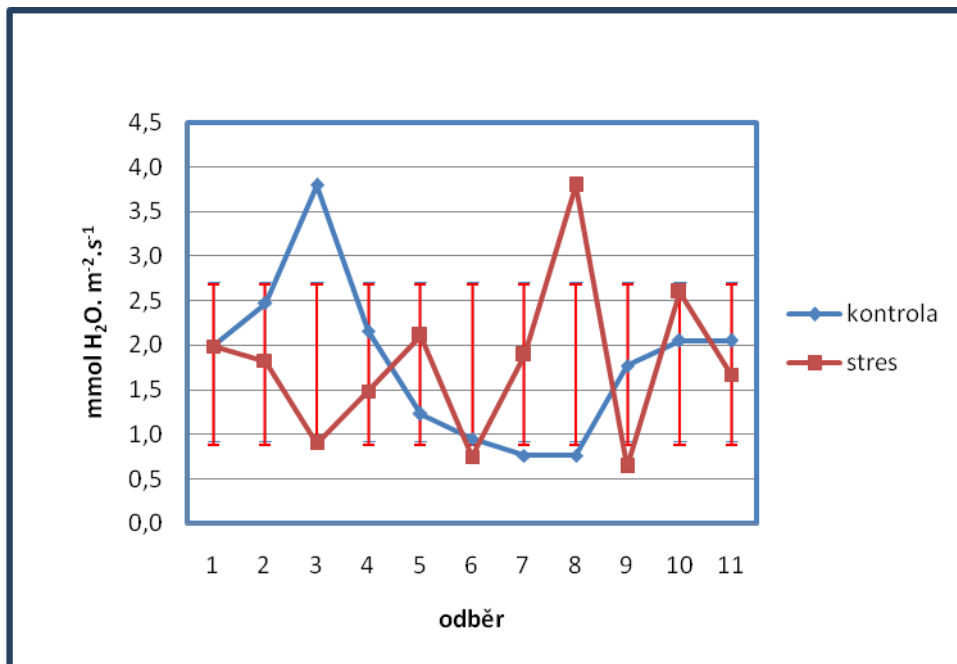
V případě rostlin stresovaných, jak je zřejmé z grafu 3, byla nejnižší rychlost fotosyntézy zaznamenána v pátém termínu měření, $11,13 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. A nejvyšší v začátku měření, při prvním termínu měření ($11,7 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Shodně s kontrolními rostlinami se rychlost fotosyntézy stresovaných rostlin snižovala na počátku pokusu, mezi prvním a třetím odběrem, kdy klesla z hodnoty $11,7 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ na hodnotu $11,26 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Až do desátého odběru docházelo pouze k pozvolnému poklesu rychlosti fotosyntézy až na hodnotu $10,86 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Při posledním odběru se rychlost fotosyntézy neprůkazně zvýšila na hodnotu $11,38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



Graf 4 Vliv varianty a rostlinného genotypu na rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Z grafu 4 vyplývají rozdílné reakce sledovaných druhů listové zeleniny na vodní stres. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost fotosyntézy v porovnání s rostlinami kontrolními. A zároveň je zřejmé, že rostliny mangoldu mají vyšší rychlost fotosyntézy, $14,00 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, než rostliny rokety $12,23 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, a lociky (salátu), $12,03 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. V případě rostlin stresovaných klesá rychlost fotosyntézy v následujícím pořadí mangold ($13,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), roketa ($11,40 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a locika ($11,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Z uvedeného grafu dále vyplývá, že na vodní deficit nejcitlivěji reagovaly rostliny lociky seté, u níž byl rozdíl rychlosti fotosyntézy ve výši 7,23 %. Naopak jako nejvíce tolerantní se jeví mangold. U tohoto rostlinného druhu byl rozdíl mezi kontrolou a stresem 5,93 %.

1.6 Rychlost transpirace

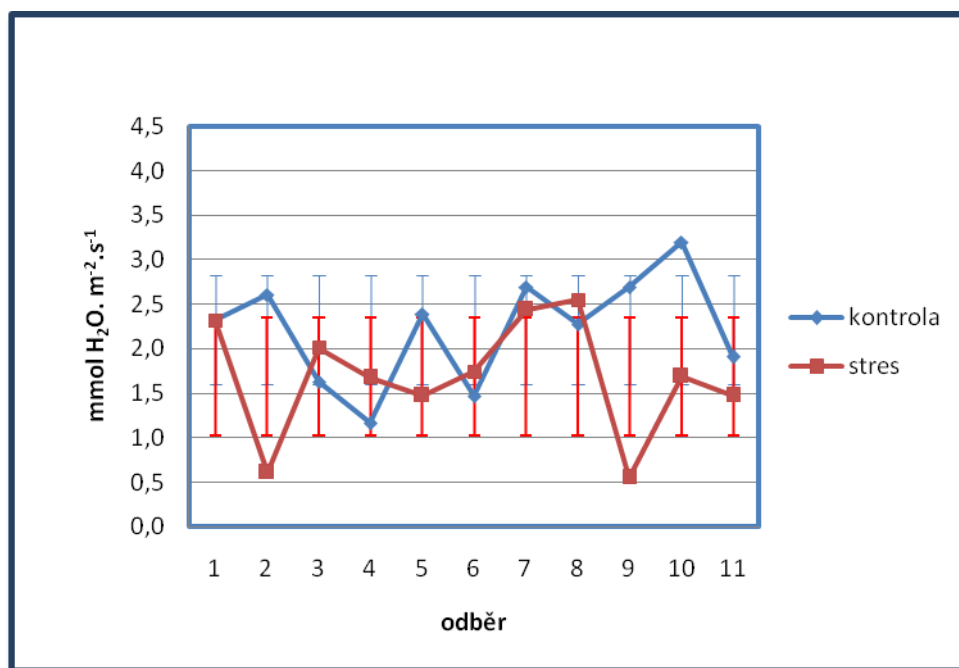


Graf 5 rychlost transpirace ($\text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) rostlin mangoldu v závislosti na době působení stresoru.

Z grafu 5 vyplývá, že rychlost transpirace rostlin mangoldu byla obdobně jako v případě fotosyntézy, ovlivněna variantou pokusu. Z uvedeného je patrné, že rostliny stresované mají v průměru nižší rychlost transpirace v porovnání s rostlinami kontrolními. Průměrná rychlost transpirace stresované varianty byla $1,79 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, kdežto průměrná rychlost transpirace kontroly byla ve výši $1,82 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 1,65 % v neprospěch stresovaných rostlin. Jedná se však o neprůkazný rozdíl.

Rychlost transpirace kontrolních rostlin byla nejnižší v sedmém a osmém termínu měření, kdy činila $0,76 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, a nejvyšší při třetím odběru pokusu ($3,79 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Na počátku sledovaného období se rychlost transpirace kontrolních rostlin mangoldu snížila z hodnoty $1,99 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na hodnotu $0,76 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, v 8. odběru. Poté bylo zaznamenáno zvýšení transpirace až na hodnotu $2,05 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, která byla zjištěna při desátém odběru.

V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 5, byla nejvyšší transpirace zaznamenána v osmém termínu měření ($3,79 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), a naopak nejnižší při šestém termínu měření ($0,75 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Rychlost transpirace stresovaných rostlin se snižovala na počátku pokusu, mezi prvním a třetím odběrem, až na hodnotu $0,9 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Poté se transpirace průběžně zvyšovala až na hodnotu $2,11 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ v pátém odběru. Po tomto termínu se naopak transpirace stresovaných rostlin průkazně snížila až na úroveň $0,75 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Tento pokles byl vystřídán průkazným zvýšením transpirace na $3,79 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, v osmém termínu. Výrazný nárůst byl opět vystřídán průkazným poklesem na hodnotu $0,64 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, viz graf 5.

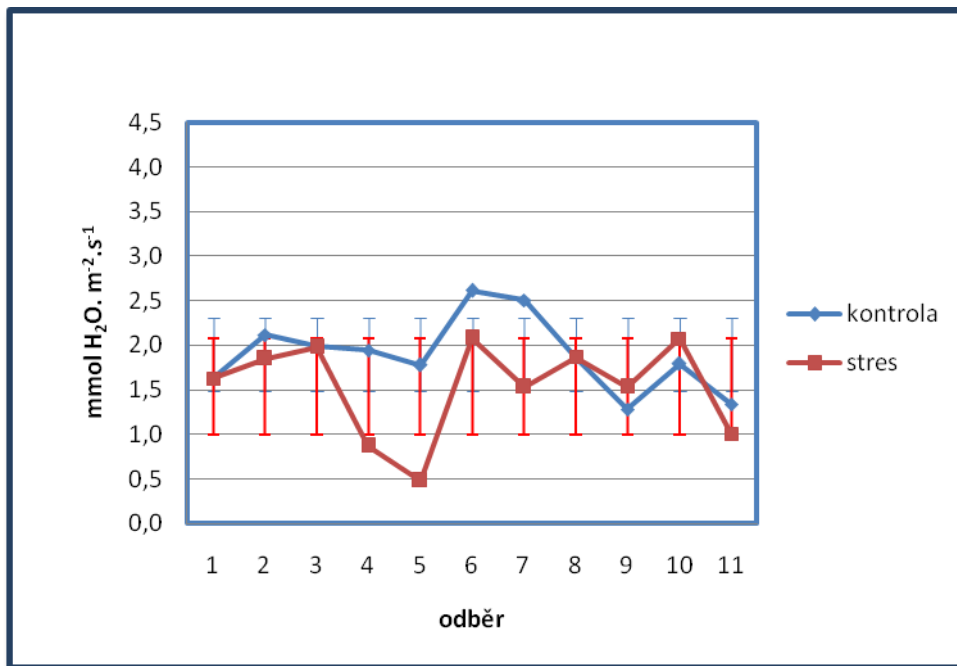


Graf 6 rychlost transpirace ($\text{mmol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) rostlin roketky v závislosti na době působení stresoru.

Z grafu 6 je patrné, že stresované rostliny roketky mají v průměru nižší rychlost transpirace v porovnání s rostlinami kontrolními. Rychlost transpirace stresované varianty byla $1,69 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a rychlost transpirace kontroly $2,21 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami byl průměrný, neboť činil 23,53 % v neprospěch stresovaných rostlin.

Rychlost transpirace kontrolních rostlin byla nejnižší ve čtvrtém termínu měření, $1,16 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, a nejvyšší při desátém odběru pokusu ($3,2 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Na počátku sledovaného období se rychlost transpirace snížila z hodnoty $2,32 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ na hodnotu $1,16 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (4. měření). Od tohoto termínu až do 10. měření se rychlost transpirace zvyšovala. Na konci tohoto období byla transpirace ve výši $1,69 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Avšak na konci pokusu se transpirace kontrolních rostlin roketu průkazně snížila až na hodnotu $1,91 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, jak dokazuje graf 6.

V případě rostlin stresovaných byla nejnižší transpirace zaznamenána v devátém termínu měření, $0,56 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, a nejvyšší v osmém termínu ($2,55 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Shodně s kontrolními rostlinami se rychlost transpirace stresovaných rostlin snižovala na počátku pokusu, mezi prvním a druhým odběrem, na hodnotu $0,61 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Poté došlo k průkaznému zvýšení rychlosti transpirace na hodnotu $2,01 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Od čtvrtého termínu až k 8. termínu se rychlost transpirace zvyšovala. V tomto období byla v rozpětí hodnot od $1,68$ do $2,55 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Po tomto termínu bylo zaznamenáno statisticky průkazné snížení transpirace o $78,04 \%$, na úroveň $0,56 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Ke konci sledovaného období se transpirace opět průkazně zvýšila na hodnotu $1,69 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, v desátém termínu.



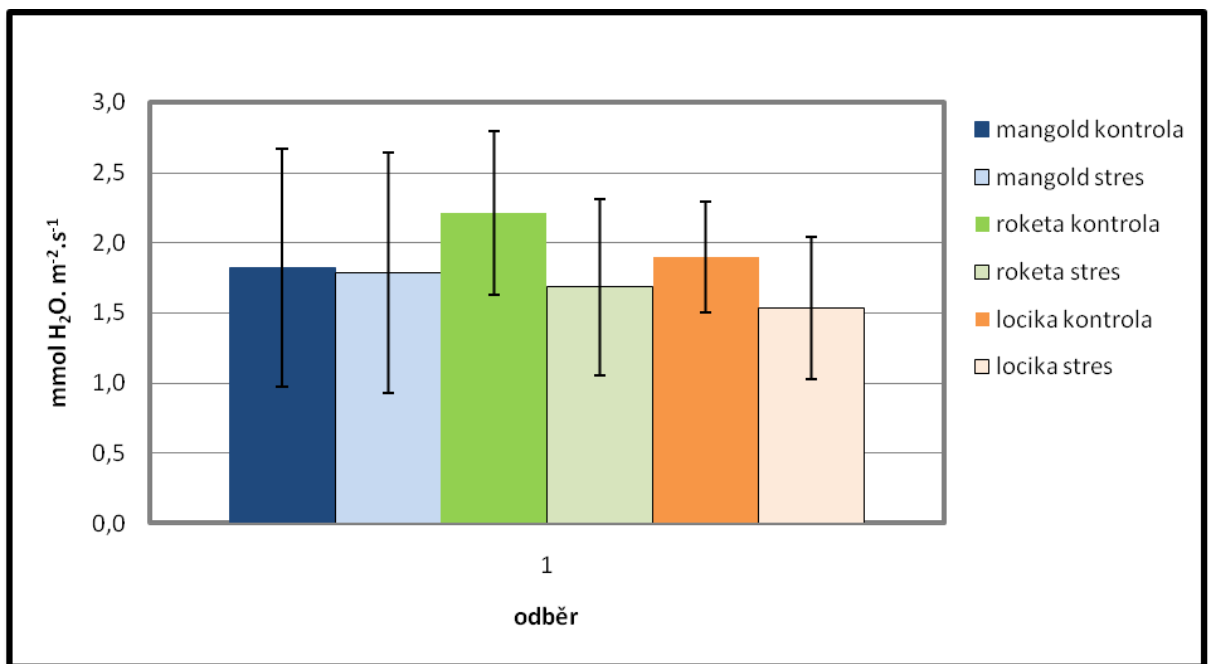
Graf 7 rychlost transpirace (mmol CO₂.m⁻².s⁻¹) rostlin lociky v závislosti na době působení stresoru.

Stresované rostliny salátu mají nižší rychlost transpirace v porovnání s rostlinami kontrolními, kdy rychlost transpirace stresované varianty je v průměru 1,54 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, kdežto rychlost transpirace kontroly byla 1,9 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Rozdíl mezi variantami činil 18,95 % v neprospěch stresovaných rostlin a byl tedy průkazný, jak dokládá graf 7.

Rychlost transpirace kontrolních rostlin salátu byla nejnižší při devátém odběru měření (1,28 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹), a naopak nejvyšší při šestém odběru pokusu, kdy byla transpirace (2,61 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Na počátku sledovaného období se rychlost transpirace zvýšila z hodnoty 1,63 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ na hodnotu 2,12 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, v 2. termínu. Poté bylo zaznamenáno pozvolné snižování rychlosti transpirace až do pátého odběru (1,79 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Toto snížení bylo vystřídáno následným průkazným zvýšením až na hodnotu 2,61 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Ke konci pokusu se rychlost transpirace snižovala až na svou minimální hodnotu, která činila 1,28 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (v 9. termínu), jak dokládá graf 7.

U rostlin stresovaných, jak je patrné z grafu 7, byla nejnižší transpirace v období pátého odběru (0,43 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) a nejvyšší

u šestého odběru, kdy rychlost transpirace byla ve výši 2,08 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Shodně s kontrolními rostlinami se rychlost transpirace stresovaných rostlin zvyšovala na počátku pokusu, mezi 1. a 3. odběrem (1,98 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Od 4. termínu se rychlost transpirace zvyšovala až do osmého termínu, kdy dosáhla hodnoty 1,87 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Průkazný pokles rychlosti transpirace byl zaznamenán na konci pokusu, jak je patrné z grafu 7.

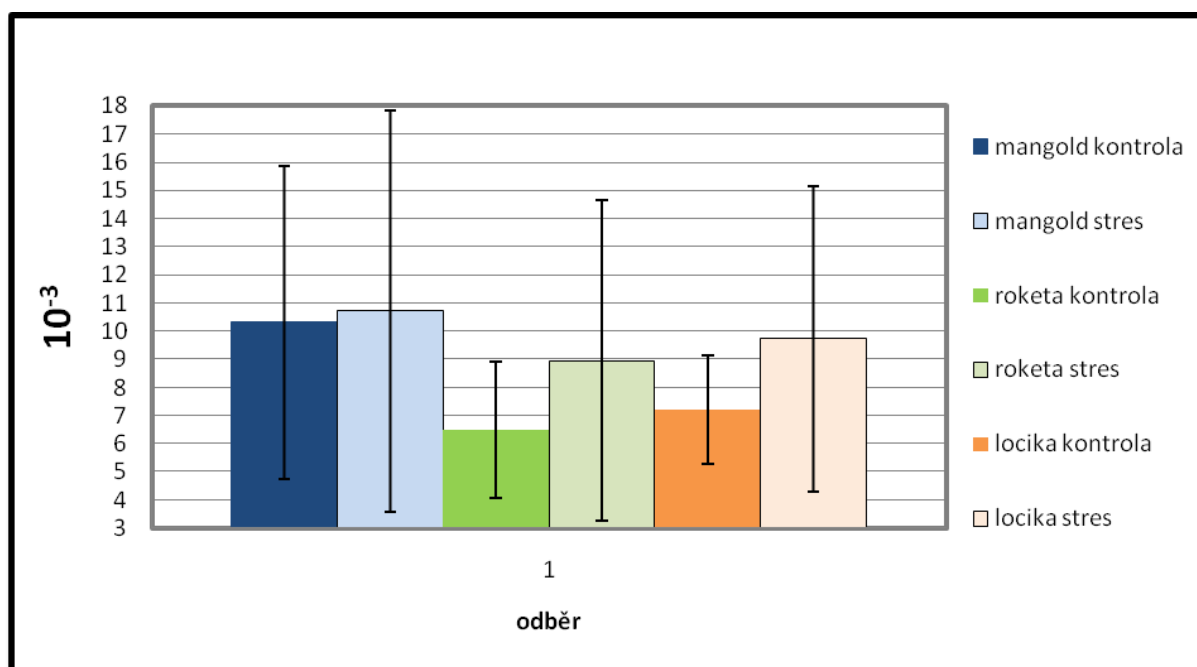


Graf 8 vliv varianty a rostlinného genotypu na rychlost transpirace (mmol CO₂.m⁻².s⁻¹).

Obdobně jako rychlost fotosyntézy, byla rychlost transpirace ovlivněna nejenom rostlinným druhem, ale také jeho reakcí na vodní deficit, jak dokládá graf 8. Z uvedeného grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost transpirace v porovnání s rostlinami kontrolními a zároveň je zřejmé, že rostliny mangoldu mají vyšší rychlost transpirace (1,79 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) než rostliny roket (1,69 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) a salátu setého (1,54 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). V případě rostlin kontrolních byla nejvyšší průměrná rychlost transpirace zjištěna u kontrolních rostlin mangoldu (2,23 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹), a naopak nejnižší u stresované varianty salátu

(1,54 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Rostliny roketky vykazují hodnoty transpirace kontrolních rostlin ve vyšší (2,21 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Pokud je hodnocen vliv varianty pokusu v rámci jednotlivých druhů rostlin, je možné konstatovat, že nejcitlivěji na vodní deficit reagovaly rostliny roketky, u nichž rozdíl v rychlosti transpirace kontrolních a stresovaných rostlin činil 23,53 %. Na straně druhé se jako tolerantnější k vodnímu deficitu jeví rostliny mangoldu, 13,35 %. U rostlin salátu byl rozdíl mezi kontrolou a stresem 18,94 %, viz graf 8.

1.7 Efektivita využití vody (WUE)

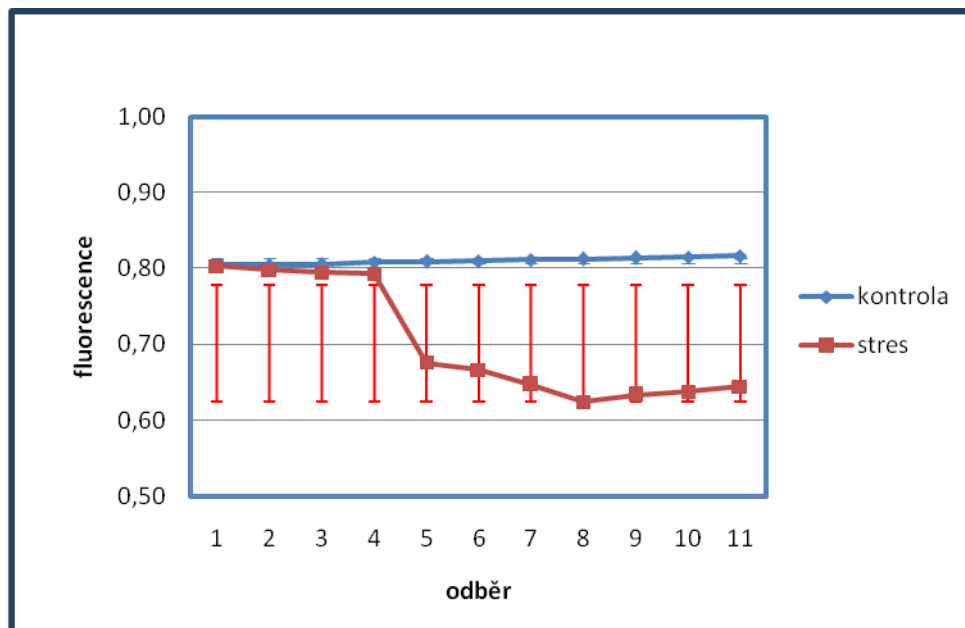


Graf 9 vliv varianty a rostlinného genotypu na WUE (10⁻³).

Také hodnoty WUE jsou ovlivněny nejenom rostlinným druhem, ale také jeho reakcí na vodní deficit, jak dokládá graf 9. Z uvedeného grafu je patrné, že rostliny stresované mají vyšší WUE v porovnání s rostlinami kontrolními a zároveň je zřejmé, že rostliny salátu mají vyšší WUE (9,73 x 10⁻³) než rostliny mangoldu (7,28 x 10⁻³) a roketky (8,96 x 10⁻³). V případě rostlin kontrolních byla nejvyšší průměrná WUE zjištěna u kontrolních rostlin salátu (7,22 x 10⁻³). A naopak nejnižší u stresované varianty mangoldu (6,07 x 10⁻³). Rostliny roketky vykazují hodnoty WUE

kontrolních rostlin ve výši ($6,51 \times 10^{-3}$). Pokud je hodnocen vliv varianty pokusu v rámci jednotlivých druhů rostlin, je možné konstatovat, že nejcitlivěji na vodní deficit reagovaly rostliny mangoldu, u nichž rozdíl v rychlosti transpirace kontrolních a stresovaných rostlin činil 16,62 %. Na straně druhé se jako tolerantnější k vodnímu deficitu jeví rostliny rockety, 27,34 %. U salátu byl rozdíl mezi kontrolou a stresem 25,80 %, viz graf 9.

1.8 Fluorescence

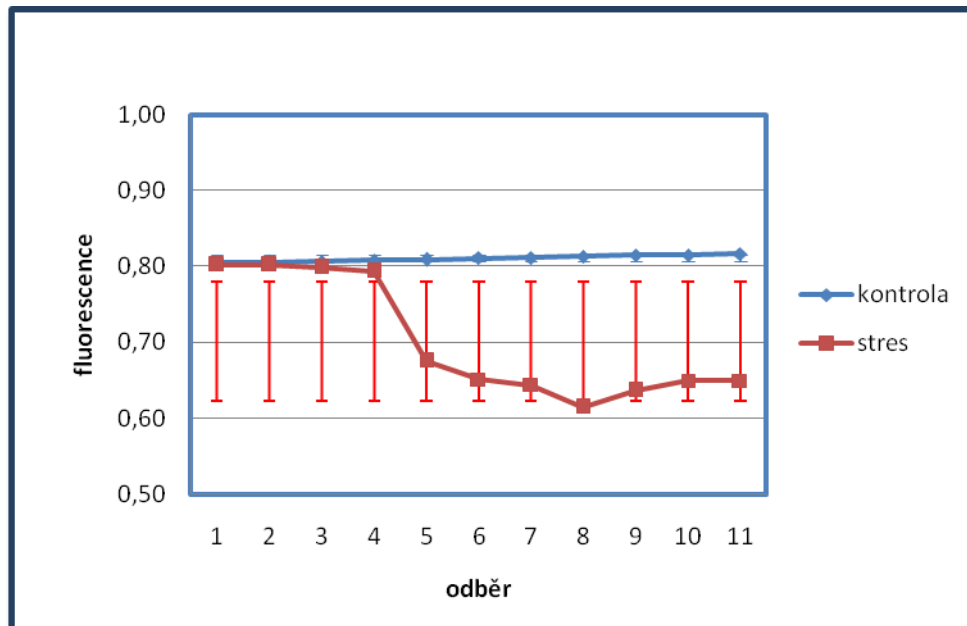


Graf 9 fluorescence rostlin mangoldu v závislosti na době působení stresoru

Z grafu 10 vyplývá, že fluorescence rostlin mangoldu byla, obdobně jako u fotosyntézy nebo transpirace ovlivněna variantou pokusu. Z uvedeného je patrné, že rostliny stresované mají v průměru nižší fluorescenci v porovnání s rostlinami kontrolními. Průměrná fluorescence stresované varianty byla 0,70, kdežto průměrná fluorescence kontroly byla 0,81. Rozdíl mezi variantami činil 13,58 % v neprospěch kontrolních rostlin.

Fluorescence kontrolních rostlin byla po dobu celého pokusu velmi blízko průměrné hodnotě, která činí 0,81. V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 10, byla nejvyšší hodnota fluorescence zaznamenána v prvním termínu měření 0,80, a naopak nejnižší při devátém termínu

měření, 0,63. Fluorescence stresovaných rostlin se na počátku pokusu po dobu čtyř odběrů držela stabilních hodnot blízkých průměru 0,79. Poté se fluorescence průkazně snížila až na hodnotu 0,68, v pátém odběru. Po tomto termínu se fluorescence stresovaných rostlin i nadále snižovala až do konce pokusu kdy nabývala hodnot 0,65, viz graf 10.

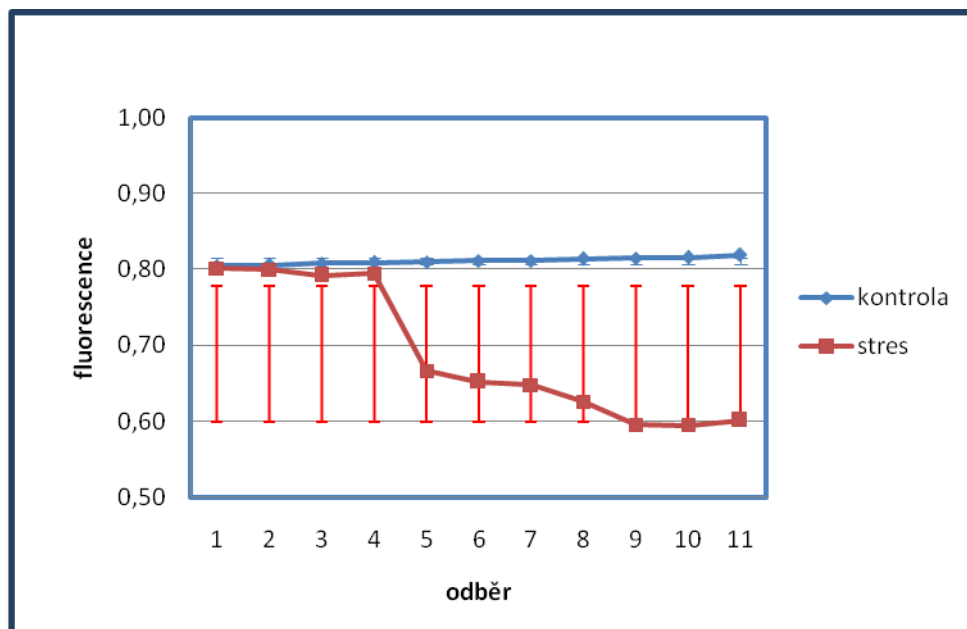


Graf 101 fluorescence rostlin rokety v závislosti na době působení stresoru

Z grafu 11 vyplývá, že fluorescence rostlin rokety byla ovlivněna variantou pokusu. Z uvedeného je patrné, že rostliny stresované mají v průměru nižší fluorescenci v porovnání s rostlinami kontrolními. Průměrná hodnota fluorescence stresované varianty byly 0,70, kdežto průměrná hodnota fluorescence kontrolních rostlin činila 0,81. Rozdíl mezi variantami činil 13,58 % v neprospěch kontrolních rostlin.

Fluorescence kontrolních rostlin byla po dobu celého pokusu velmi blízko průměrné hodnotě, která činí 0,81. V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 11, byla nejvyšší hodnota fluorescence zaznamenána v prvním termínu měření, 0,80, a naopak nejnižší při osmém termínu měření, (0,61). Fluorescence stresovaných rostlin se na počátku pokusu po dobu čtyř odběrů držela stabilních hodnot blízkých průměru 0,79. Poté se fluorescence průkazně snížila až na hodnotu 0,67 v pátém odběru.

Po tomto termínu se fluorescence stresovaných i nadále snižovala až do osmého odběru kdy činila 0,61. Ke konce pokusu došlo k mírnému nárůstu fluorescence, kdy nabývala hodnot 0,65, viz graf 11. Celkový průběh vývoje fluorescence byl velmi podobný s rostlinami mangoldu.

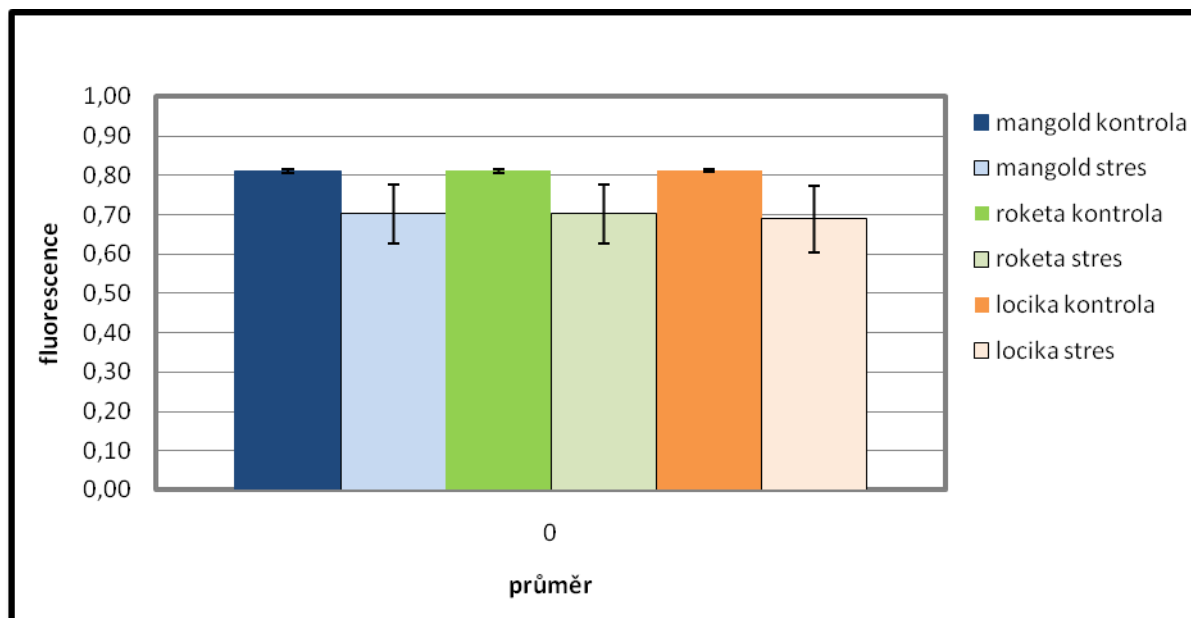


Graf 12 fluorescence rostlin locika v závislosti na době působení stresoru

Z uvedeného grafu 12 je patrné, že rostliny stresované mají v průměru nižší fluorescenci v porovnání s rostlinami kontrolními. Průměrná fluorescence stresované varianty byla 0,69, kdežto průměrná fluorescence kontroly byla 0,81. Rozdíl mezi variantami činil 14,81 % v neprospěch kontrolních rostlin.

Fluorescence kontrolních rostlin byla po dobu celého pokusu velmi blízko průměrné hodnotě, která činí 0,81, stejně jako v případě předchozích dvou variant. V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 19, byla nejvyšší hodnota fluorescence zaznamenána v prvním termínu měření, 0,80, a naopak nejnižší při devátém termínu měření, 0,59. Fluorescence stresovaných rostlin se na počátku pokusu po dobu čtyř odběrů držela stabilních hodnot, blízkých průměru, 0,79. Poté se fluorescence průkazně snížila až na hodnotu 0,67, v pátém odběru. Po tomto termínu se fluorescence stresovaných rostlin i nadále snižovala až do konce pokusu,

kdy nabývala hodnot 0,60, viz graf 12. Celkový průběh vývoje fluorescence byl velmi podobný s rostlinami mangoldu a roketu, rozdíl ve fluorescenci stresované varianty byl nevýznamný.



Graf 11 vliv varianty a rostlinného genotypu na fluorescenci.

Je zjevné, že fluorescence byla ovlivněna nejenom rostlinným druhem, ale také jeho reakcí na vodní deficit, jak dokládá graf 13. Z uvedeného grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší fluorescenci v porovnání s rostlinami kontrolními. V případě rostlin kontrolních byla průměrná fluorescence zjištěna u rostlin 0,81 a nejnižší u stresované varianty lociky, 0,69. Rostliny mangoldu vykazují hodnoty fluorescence kontrolních rostlin ve výši 0,81. Pokud je hodnocen vliv varianty pokusu v rámci jednotlivých druhů rostlin, je možné konstatovat, že nejcitlivěji na vodní deficit reagovaly rostliny lociky, u nichž rozdíl fluorescence kontrolních a stresovaných rostlin činil 44,83 %. Na straně druhé se jako tolerantnější k vodnímu deficitu jeví rostliny mangoldu, 14,81 %.

8. Diskuse

1.9 Rychlost fotosyntézy

Ze získaných výsledků je patrné, že rychlost fotosyntézy se snižovala vlivem vodního deficitu u všech sledovaných rostlinných druhů. Zároveň byl prokázán vliv rostlinného druhu a jeho reakce na nedostatek vody. Snížení rychlosti fotosyntézy v závislosti na vodním deficitu ve svých pracích potvrzují např. Jonet et al. (1989), Holá a kol. (2009) pro kukuřici. Omezení rychlosti fotosyntézy a následné snížení tvorby sušiny ve své práci na pšenicích uvádí např. Mokronosov (1978).

Jak již bylo uvedeno výše rychlost fotosyntézy je také ovlivněna rostlinným druhem. Ze sledovaných rostlinných druhů nejnižší rychlost fotosyntézy vykazovaly rostliny rockety ($11,58 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a naopak nejvyšší mangold ($14,53 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Mezi druhové rozdíly v rychlosti fotosyntézy potvrzují také např. Penka a kol. (1985),

Sledované rostlinné druhy vykazovaly odlišnou reakci na vodní deficit, neboť ze získaných výsledků je patrné, že nejvýrazněji snížil rychlost fotosyntézy mezi stresovanými a kontrolními rostlinami salátu. V případě tohoto druhu se rychlost fotosyntézy snížila o ... $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, v procentickém vyjádření %. Naopak jako odolnější vůči vodnímu deficitu se jeví mangold, u něhož byl zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy u stresovaných rostlin o 7,23 (%), v porovnání s kontrolou. Tento závěr potvrzují ve svých pracích také Hnilička a kol. (2007)

1.10 Rychlost transpirace

Rostliny se během sucha snaží bránit stresu pomocí uzavírání průduchu a tím omezit transpiraci, jak zmiňuje Hnilička a kol. (2007). Jak je zřejmé z výsledku, s prodlužujícím se působením sucha se průduchy

uzavíraly a snižovala se intenzita transpirace až na hodnotu $0,61 \text{ mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dále se může nedostatek vody a snížení turgoru rostlin vizuálně projevovat stáčením a svinováním listů, urychlením vývoje apod. Tyto změny jsou dány nejenom ontogenetickým vývojem rostliny, ale také délkou působení vodního deficitu a postavením listů na stonku, podle Levitta (1980) jsou vůči vodnímu deficitu odolnější listy středního a horního patra. Toto tvrzení se potvrdilo, když nejprve začaly zasychat vrcholové mladé listy a později listy staré. Dalším projevem bylo předčasné vybíhání do květu, což ve své práci tvrdí i Bewley et Black (1994).

V průběhu narůstajícího zatížení suchem rychlost transpirace klesala. Uvedený závěr potvrzují práce Sairam et al. (1990).

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že nezáleží pouze na intenzitě stresu, ale i na ontogenezi rostliny a jejím genotypu, což potvrzuje i Hnilička a kol. (2008), kdy rostliny raketky byly schopny uzavřít průduchy dřív a omezit tím transpiraci a tím šetřit vodu, na rozdíl od mangoldu, který uzavíral průduchy později. Což vyplývá z průměrů transpirace stresovaných rostlin, kdy transpirace raketky byla nižší než mangoldu.

1.11 Rychlost efektivity vody (WUE)

Dle Hejnák a kol., (2003) by se měla intenzita WUE snižovat s větší zatížením rostlin stresem. Ovšem z výsledků v této práci je patrné, že intenzita WUE spíše narůstala. Kdy u rostlin mangoldu dosahovala nejvyšších hodnot při zatížení stresem při 6 dni stresu, a samozřejmě ke konci pokusu, kdy byl stres intenzivní, WUE klesalo na nižší hodnoty, ale i ty byly vyšší než hodnota počáteční. Podobné chování vykazovaly i rostliny raketky a lociky seté.

Hodnoty WUE by měly narůstaty během ontogeneze do období kvetení a posléze klesat. Uvedený závěr byl potvrzen např. u lociky seté, kdy do kvetení se WUE zvyšuje. Podobných závěrů se dobral i Roth et al. (1988).

Zhang et al. (2006) konstatují, že hodnoty WUE při působení vodního deficitu stoupají. To je způsobeno tím, že v pokusech byl sledován vliv kombinace stresových faktorů. Získané výsledky tak potvrdily hypotézu, že stresové faktory snižují rychlost fotosyntézy a transpirace, ale hodnoty WUE stresovaných rostlin jsou oproti kontrolním vyšší.

Mimo jiné je zřejmé, že, stejně jako předchozí hodnoty fotosyntézy a transpirace, je i WUE ovlivněno genetickými vlivy, kdy mangold má znatelně lepší využitelnost vody oproti ostatním zkoumaným rostlinným druhům, jak dokládá i Levitt (1980).

9. Závěr

Z práce vyplývá, že sucho, má přímý vliv na rychlost fotosyntézy, výměnu plynů, fluorescenci. Dále je patrné, že jednotlivé biologické procesy nejsou ovlivněny pouze vnějšími podmínkami, i když se na nich bez pochyby podílí, ale samotným rostlinným druhem. Což nám dokazují výsledky po porovnání jednotlivých druhů rostlin:

Jako první zkoumanou jednotkou byla rychlost fotosyntézy, která se zvyšujícím zatížením snižovala. U variant byla rychlost fotosyntézy výrazně snížena oproti kontrole kdy nejvyšší hodnoty byly ze začátku pokusu a nejnižší ke konci. Nejvyšších hodnot dosáhla kontrola a stresovaná varianta mangoldu s totožnými hodnotami $13,32 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší $11,16 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ stresovaná varianta lociky seté.

Nejvyšší intenzitu transpirace měla rostlina mangoldu $5,98 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ v nestresované variantě, naopak nejnižší úroveň transpirace měla stresovaná varianta lociky seté $1,54 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jako další zjišťovanou jednotkou bylo WUE (ekvivalent využití vody). Jednotka WUE je vypočtena jako poměr transpirace ku fotosyntéze kdy nejvyšších hodnot WUE dosáhla stresovaná varianta lociky seté $9,73 \times 10^{-3}$ a nejnižší $6,07 \times 10^{-3}$ kontrolní varianta mangoldu.

Dále byla měřena hodnota stomatální vodivosti která se zvyšovala s intenzitou stresu nejvyšších hodnot dosáhla stomatální vodivost u rostlin raketky kontrolní varianty $0,29 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší stomatální vodivosti dosáhla stresovaná varianta lociky seté $0,13 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jako poslední byla měřena fluorescence u které byla naměřené nejvyšší hodnota $0,81$ a ta byla společná u všech kontrolních variant. U stresovaných variant raketky a mangoldu byla naměřena průměrná hodnota $0,70$ a u lociky seté byla naměřena ne příliš odlišná hodnota $0,69$.

Celkový průběh vývoje fluorescence u stresovaných rostlin byl velmi podobný, téměř stejný po dobu prvních čtyř odběru se hodnota držela blízko hodnot kontrolních poté došlo k propadu a dalšímu následnému postupnému poklesu fluorescence až do konce pokusu.

10. Literární zdroje

- Atwell, B. J., Kriedemann, P. E., Turnbull, C. 1999. *Plants in Action: Adaptation in Nature, performance in cultivation*. Macmillan Education Australia Pty Ltd. Melbourne. p. 664. ISBN: 9780732944391
- Bewley, J. D.; Black, M. 1994. *Seeds. Physiology of Development and Germination*. Springer Us. pp. 1-33. ISBN: 9781489910028.
- Bray, E. A. 1993. Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology*. 103. 1035-1040.
- Bláha, L.; Hnilička, F. 2004. Influence of abiotic stresses on the basic of the root systém. *Biologia*. Bratislava. 59 (Supplement). 145-150.
- Cohen, A.; Bray, E. A. 1990. Characterization of three mRNAs that accumulate in wilted tomato leaves in response to elevated levels of endogenous abscisic acid. *Planta*. 182. 27-33.
- Critchfield, H. J. 1985. Sources of information on climatic change since 1850 in Washington State: Third conference on climate variations and symposium on contemporary climate: 1850-2100. Los Angeles, California. American Meteorological Society. 156 p.
- Griffiths, H.; Parry, M. A. J. 2002. *Plant Responses to Water Stress*. *Annals of Botany*. 89. 801-802.
- Hale, M. G.; Orcutt, D. M. 1987. *The physiology of plants under stress*. John Wiley and Sons, New York, p. 206. ISBN: 047188970.
- Hejnák, V. 2003. *Využití izotopové metody (¹⁵N) spalné kalorimetrie a gazometrie v produkční fyziologii ječmene jarního a špenátu setého*. Power Print, ČZU AF. Praha. 152 pp. ISBN: 8021311142.

Hejný, S., Slavík, B., 1990 Květena České republiky 2. Československá akademie věd. ISBN: 80-200-0256-1

Hejný, S., Slavík, B., 1992 Květena České republiky 3. Československá akademie věd. 21-045-90

Hnilička, F.; Hniličková, H.; Holá, D.; Kočová, M.; Rothová, O. 2008. Vliv půdního sucha na obsah energie v juvenilních rostlinách kukuřice. In: Čermošek, Z. (ed.) 30. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář

Hnilička, F.; Hniličková, H.; Martinková, J.; Bláha, L. 2007a. The influence of drought and the application of 24-epibrassinolide on the formation of dry matter and yield in wheat. *Cereal Research Communications*. 35. 457-460.

Hoffmann, C. M. 2014. Adaptive Responses of *Beta Vulgaris* L. and *Cichorium Intybus* L. Root and Leaf Forms to Drought Stress, *Journal of agronomy and crop science*, 200 (2), 108 - 118

Holá, D.; Benešová, M.; Haisel, D.; Hnilička, F.; Hniličková, H.; Honnerová, J.; Kočová, M.; Kučera, T.; Rothová, O.; Procházková, D.; Šonská, A.; Wilhelmová, N. 2009. Fyziologické a biochemické parametry inbredních a hybridních genotypů kukuřice vystavených vodnímu deficitu. In: Bláha, L. (ed.). Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2009. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 130-134. ISBN: 9788087011911.

Holá, D.; Benešová, M.; Honnerová, J.; Hnilička, F.; Rothová, O.; Kočová, M.; Hniličková, H. 2010. The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny? *Photosynthetica*. 48. 545-558.

Hsiao, T. C. 1973. Plant Responses to Water Stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24. 519-570.

- Jones, G. H., Flowers, T. J., Jones, M. B. 1989. Plants under stress. Cambridge university press Cambridge. p. 257. ISBN: 9780521050371
- Krause, G. H., Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Plant Molecular Biology*, 42, 313 - 349
- Larcher, W. 2001. *Ökophysiologie der Pflanzen*. Eugen Ulmer-Verlag, Stuttgart. 506 pp.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, Springer. 513 pp. ISBN: 3540435166.
- Levitt, J. 1980: Responses of plants to enviromental stresses: water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York, 1980. 350 p. ISBN: 0124455026.
- Levitt, J. 1982. Stress terminology. In: Turner, N. C. and Kramer, P. J. (eds.). *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Wiley-Interscience. New York. pp. 437- 479. ISBN: 0471053724.
- Madhava, K. V. R., Raghavendra, A. S., Reddy, K. J. 2006. *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Springer. New York. p. 345. ISBN: 139781402042249
- Mokronosov, A. T. 1978. Transport assimilatov kak faktor endogennoj reguljicii fotosinteza. *Trudy Biologopočvennogo Instituta, novaja serija*. 20. 76-83.
- Mikulková, P.; Holková, L.; Dokoupilová, Z.; Chloupek, O. 2006. The analysis of Dhn 4 gene in barley cultivars with different level of freezing tolerance. In: Řehout V. (ed.). *Biotechnology 2006*. České Budějovice. pp. 535-537. ISBN: 808564553X.
- Nátr, L. 1997. The effect of nitrogen on dry matter allocation young spring barley plants (*Hordeum vulgare*). *Scientia Agricultura Bohemica*. 28. 7-16.

- Nilsen, E. T.; Orcutt, D. M. 1996. *Physiology of Plants under Stress. Abiotic factors*. John Wiley and Sons, New York, 1996. 689 pp. ISBN: 0471031526.
- Olšovská, K.; Brestič, M. 2001. Funkcia hydraulickej a chemickej signalizácie o vodnom strese pri hodnotení suchovzdornosti juvenilných rastlín. *Journal of Central European Agriculture*. 2. 3-4.
- Pekárková, E. 2002 *Pěstujeme salát, špenát a další listovou zeleninu I. vyd.* Grada Publishing, spol. s r. o.
- Penka, M. 1985. Some physiological processes in the ecosystem of a floodplain forest. *Floodplain Forest Ecosystem I. Before Water Management Measures*. Academia, Praha, 295- 324.
- Piterková, J.; Tománková, K.; Luhová, L.; Petřivalský, M. 2005. Oxidativní stres: Lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlině organismu. *Chemické listy*. 99. 455-466.
- Roth, D.; Roth, R.; Gunther, R.; Spengler, R. 1988. Transpirationskoeffizienten und Wasserausnutzungsraten landwirtschaftlicher Fruchtarten. 2. Mitteilung: Einfluss unterschiedlicher Wasserversorgung auf Transpirationskoeffizient und Wasserausnutzungsrate. *Archiv-fur-Acker-und-Pflanzenbau-und-Bodenkunde*. 32. 405-410.
- Sairam, R. K.; Deshmukh, P. S.; Shukla, D. S.; Ram, S. 1990. Metabolic activity and grain yield under moisture stress in wheat genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology*. 33. 226-231.
- Schwarz, D., Roupael, Y., Colla, G., Venema, J. H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants,. *Scientia Horticulturae*, 127 (2), 162 - 171
- Selye, H. 1973. Evolution of stress concept. *American scientist*. 6. 692-699.

Shao, H. B.; Guo, Q. J.; Chu, L. Y.; Zhao, X. N.; Su, Z. L.; Hu, Y. C.; Cheng, J. F. 2007. Understanding molecular mechanism of higher plant plasticity under abiotic stress. *Colloids and surfaces biointerfaces*. 1. 37-45.

Slama, I.; Nessedá, D.; Ghnahay, T.; Savojče, A.; Abdelly, C. 2006. Effects of water deficit on growth and proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany*. 56. 231-238.

Slavík, B., Štěpánská, J., 2004 Květena České republiky 7. Akademie věd České republiky. ISBN: 80-200-0256-1

Šantrůček, J., 2010 Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin. Powerprint s.r.o., Praha 6 - suchdol ISBN978-80-7427-023-9

Zhang, B.; Ch.; Li, F. M.; Huang, G. B.; Cheb, Z. Y.; Zhang, Y. H. 2006. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural- Water-Management*. 79. 28-42.

1.12 Ostatní zdroje

onlien] [cit. 11.3.2015] Dostupné z

(<http://www.raselina.cz/produkty/substraty-a-zeminy/>)