

**Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových
a přírodních zdrojů**

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv vodního deficitu na výměnu plynů rostlin
špenátu setého a čtyřboče rozložitě**

Bakalářská práce

Autor práce: Kamil Kraus

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

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Vliv vodního deficitu na výměnu plynů rostlin špenátu setého a čtyřboče rozložitě 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 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za ochotu cenné rady a systematické vedení mé bakalářské práce.

Vliv vodního deficitu na výměnu plynů rostlin špenátu setého a čtyřboče rozložitě

Souhrn

Vodní deficit (sucho) patří mezi nejvýznamnější stresové faktory, které ovlivňují zemědělskou produkci na celém světě. Jedná se o globální problém, neboť na naší planetě je suchem ohroženo 61 % zemědělské půdy. Také v podmínkách ČR je sucho jedním s nejčastějších stresorů. Na našem území je vodním deficitem ohroženo cca 1,7 % zemědělské půdy. Toto riziko by se mohlo do budoucna prohloubit až na 6,8 % celkové plochy České republiky ohrožených suchem, což by tvořilo 20 % ploch orných půd u nás.

Na vodní deficit citlivě reagují také zeleniny, a to především zeleninové druhy, které obsahují velké množství vody ve svých pletivech. Proto cílem této bakalářské práce bylo posouzení vlivu vodního stresu na výměnu plynů a fotosyntetickou aktivitu špenátu setého s porovnáním s čtyřbočí rozkladitou vystavených vodnímu deficitu.

Rostliny špenátu setého a čtyřboče rozkladité 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 běžně zalévána, a druhá polovina rostlin byla po dobu devíti dnů vystavena stresu suchem, po devíti dnech byly rostliny vystaveny rehydrataci po dobu tří dnů. Rehydratace byla opět vystřídána deseti dny vodního deficitu. U rostlin byla měřena rychlost výměny plynů gazometricky pomocí přístroje LCpro+. Z hodnot fotosyntézy a transpirace byla vypočtena efektivita využití vody (WUE).

Ze získaných výsledků vyplývá, že je prokazatelný rozdíl v reakci na vodní stres mezi rostlinnými druhy čtyřboče rozkladité a špenátu setého kdy:

- 1) Nejvyšší intenzitu transpirace měla rostlina čtyřboče rozkladité $5,98 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ v nestresované variantě, naopak nejnižší úroveň transpirace měla stresovaná varianta špenátu $2,4 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 2) Jako další byla měřena hodnota stomatální vodivosti která se zvyšovala s intenzitou stresu, nejvyšších hodnot dosáhla stomatální vodivost u rostlin stresované varianty špenátu setého $0,36 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší stomatální vodivosti dosáhla nestresovaná varianta čtyřboče $0,04 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 3) Další zkoumanou jednotkou byla intenzita fotosyntézy, která se se zvyšujícím zatížením snižovala. U obou variant byla intenzita fotosyntézy výrazně snížena oproti kontrole, kdy nejvyšší hodnoty byly ze začátku pokusu a nejnižší ke konci. Nejvyšších hodnot dosáhla kontrola čtyřboče $23,77 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší $10,51 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ stresovaná varianta špenátu.
- 4) Poslední zjišťovanou jednotkou bylo WUE (ekvivalent využití vody). Jednotka WUE je vypočtena jako poměr transpirace ku fotosyntéze kdy nejvyšších hodnot WUE dosáhla stresovaná varianta čtyřboče $6,96 \times 10^{-3}$ a nejnižší $0,51 \times 10^{-3}$ kontrolní varianta špenátu setého.

Klíčová slova: špenát, čtyřboč, vodní stres, fotosyntéza, transpirace, WUE

Effect of water deficit on gas exchange in plants of spinach and New Zealand spinach

Summary

Water deficit (drought) belong to the most stressful factors, which influence the agricultural production worldwide. It is about a global problem, because on the planet is endangered by drought 61 percent of agricultural land. In Czech condition is dryness one of the most frequent stressor too. In our territory is ca. 1,7 percent of agricultural land endangered by the water deficit. This risk could go deeper in the future up to 6,8 percent of the total area of the Czech republic endangered by drought, what would constitute 20 percent of arable land in the country.

Vegetable crops are responsive to the water deficit too, especially vegetable species, which contain a large amount of water in their tissue. Hence the goal of this bachelor's thesis was evaluation of effect of water stress on gas exchange and photosynthetic activity of spinach in comparison with New Zealand spinach that were put in the water deficit.

The plants of spinach and New Zealand spinach were grown in partly controlled conditions of greenhouse of botany and physiology of plants department FAPPZ ČZU in Prague. The plants were grown at temperature of 25°C in the daytime and 18°C at night in natural light conditions. The plant were grown in pots of size 11x11 cm in a mixture of garden substrate A and silica sand in a ratio of 2: 1. Scheme of the experiment included two variants - the controlled and the stressed. The controlled group of plants was watered normally, and the second half of the plants subjected to drought stress over a period of nine days, after nine days, the plants were exposed to rehydrate for three days. The rehydration was replaced by 10 days of water deficit again. The velocity of gas exchange of the plants was measured by gasometrical apparatus LCpro+.

The Water-use efficiency (WUE) was calculated by rate of photosynthesis and transpiration.

From gained results arise, that there is a demonstrable difference in reaction to water stress between plant species New Zealand spinach and spinach when:

- 5) The highest intensity of transpiration had the New Zealand spinach 5,98 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ in unstressed variant, by contrast the lowest level of transpiration had stressed variant of spinach 2,4 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹.
- 6) Next, the stomatal value of conductivity was measured that was rising with an intensity of stress, the highest value reached stomatal conductivity by stressed variant of spinach 0,36 mmol mol CO₂. m⁻².s⁻¹ and the lowest stomatal conductivity reached unstressed variant of New Zealand spinach 0,04 mmol mol CO₂. m⁻².s⁻¹.
- 7) The next investigation unit was the intensity of photosynthesis, which decreased with higher stress. The intensity of photosynthesis of both variants was significantly reduced compared to control, when the highest value was at the beginning of experiment and the lowest at the end. The highest value reached the control of the New Zealand spinach 23,77 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ and the lowest 10,51 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ stressed variant of spinach.
- 8)** The last investigated unit was the WUE (the Water-use efficiency). The unit WUE is calculated as ration of transpiration and photosynthesis, when the highest value of WUE reached the stressed variant of the New Zealand spinach 6,96 x 10⁻³ and the lowest 0,51 x 10⁻³ the control variant of spinach

Keywords: Spinach, New Zealand spinach, water stress, photosynthesis, transpiration, WUE

Obsah

| | |
|--|--|
| 1 Úvod | 9 |
| 2 Cíl práce | 10 |
| 3 Hypotézy práce | 10 |
| 4 Literární rešerše | 11 |
| 4.1 Botanická charakteristika daných rostlin | 11 |
| 4.1.1.1 Špenát setý - <i>Spinacia oleracea</i> L. | 11 |
| 4.1.1.2 Čtyřboč rozložitá - <i>Tetragonia tetragonoides</i> | 11 |
| 4.2 Historie a současnost pěstování sledovaných druhů | 12 |
| 4.2.1.1 Špenát setý - <i>Spinacia oleracea</i> L. | 12 |
| 4.2.1.2 Čtyřboč rozložitá - <i>Tetragonia tetragonoides</i> | 13 |
| 4.3 Stres – obecná charakteristika stresu | 13 |
| 4.3.1 Koloběh vody v přírodě | Chyba! Záložka není definována. |
| 4.3.2 Vodní kapacita půdy | Chyba! Záložka není definována. |
| 4.4 Hospodaření rostliny s vodou | 16 |
| 4.4.1 Pohyb vody v rostlinné buňce..... | Chyba! Záložka není definována. |
| 4.5 Vodní deficit | 14 |
| 4.5.1 Charakteristika vodního deficitu | Chyba! Záložka není definována. |
| 4.5.2 Vliv vodního deficitu na rostliny | 17 |
| 4.5.3 Obranné reakce rostlin vůči vodnímu deficitu | 18 |
| 5 Metodika | 19 |
| 5.1 Založení pokusu | 19 |
| 5.2 Měření fyziologických charakteristik | 20 |
| 5.2.1 Rychlost fotosyntézy a transpirace | 20 |
| 5.2.2 Efektivita využití vody - WUE | 21 |
| 6 Výsledky | 22 |
| 7 Diskuse | 35 |
| 8 Závěr | 37 |
| 9 Literární zdroje | 38 |

1 Úvod

Celková rozmanitost života na naší planetě, je založena na ekologickém základě tvořeném převážně rostlinami. Pro obyvatele naší planety 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 % za rok. I přes tuto hodnotu se stále zvyšuje náročnost na množství produkované biomasy už jen z důvodu nárůstu počtu obyvatelstva a stále se zmenšující výměrou 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 závislé existence rostlin a s ní i spojena 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.

V současnosti začíná být limitujícím faktorem nedostatek vody, v půdním profilu na rozdíl od dřívějších dob kdy nebylo známo, že je možno hnojit minerálními hnojivy. A právě nedostatek živin byl limitujícím faktorem výnosů. Dále si musíme uvědomit, že více jak 50 % planety je vystaveno srážkám pod 500 mm m⁻². A pouze kolem 10 % orné půdy není zasaženo suchem a zasolením.

Z uvedených informací vyplývá, že nedostatek vody (vodní deficit) má silný vliv na rostliny a biologická procesy probíhající v ní. Nedostatek vody je silným stresorem a spouštěčem obraných procesů proti tomuto stresoru jako je snížení příjmu živin a vody rostlinou zpomalení až zastavení růstu, a sním spojené omezení tvorby energeticky bohatých látek. A proto je nutné se zabývat šlechtěním na odolnost vůči těmto nepříznivým podmínkám životního prostředí, ale také hledat vhodné markéry pro stanovení míry odolnosti rostlin vůči stresorům.

2 Cíl práce

Jedním z prvních metabolických procesů, který reaguje na vodní deficit je rychlost výměny plynů (rychlost fotosyntézy, transpirace). Na vodní deficit velmi citlivě reagují zeleniny, které mají vyšší nároky na vodu.

Cílem bakalářské práce je:

1. Stanovit rychlost výměny plynů a efektivitu využití vody u špenátu setého a čtyřboče rozložitě v závislosti na působení vodního deficitu.
2. Stanovit fyziologické rozdíly v reakci obou rostlinných druhů na vodní deficit.

3 Hypotézy práce

Na základě stanovených cílů práce byly navrženy následující hypotézy:

1. Existují mezidruhové rozdíly v reakci rostlin na vodní deficit?
2. Existují mezidruhový rozdíl v intenzitě využití vody a efektivitě fixace CO_2 u vybraných druhů špenátové zeleniny?

Špenát setý a čtyřboč rozkladitá byla jako pokusná rostlina zvolena kvůli ideální morfologii vzhledem k měřeným charakteristikám, kvůli rychlému růstu a zejména vysokou citlivostí na vodní deficit.

4 Literární rešerše

4.1 Botanická charakteristika daných rostlin

4.1.1.1 Špenát setý - *Spinacia oleracea* L.

Špenát setý (*Spinacia oleracea* L.) je jednoletá rostlina z čeledi merlíkovité – *Chenopodiaceae*, původem z Kavkazu, z oblasti dnešního Afghánistánu a Turkmenistánu. Rostliny mají až 30 cm dlouhý kulovitý kořen. Listy se vyvíjí v listové růžici, jsou dlouze řapíkaté, celokrajné a jejich tvar se odvíjí od odrůdy. Květní stonek je až 30 cm vysoký, rostliny jsou jednodomé, květy jsou nenápadné bílé nebo zelené. Semena jsou ostrohranné nažky podobné lebedě nebo laskavci (Hejný a kol., 2010).

Špenát má vegetační dobu dlouhou 60 dní a používá se jako předplodina nebo následná plodina. Pěstuje se z přímých výsevů, semena vzhází při 2–4 °C a optimální teplota pro vegetační období je 12–16 °C, při vyšších teplotách vyběhává do květu (Pekárková, 2002).

Rané výsevy se dělají v únoru do sponu 20–25×20–25 cm a sklízet je možné již na konci dubna, až do června a dále v srpnu. Z pozdních jarních výsevů v dubnu se sklízí již od června a z podzimních výsevů v srpnu se sklízí v říjnu. Pro velmi časnou sklizeň lze provádět výsev do sponu 15×25 cm přezimujících kultur v září, se sklízí na počátku dubna (Pekárková, 2002).

Sklízí se rostliny s minimálně s šesti vyvinutými listy, skladují se při teplotě 0 °C při 95–100 % relativní vzdušné vlhkosti po dobu maximálně jeden týden nebo se zamrazí nasekané, oprané listy (Hejný a kol., 2010).

4.1.1.2 Čtyřboč rozložitá - *Tetragonia tetragonoides*

Čtyřboč rozložitá (*Tetragonia tetragonoides*) je z čeledi *Aizoaceae* kosmatcovité a je jednou z mála rostlin z jižní polokoule pěstovaných u nás. Její domovinou je Nový Zéland a ostrovy přiléhající k Austrálii. Rostliny se u nás vyvíjí jako jednoletá poléhavá, bohatě větvičí rostlina s délkou výhonů až jeden metr. Tato rostlina má poměrně mělký kořenový systém, její listy mají

tmavozelenou barvu, dále jsou kosočtverečné, řapíkaté, silně dužnaté a na povrchu mírně ochlupené. Květy vyrůstají jednotlivě v paždí lisů a jsou malé nenápadné žluto zeleně zbarvené (Hejný a kol., 2010).

Čtyřboč, tzv. novozélandský špenát, je poměrně teplomilná rostlina s dlouhou dobou vzcházení proto se u nás pěstuje výhradně z předpěstované sadby. Semena mají poměrně tvrdé osemení proto je třeba před výsevem semena dva dny máčet aby změkla. Sazenice se vysazují po odeznění posledních mrazů ve fázi tří až pěti pravých listů. Rostlinu lze pěstovat jako následnou plodinu mezi plodinu i jako hlavní kulturu, jednotlivé rostliny by měly být od sebe vzdáleny 40 až 80 cm (Hejný a kol., 2010).

4.2 Historie a současnost pěstování sledovaných druhů

4.2.1.1 Špenát setý - *Spinacia oleracea* L.

Špenát setý je jednou z nejrozšířenějších listových zelenin upravovanou vařením, nebo konzumací za syrova. Pravděpodobně vznikl z planého druhu *Spinacia tetrandia* L. který roste od Kavkazu, Turkestánu, Íránu až po Afghánistán (Pekárková, 2002).

Jedna z nejstarších zmínek o špenátu pochází ze Španělska. Starší národy žijící v Evropě špenát neznaly. Pravděpodobně byl do Evropy dovezen Arabů nebo křížáky. V šestnáctém století byl špenát již běžně pěstovanou zeleninou. Jeho latinský název je pravděpodobně odvozený z latinského *spina*, což znamená osten podle jeho semen s ostny. Avšak většina dnešních moderních odrůd má semena bez ostnu (Hejný a kol., 2010).

Špenát se zařazuje do II. i III. trati, vyžaduje zásobu N do 120 kg.ha⁻¹, P₂O₅ 30–40 kg, K₂O 90–100 kg, MgO 30 kg.ha⁻¹. Nesnáší kyselé půdy, nejvhodnější jsou půdy hlinitopísčité s dostatkem organických látek. Výsev se provádí na jaře nejpozději do poloviny dubna, pro podzimní sklizeň během srpna a pro přezimování v poslední dekádě září do řádků ve vzdálenosti 15 až 20 cm. Sklízí se ve fázi, kdy růžice má 6 a více listů. Výnos z 1 ha je 12 až 16 t. Nutriční hodnota: Obsahuje β karoten 2,5–8,5 mg, vitamin C 30–90 mg a železo. Nevýhodou je kumulace dusičnanů (Oberbeil, 2003).

4.2.1.2 Čtyřboč rozložitá - *Tetragonia tetragonioides*

Domovem čtyřboče rozložitě je Nový Zéland a ostrovy přilehlé k Austrálii, odtud se rozšířila do Japonska a jižní Ameriky. V roce 1772 byla z Nového Zélandu dovezena do Velké Británie, odkud se rozšířila do celé Evropy. (Pekárková, 2002).

Sklizeň zahajujeme 50 až 70 dní od výsevu odřezáváním nebo odštipováním výhonu, se 4 až 5 listy kdy hlavní růst a vývoj trvá asi 3 až 4 měsíce a spadá do období s vysokými teplotami. „Novozélandský špenát“ je skvělou letní náhradou za špenát setý, který v době nejvyšší vegetace čtyřboče vybíhá do květu a však jeho sklizeň je příliš náročné pro polní pěstování proto zůstává spíše zahrádkářskou záležitostí (Pekárková, 2002).

Nutriční hodnota: Obsahuje β karoten 2,5–8,5 mg, vitamin C 30–90 mg a železo. Nevýhodou je kumulace dusičnanů (Oberbeil, 2003).

4.3 Stres – obecná charakteristika

Stres lze definovat jako obecně nepříznivé působení přírodních faktorů na rostlinu. Na toto působení lze nahlížet ze dvou různých směrů. Prvním z nich vychází z mechaniky kdy čím větší silou (stresem) na rostlinu působíme, z čehož vyplývá, že čím větší stres tím větší poškození organismu (Levitt 1980), nebo na stres nahlížíme, jako na jakékoli biologické zatížení které zpomalí nebo zastaví biologický vývoj organismu (Saley, 1978).

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 mezidruhová variabilita, a mimo jiné i přisedlý způsob rostlinného života kdy rostlina před vytaveným 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 obraných látek. Obecnou reakcí je snaha o identifikaci patogenu a následnou produkci obraných látek k jeho likvidaci (Agrios, 2005).

4.4 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., 1973).

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

Vodní deficit lze chápat jako rozdíl momentálního obsahu 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. A však 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., 1973).

Penka, a kol., (1973) ve své publikaci dále uvádí, že kapalnou fází 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 zřeďuje při aktivní vodní bilanci, nebo jako první koncentruje při pasivní vodní bilanci.

Vodní bilance rostlin vyjadřuje 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 označujeme situaci, kdy rostlina není schopna dosytit pletiva do původní hmotnosti (Penka a kol., 1973).

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. A však 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., 1973).

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, intenzita fotosyntézy, celkově se zastavuje vývoj rostlin a urychluje se její stárnutí (Penka a kol., 1973).

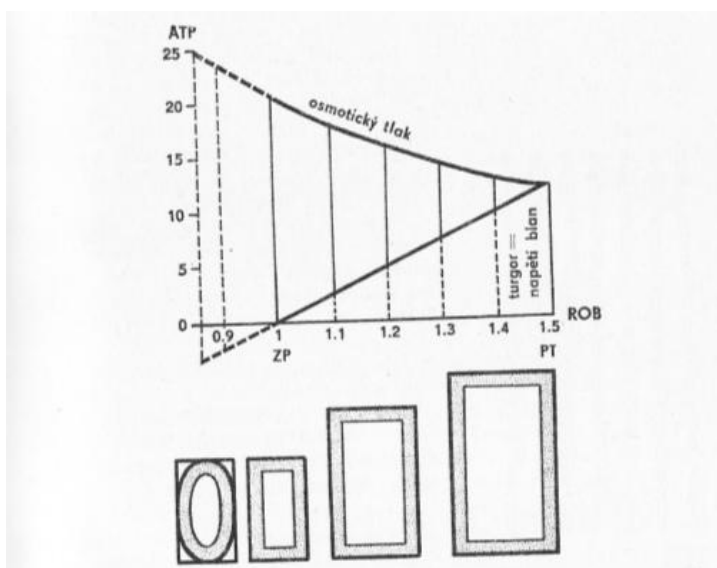
4.4.1 Hospodaření rostliny s vodou

Penka, a kol., (1973) uvádějí, že příjem vody z hypotonického roztoku nezávisí pouze na osmotické hodnotě buňky, tedy koncentrace 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. Rozpínání vakuoly klade odpor, který narůstá tím více, čím více se vakuola rozpíná. Jakmile elasticita buněčné blány stoupne natolik, že se vyrovná osmotickému tlaku vakuoly, ustane rozpínání buňky a s tím zastaví i samotný příjem vody, i přesto že okolní roztok je oproti vnitřnímu prostředí buňky hypotonický. Tento tlak buněčné blány a tlak okolních buněk se nazývá turgor a pojmem 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 každé živé buňce nepřetržitě proudí voda, a však neproudí v každá buňce stejně, koncentrace vody se v jednotlivých buňkách mění a tím i obsah vody. Proto nejsou buňky v rostlině stejně hydratované a jejich nasycenost vodou se také liší (Penka, a kol., 1973).

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., 1973).

Savé napětí buňky podle Penka a kol., (1973) se rovná osmotické hodnotě. A jeli buňka plně turgescentní savé napětí je nulové. A turgor je roven osmotické hodnotě (viz obrázek 1).



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

4.4.2 Vliv vodního deficitu na rostliny

Působení vodního deficitu na rostlinu je možné vyjádřit hodnotou vodního sytostního deficitu, VSD který 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, 2002).

Při nedostatku vody v rostlinném těle dochází k celé řadě fyziologických, anatomických a biologických změn v rámci celého rostenného těla, nebo jednotlivých orgánů či samostatných buněk (Holá a kol., 2009).

Nedostatek vody se však neprojevuje pouze uzavřením průduchu ale i rychlostí fixace CO_2 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, 2002).

Jedním 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 sním spojené 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 povrch a to do všech směrů, zjednodušeně se rostlina snaží dostat za vodou (Bláha a Hnilička, 2004).

4.4.3 Obranné reakce rostlin vůči vodnímu deficitu

Při 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 neznámějších 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 je kyselina abscisová spolehlivým indikátorem vodního stresu při nedostatku vody. Při nedostatku vody se její koncentrace se zvyšují což je prvním spouštěčem genu reagujících na nedostatek vody (Bray, 1993).

Další 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 u rostlin špenátu setého a čtyřboče rozkladité. Z naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy a transpirace byly vypočteny hodnoty efektivity využití vody (WUE).

5.1 Rostlinný materiál

Jako pokusný materiál byly použity dva druhy špenátové zeleniny: špenát setý a čtyřboč rozložitá.

Špenát setý

Odrůda špenátu setého Matador je raná odrůda. Vzdrost této odrůdy je střední až mohutná s polovzpřímenými listy. Listy jsou oválné se zakulacenou špičkou, bublinaté a mají světle zelenou barvu. Je odolné vůči plísni špenátové, k vybíhání do květu má rychlý počáteční růst a umožňuje časnou sklizeň (Pekárková, 2002).

Čtyřboč rozložitá

Čtyřboč rozložitá je jednoletou bylinou, která tvoří mohutné trsy s rozvětvenými až jeden metr dlouhými lodyhami. Plodem je peckovice velká 1 cm. Před výsevem by se měla semena namáčet do vody, aby nabobtnala a urychlilo se tak vzcházení. Rostliny vyžadují poměrně vysokou teplotu a vlhkost. Z počátku rostliny pomalu rostou (Pekárková, 2002).

5.2 Založení pokusu

Rostliny špenátu a čtyřboče 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 špenátu 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 dvě varianty, přičemž rozmístění nádob vycházelo z principu metod Latinského čtverce, při zachování čtyř opakování. První varianta byla kontrolou, která byla pravidelně 250 ml vody. Druhá varianta představovala variantu stresovanou vodním deficitem. Stresované rostliny byly po dobu devíti dnů ponechány bez závlahy. Po devíti dnech byly rostliny opět zavlaženy 250 ml vody. Délka rehydratace byla po dobu 2 dnů. Po rehydrataci byly rostliny opět vystaveny vodnímu deficitu, v délce trvání 10 dnů. Vodní deficit byl navozen postupným přirozeným vysycháním substrátu. Fyziologické charakteristiky byly měřeny ve dvoudenních intervalech. Počet měření byl 10.

5.3 Měření fyziologických charakteristik

5.3.1 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., viz. obr. 5) s listovou komorou, který umožňuje měřit při hustotě ozáření FAR (400 – 700 nm) v rozsahu 0 – 2000 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ 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 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Holá a kol., 2010).

5.3.2 Efektivita využití vody - WUE

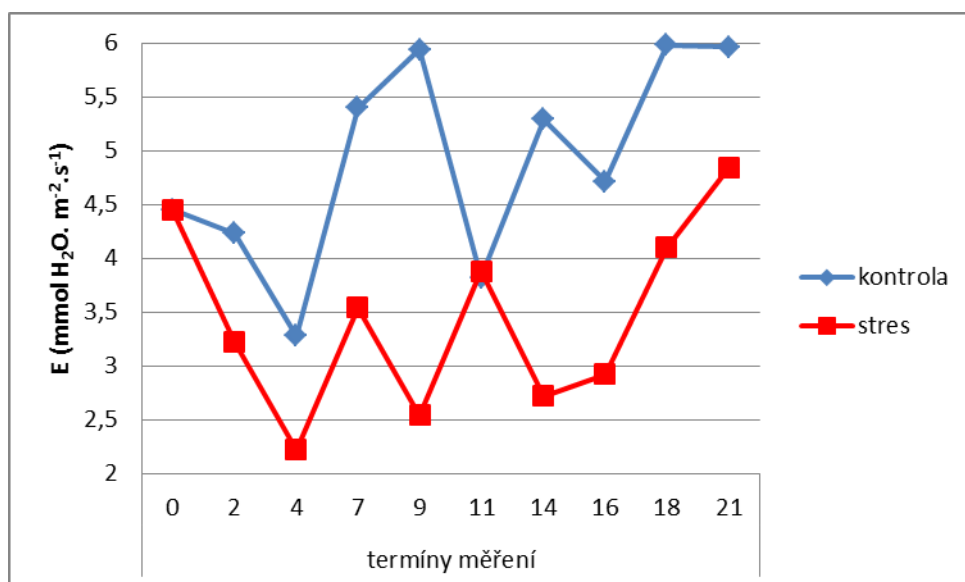
Poměr veličiny fotosyntéza (A) ku transpiraci (E) nám udává hodnotu kolik uhlíku byla rostlina schopna vyvázat na množství odpařené vody a nazývá se efektivita využití vody (WUE (Šantrůček, 2010).

WUE měříme jako poměr čisté fotosyntézy a transpirace listu (A/E). v daném okamžiku se nazývá okamžitou účinností, lze očekávat že WUE bude v tento moment nadhodnoceno, protože nezapočítává ztráty uhlíku dýcháním kořenů a dalších částí rostlin (Šantrůček, 2010).

6 Výsledky

U rostlin špenátu a čtyřboče byl sledován vliv vodního deficitu na rychlost fotosyntézy, transpirace a hodnoty efektivity využití vody (WUE).

6.1 Rychlost transpirace

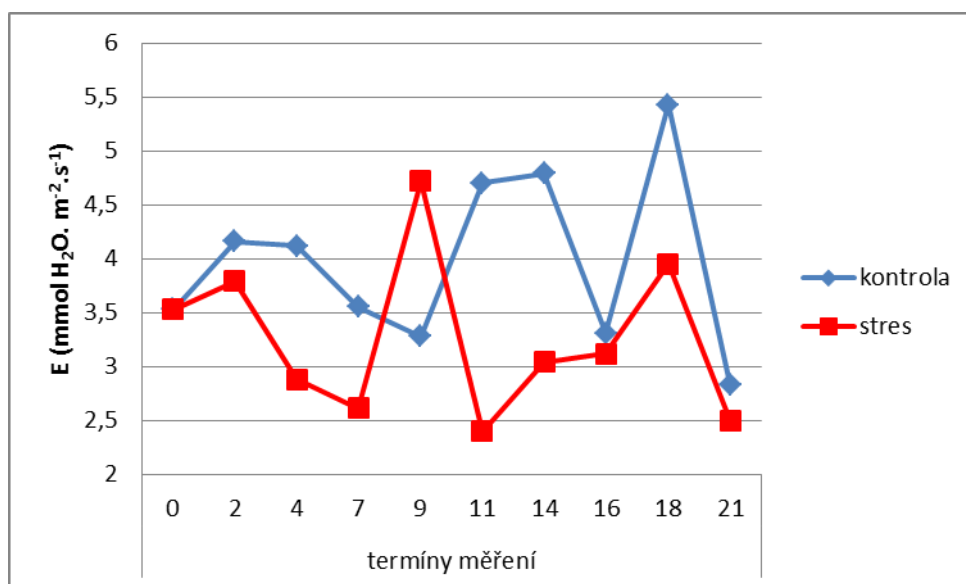


graf 1 rychlost transpirace (E) u rostlin čtyřboče rozkladité

Z grafu 1 vyplývá, že rychlost transpirace rostlin čtyřboče nebyla ovlivněna ontogenetickým vývojem, ale variantou pokusu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost transpirace v porovnání s rostlinami kontrolními rychlost transpirace stresované varianty 4,87 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹, rychlost transpirace kontroly 5 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Rozdíl mezi variantami činil 2,67 % v neprospěch stresovaných rostlin.

Rychlost transpirace kontrolních rostlin byla nejnižší ve třetím termínu měření 3,28 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ a naopak nejvyšší na konci pokusu 5,96 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Na počátku sledovaného období se rychlost transpirace snížila z hodnoty 4,45 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ na hodnotu 3,28 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Poté bylo zaznamenáno zvýšení transpirace na hodnotu 3,82 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹, ale toto zvýšení bylo vystřídáno postupným poklesem až na hodnotu 4,71 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Ke konci pokusu se rychlost transpirace zvyšuje až na svou maximální hodnotu, která byla stanovena na konci pokusu 5,96 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹, viz graf 1.

V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 1, byla nejnižší transpirace také zaznamenána ve 3. termínu měření $2,22 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejvyšší v 5. termínu $2,54 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Shodně s kontrolními rostlinami se rychlost transpirace stresovaných rostlin snižovala na počátku pokusu, mezi 1. a 3 mmol $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ termínem měření, kdy rychlost transpirace byla $4,45 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a $2,22 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ poté se rychlost transpirace zvyšovala až do svého maxima v 5. termínu $3,88 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Toto zvýšení bylo v důsledku rehydratace. Poté vlivem působení vodního deficitu dochází k poklesu transpirace na hodnotu $2,72 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tento pokles je vystřídán pozvolným nárůstem rychlosti transpirace až do konce pokusu na hodnotu $4,84 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, přičemž v 8. termínu se rychlost transpirace v porovnání s předcházejícím a následujícím termínem snížila na hodnotu 4,1.



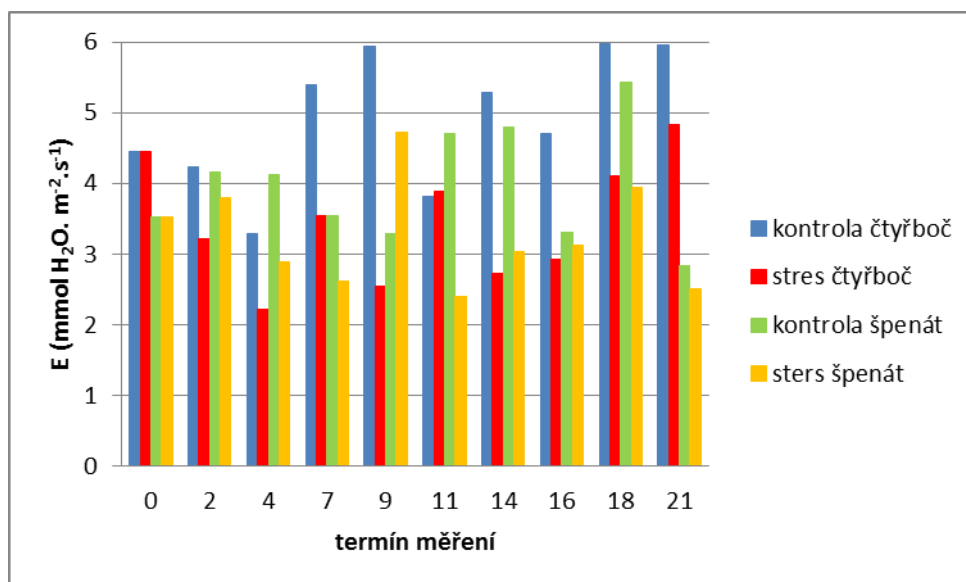
graf 2 rychlost transpirace (E) u rostlin špenátu setého

Z grafu 2 je patrné, že rychlost transpirace rostlin špenátu nebyla ovlivněna ontogenetickým vývojem, ale variantou pokusu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost transpirace v porovnání s rostlinami kontrolními rychlost transpirace stresované varianty $3,25 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, rychlost transpirace kontroly $3,97 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 12,2 % v neprospěch stresovaných rostlin.

Rychlost transpirace kontrolních rostlin byla nejnižší v posledním termínu měření $2,83 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a naopak nejvyšší při sedmém

měření 4,79 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Na počátku sledovaného období se rychlost transpirace snížila z hodnoty 3,53 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ na hodnotu 3,28 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Poté bylo zaznamenáno zvýšení transpirace na hodnotu 4,79 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹, ale toto zvýšení bylo vystřídáno prudkým poklesem až na hodnotu 3,31 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Ke konci pokusu se rychlost transpirace ještě snížila až na svou minimální hodnotu, která byla stanovena na konci pokusu 2,83 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹.

U rostlin stresovaných, dle grafu 2, byla nejnižší transpirace zaznamenána v 6. termínu měření 2,4 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ a nejvyšší v 5. termínu 4,72 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Shodně s kontrolními rostlinami se rychlost transpirace stresovaných rostlin snižovala na počátku pokusu, mezi 1. a 4 termínem měření, kdy rychlost transpirace byla 3,53 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ a 2,61 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ poté se rychlost transpirace zvýšila až do svého maxima v 5. termínu 4,72. Toto zvýšení bylo v důsledku rehydratace. Poté vlivem působení vodního deficitu dochází k poklesu transpirace na hodnotu 2,4 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹. Tento pokles je vystřídán pozvolným nárůstem rychlosti transpirace do 9 měření 3,95 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹, a v 10 měření došlo k propadu na 2,5 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹.



graf 3 porovnání transpirace rostliny špenátu a čtyřboče

Na grafu 3 sledujeme, rozdílné rychlost transpirace rostlin čtyřboče oproti špenátu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší rychlost transpirace v porovnání s rostlinami kontrolními a zároveň je zřejmé,

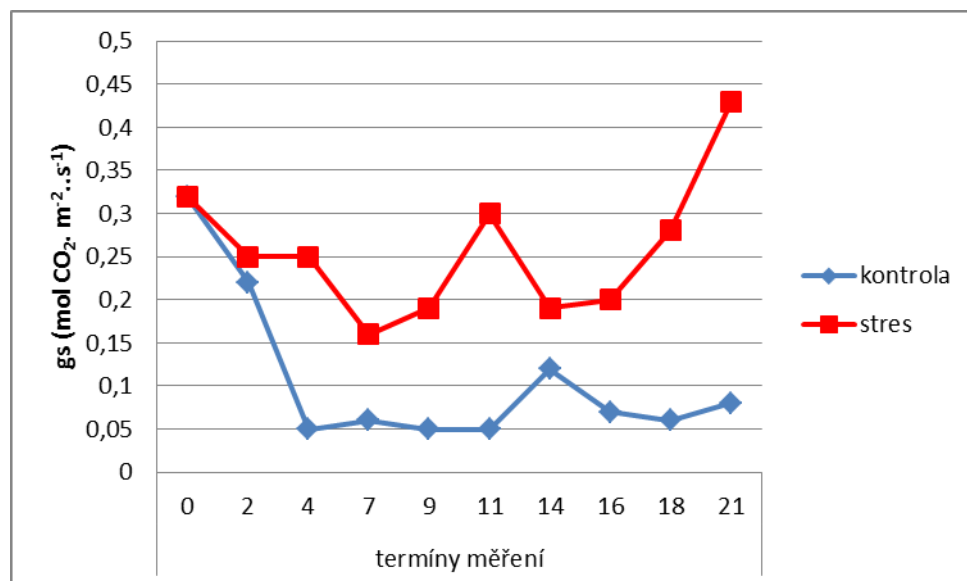
že rostliny čtyřboče mají většinou vyšší transpiraci než rostliny špenátu, rychlost transpirace stresované varianty čtyřboče $3,44 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, rychlost transpirace stresované varianty špenátu $3,25 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 5,52 % v neprospěch stresované varianty špenátu. Rozdíl mezi kontrolními variantami byl 18,97 % v neprospěch kontrolní varianty špenátu

Rychlost transpirace kontrolních rostlin byla nejnižší ve třetím a desátém termínu měření třetí 3,28 čtyřboč a desáté měření 2,83 $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ špenát naopak nejvyšší na konci pokusu 5,96 u čtyřboče na rozdíl od špenátu který měl nejvyšší hodnotu při devátém měření 5,43 $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Na počátku sledovaného období se rychlost transpirace u obou druhů rostlin snížila z hodnot $4,45 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a $3,53 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na hodnotu $3,28 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u čtyřboče v třetím měření. V pátém měření na hodnotu $3,28 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ rostliny špenátu. Ke konci pokusu se rychlost transpirace zvyšuje až na svou maximální hodnotu, která byla stanovena na konci pokusu $5,96 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, u rostliny čtyřboče kdežto špenát dosáhl svého maxima již při devátém měření $5,43 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných, byla nejnižší transpirace zaznamenána ve 3. termínu měření $2,22 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u rostlin čtyřboče a nejvyšší v 10. termínu $5,96 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ také u čtyřboče. Shodně s kontrolními rostlinami se rychlost transpirace stresovaných rostlin snižovala na počátku pokusu, mezi 1. a 3 termínem měření, kdy rychlost transpirace byla $4,45 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a $2,22 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u čtyřboče, a u špenátu byla $3,53 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a $2,61 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ se zpožděním o jedno měření, poté se rychlost transpirace zvyšovala až do svého maxima v 5. termínu $3,88 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Toto zvýšení bylo v důsledku dehydratace, podobně se zachovali i rostliny špenátu, které dosáhly hodnoty $4,72 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. poté vlivem působení vodního deficitu dochází k poklesu transpirace na hodnotu $2,72 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a $3,04 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tento pokles je vystřídán pozvolným nárůstem rychlosti transpirace až do konce pokusu kdy je zaznamenána u čtyřboče hodnota $4,84 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ která je jak nejvyšší hodnotou této varianty tak je i zároveň vyšší než

hodnota na začátku měření $4,45 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. U stresované varianty špenátu je obdobný trend a všem ne s takovou intenzitou. U špenátu byla počáteční hodnota $3,53 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a hodnota na konci měření byla $2,5 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ která je téměř nejnižší hodnotou transpirace špenátu vůbec.

6.2 Stomatální vodivost

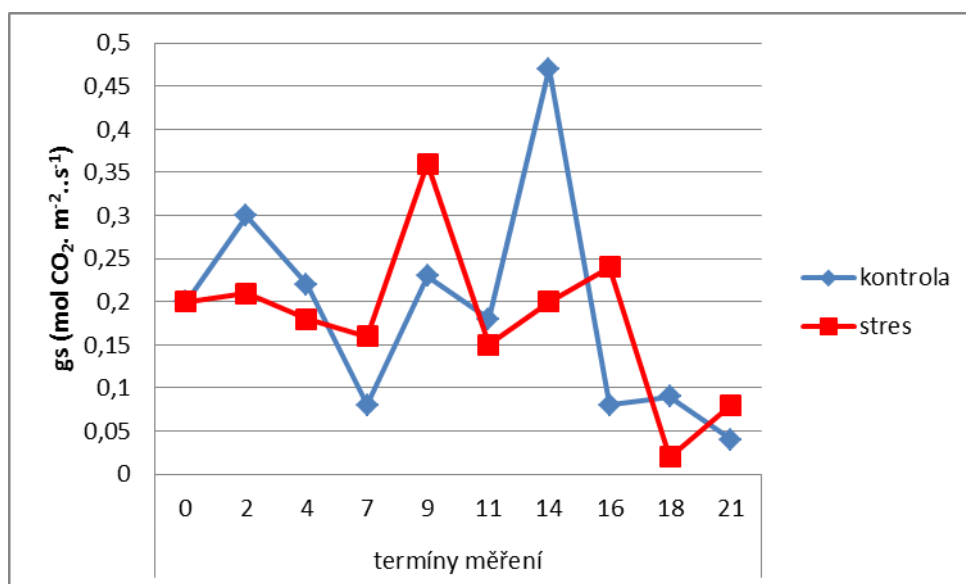


graf 4 intenzita stomatální vodivosti u rostlin čtyřboče

Z grafu 4 vyplývá, že intenzita stomatální vodivosti čtyřboče nebyla ovlivněna ontogenetickým vývojem, ale variantou pokusu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají vyšší intenzitu stomatální vodivosti v porovnání s rostlinami kontrolními, stomatální vodivost stresované varianty $0,25 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, rychlost transpirace kontroly $0,1 \text{ mmol mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 40 % vyšší stomatální vodivost u stresovaných rostlin.

Výše stomatální vodivosti u kontrolních rostlin byla nejnižší ve třetím, pátém a šestém termínu měření $0,05 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a naopak nejvyšší na počátku pokusu $0,32 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Na počátku sledovaného období se stomatální vodivost se snížila z hodnoty $0,32 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na hodnotu $0,05 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ při šestém měření. Poté bylo zaznamenáno zvýšení stomatální vodivosti na hodnotu $0,12 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ale toto zvýšení bylo vystřídáno poklesem a opětovným zvýšením na hodnotu $0,08 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 1, byla nejnižší stomatální vodivost zaznamenána ve 4. termínu měření $0,16 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejvyšší při 10. Posledním termínu měření $0,43 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ kdy tato hodnota převýšila i počáteční hodnotu z prvního měření $0,32 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Shodně s kontrolními rostlinami se intenzita stomatální vodivost stresovaných rostlin snižovala na počátku pokusu, mezi 1. a 4 měření na hodnotu $0,16 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ zároveň tato hodnota byla nejnižší. poté se stomatální vodivost zvyšovala až do svého prvního maxima v 6. termínu $0,03 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Toto zvýšení bylo v důsledku opětovného navození sucha. Poté vlivem působení vodního deficitu dochází k dalšímu nárůstu stomatální vodivosti až na hodnotu $0,43 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ která je zároveň nejvyšší hodnotou varianty.



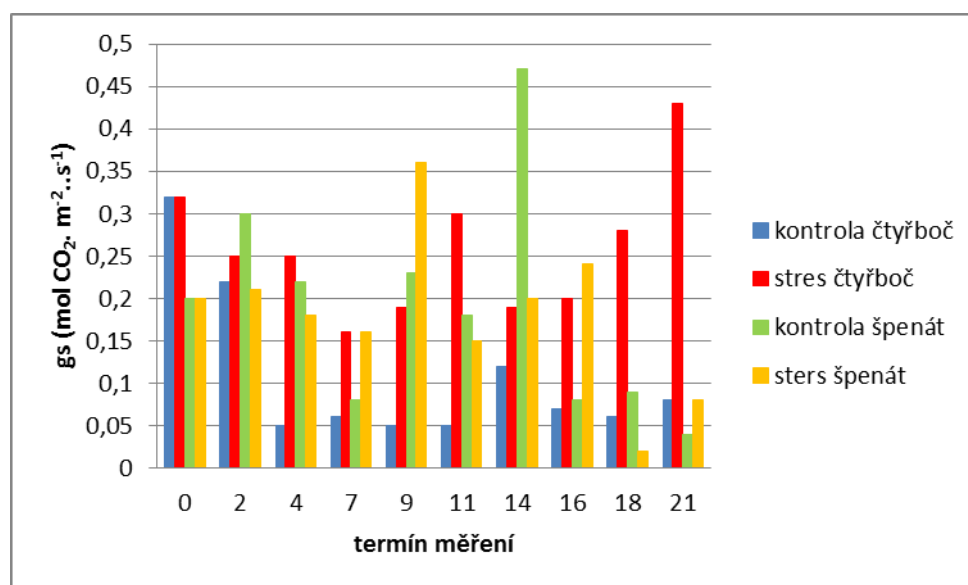
graf 5 intenzita stomatální vodivosti u rostlin špenátu

Z grafu 5 vyplývá, že intenzita stomatální vodivosti špenátu nebyla ovlivněna ontogenetickým vývojem, ale variantou pokusu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají vyšší intenzitu stomatální vodivosti v porovnání s rostlinami kontrolními, stomatální vodivost stresované varianty $0,18 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, rychlost transpirace kontroly $0,19 \text{ mmol mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 5,26 % vyšší stomatální vodivost u kontrolních rostlin.

Výše stomatální vodivosti u kontrolních rostlin byla nejnižší ve čtvrtém termínu kdy byla naměřena hodnota $0,05 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a naopak nejvyšší

hodnota byla naměřena v sedmém odběru pokusu $0,47 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Na počátku sledovaného období se stomatální vodivost zvýšila z hodnoty $0,2 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na hodnotu $0,21 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ při šestém měření. Poté bylo zaznamenáno snížení stomatální vodivosti na hodnotu $0,18 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ale tento pokles byl vystřídán zvýšením stomatální vodivosti na hodnotu $0,47 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. ke konci pokusu byla hodnota stomatální vodivosti $0,4 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 5, byla nejnižší stomatální vodivost zaznamenána v 9. termínu měření $0,02 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejvyšší při 5. termínu měření po rehydrataci $0,36 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ kdy tato hodnota převýšila i počáteční hodnotu z prvního měření $0,2 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Shodně s kontrolními rostlinami se intenzita stomatální vodivost stresovaných rostlin snižovala na počátku pokusu, mezi 1. a 4 měřením na hodnotu $0,16 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.



graf 6 porovnání stomatální vodivosti u rostlin špenátu a čtyřboče

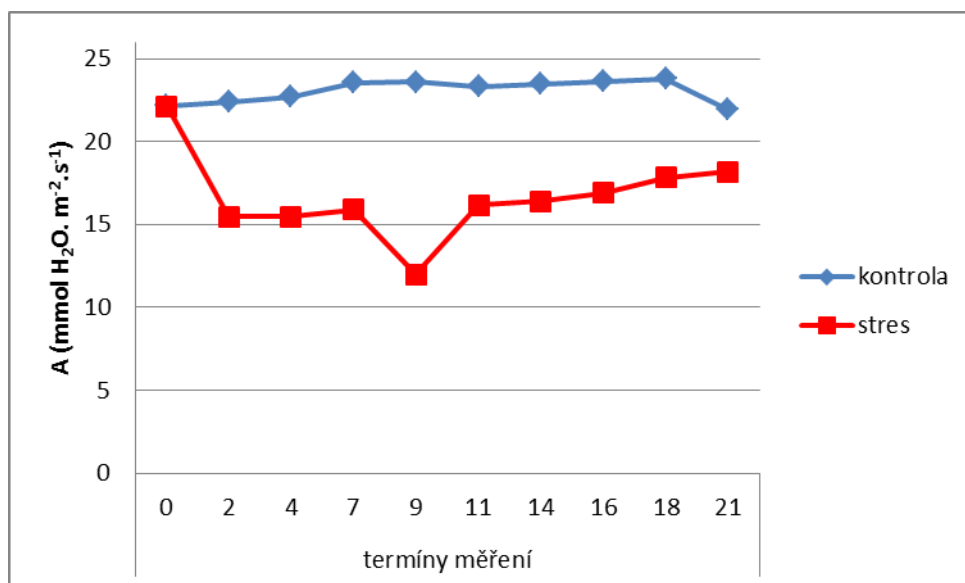
Na grafu 6 sledujeme, rozdílné úrovně stomatální vodivosti rostlin čtyřboče oproti špenátu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají vyšší stomatální vodivost v porovnání s rostlinami kontrolními a zároveň je zřejmé, že rostliny čtyřboče mají většinou vyšší stomatální vodivost než rostliny špenátu, stomatální vodivost stresované varianty čtyřboče $0,26 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, stomatální vodivost stresované varianty špenátu $0,18 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Rozdíl mezi variantami činil 30,77 % v neprospěch stresované varianty špenátu. Rozdíl mezi kontrolními variantami byl 42,11 % v neprospěch kontrolní varianty špenátu

Intenzita stomatální vodivosti rostlin byla v průběhu celého pokusu poměrně vyrovnané u rostlin čtyřboče se pohybovala okolo $0,26 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ kdy nejvyšší hodnoty byla neměřena $0,32 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší $0,05 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ co se týče rostlin špenátu jejich stomatální vodivost nevykazovala takovou pravidelnost. Na počátku sledovaného období se stomatální vodivost pohybovala v hodnotách $0,2 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ při třetím měření vzrostla na $0,22$ a poté poklesla a tuto tendenci si držela až do posledního měření kdy nehodnoty byly $0,08 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných, byla nejnižší stomatální vodivost zaznamenána v 6 termínu měření $0,03 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u rostlin čtyřboče a nejvyšší v 7. termínu $0,47 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u špenátu, dále se stomatální vodivost dosahovala vysokých hodnot u rostlin čtyřboče rozložitě převážně v 9 a 10. termínu kdy dosahovala hodnot $0,28$ a $0,43 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. odlišně se zachovali stresované rostliny špenátu, které dosáhly ke konci pokusu nízkých hodnoty $0,02$ a $0,08 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Naopak kontrolní rostlina čtyřboče měla nejvyšší hodnoty stomatální vodivosti $0,22 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Při třetím odběru tedy zpočátku pokusu.

6.3 Rychlost fotosyntézy



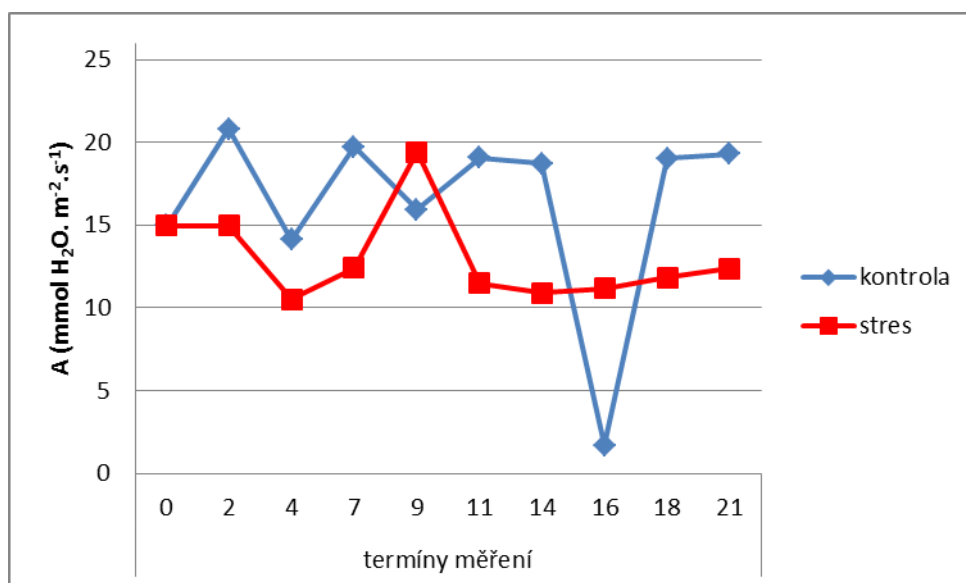
graf 7 intenzity fotosyntézy rostlin čtyřboče

Z grafu 7 vyplývá, že intenzita fotosyntézy rostlin čtyřboče nebyla ovlivněna ontogenetickým vývojem, ale variantou pokusu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší intenzitu fotosyntézy v porovnání s rostlinami kontrolními fotosyntézy stresované varianty $16,63 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, intenzita fotosyntézy kontroly $23,05 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 27,85 % v neprospěch stresovaných rostlin.

Intenzita fotosyntézy kontrolních rostlin byla nejnížší v posledním desátém termínu měření $21,92 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a nejvyšší při devátém měření v pokusu $23,77 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Na počátku sledovaného období se intenzita fotosyntézy se rovnoměrně zvyšovala, až do devátého měření kdy dosáhla hodnoty $23,77 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a ta to hodnota byla zároveň i nejvyšší. Ke konci pokusu intenzita fotosyntézy snížila hodnotu $21,92 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, která byla nižší než hodnota prvního měření $22,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 7, byla intenzita fotosyntézy mnohem méně vyrovnaná kdy první naměřená hodnota $22,14 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ velmi prudce poklesla a její hodnota se snižovala až do pátého měření $11,5 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Poté intenzita fotosyntézy v rámci

rehydratace začala narůstat ovšem ani ke konci pokusu při desátém měření 18,19 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ nedosáhla na počáteční hodnoty při zahájení pokusu.



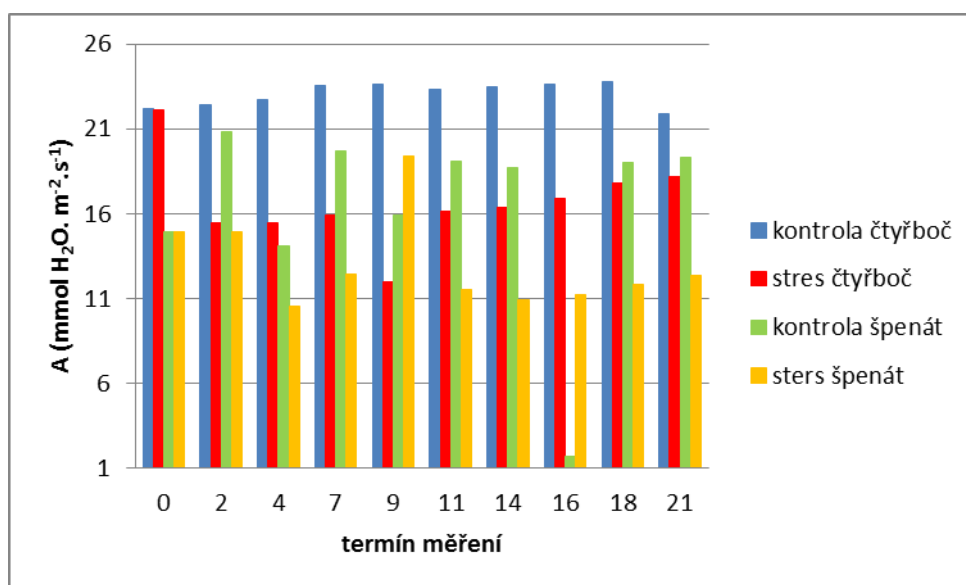
graf 8 intenzity fotosyntézy rostlin špenátu

Z grafu 8 je patrné, že intenzita fotosyntézy rostlin špenátu nebyla ovlivněna ontogenetickým vývojem, ale variantou pokusu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší intenzitu fotosyntézy v porovnání s rostlinami kontrolními fotosyntézy stresované varianty $13\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, intenzita fotosyntézy kontroly $16,33\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 20,39 % v neprospěch stresovaných rostlin.

Intenzita fotosyntézy kontrolních rostlin byla nejnižší v osmém termínu měření 1,69 a nejvyšší při druhém měření v pokusu $20,8\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Na počátku sledovaného období se intenzita fotosyntézy zvyšovala na hodnotu 20,8, v následujícím období měla kolísavý průběh kdy se střídali hodnoty blízké $15\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a $19\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ do osmého měření kdy došlo ke značnému poklesu fotosyntézy $1,69\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ zbylá měření měla opět vzestupný trend $19,01\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a $19,3\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných, jak dokumentuje graf 8, byla intenzita fotosyntézy podobného charakteru jako u kontroly kdy první naměřená hodnota $14,96\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ tato hodnota se zopakovala i při druhém měření poté došlo k poklesu intenzity fotosyntézy na hodnotu $12,41\mu\text{mol}$

$\text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Poté došlo k velkému zvýšení fotosyntézy v rámci rehydratace $19,42 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ tato hodnota byla i nejvyšší dosaženou hodnotou stresované varianty. Poté začal opětovný pokles fotosyntézy na $10,89 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a při desátém měření byl zaznamenán opět nárůst fotosyntetické aktivity $12,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.



graf 9 porovnání intenzity fotosyntézy rostlin čtyřboče s rostlinami špenátů

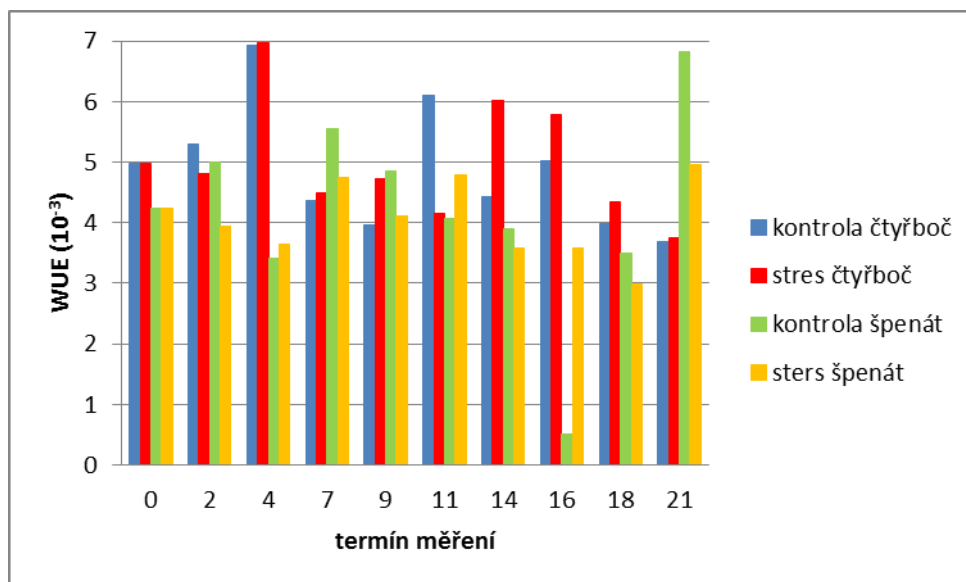
Na grafu 9 sledujeme, rozdílné úrovně fotosyntetické aktivity rostlin čtyřboče oproti špenátu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají nižší intenzitu fotosyntézy v porovnání s rostlinami kontrolními a zároveň je zřejmé, že rostliny čtyřboče mají většinou vyšší fotosyntetickou aktivitu než rostliny špenátu, intenzita fotosyntézy stresované varianty čtyřboče $16,64 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, intenzita fotosyntézy stresované varianty špenátu $13 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami činil 21,76 % v neprospěch stresované varianty špenátu. Rozdíl mezi kontrolními variantami byl 18,97 % v neprospěch kontrolní varianty špenátu

Intenzita fotosyntézy kontrolních rostlin byla v průběhu celého pokusu poměrně vyrovnané u rostlin čtyřboče se pohybovala okolo $23 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ kdy nejvyšší hodnoty byla neměřena $23,77 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší $21,92 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ co se týče rostlin špenátu jejich fotosyntetická aktivita nevykazovala taková pravidelnost. Na počátku sledovaného období se intenzita fotosyntézy pohybovala na hodnot $14,96 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ při

druhém měření vzrostla na 20,8 a poté opět poklesla a tuto hladinu si držela až do osmého měření kdy došlo k propadu až na 1,69 poté se opět navrtila na hodnoty kolem $19 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných, byla nejnižší fotosyntetická aktivita zaznamenána ve 3. termínu měření $10,51 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u rostlin špenátu a nejvyšší při 1 měření $22,14 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u čtyřboče. Oba sledované rostlinné druhy zatížené suchem měli tendenci intenzitu fotosyntézy snižovat až na $11,98 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ čtyřboč a $12,41 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ po rehydrataci došlo k nárůstu fotosyntetické aktivity na hodnoty $19,42 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u špenátu a $16,15 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ u rostliny čtyřboče následoval pokles až do konce pokusu kdy je zaznamenána u čtyřboče hodnota $18,16 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ která střední hodnotou této varianty. U stresované varianty špenátu je obdobný. U špenátu byla naměřena konečné hodnota $12,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

6.4 Efektivita využití vody (WUE)



graf 10 porovnání schopnosti využití vodního potenciálu mezi čtyřbočem a špenátem

Na grafu 10 sledujeme, rozdílné úrovně WUE rostlin čtyřboče oproti špenátu. Z grafu je patrné, že rostliny stresované mají vyšší WUE v porovnání s rostlinami kontrolními a zároveň je zřejmé, že rostliny čtyřboče mají většinou vyšší WUE aktivitu než rostliny špenátu jak v kontrole, tak i ve stresu, intenzita WUE stresované varianty čtyřboče 5×10^{-3} , intenzita WUE

stresované varianty špenátu $4,06 \times 10^{-3}$. Rozdíl mezi variantami činil 23,15 % v neprospěch stresované varianty špenátu. Rozdíl mezi kontrolními variantami byl 18,97 % v neprospěch kontrolní varianty špenátu

Intenzita WUW rostlin byla v průběhu celého pokusu poměrně vyrovnané u rostlin čtyřboče se pohybovala okolo 6×10^{-3} kdy nejvyšší hodnoty byla neměřena $6,96 \times 10^{-3}$ a nejnižší $3,68 \times 10^{-3}$ co se týče rostlin špenátu jejich WUE vykazovala také pravidelnost. Na počátku sledovaného období se WUE pohybovalo na hodnotě $4,23 \times 10^{-3}$ při následných měření klesla na $3,4 \times 10^{-3}$ při čtvrtém měření WUE vzrostlo na $5,55 \times 10^{-3}$ a celý proces se opět opakoval v 10 měření byla hodnota WUE 6,8.

V případě rostlin stresovaných, byla nejnižší WUE zaznamenána ve 9. termínu měření $2,99 \times 10^{-3}$ u rostlin špenátu a nejvyšší při 6 měření $6,96 \times 10^{-3}$ u čtyřboče. Po dehydrataci došlo k nárůstu WUE na hodnoty $4,71 \times 10^{-3}$ u špenátu a 4,79 následoval pouze rovnoměrný pokles až do konce pokusu kdy je zaznamenána u čtyřboče hodnota $3,75 \times 10^{-3}$. U špenátu byla naměřena konečná hodnota $4,95 \times 10^{-3}$

7 Diskuse

7.1 7.1. Rychlost fotosyntézy

Jonet at al. 1989 uvedl ve své práci, že úroveň fotosyntézy po zatížení stresem klesá, podobných závěru jsme došli i v této práci kdy u obou testovaných rostlin došlo v období nejvyššího zatížení ke snížení fixace CO₂. U rostlin špenátu došlo k poklesu na hodnotu 10,51 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ a u rostlin čtyřboč na hodnotu 11,98 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹. Oproti kontrolním hodnotám, které byly v průměru u špenátu 16,33 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ a u čtyřboče 23,05 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹.

Bláha a kol (2010) uvádějí, že při porovnání vlivu sucha na rostliny dochází ke snížení otevřenosti průduchu čímž je ovlivněna intenzita dýchání, fotosyntézy. I to bylo potvrzeno získanými výsledky, kdy z přibývajícím stresem klesala intenzita dýchání a snížila se i fotosyntéza. Což zmiňuje ve své práci i Beadleho at al. (1973) kteří konstatovaly po sledování vlivu sucha na rostliny podobné závěry. Dále se k této problematice vyjádřila Holá a kol. (2009) která tvrdí, že intenzita fotosyntézy je úměrná transpiraci dle této práce tvrzení není úplně přesné kdy se opravdu fotosyntéza a transpirace snižují souběžně ale ne přímo uměna. Dále velký vliv sehrál i rostlinný druh kdy intenzita transpirace i fotosyntézy byl vyšší u čtyřboče oproti špenátu. Čily rostliny druh a jeho vrozené vlastnosti přímo ovlivňují reakci na such jak potvrzuje Penka, a kol., (1973)

7.2 7.2. 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 působením sucha se průduchy uzavíraly a snižovala se intenzita transpirace až na hodnoty 2,4 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ u špenátu a 2,22 mmol H₂O. m⁻².s⁻¹ u čtyřboče.

Jako další mohou být vizuální projevy nedostatku vody a snížení turgoru rostlin stáčení a svinování listů, urychlení 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 kdy nejprve začali zasychat nejprve vrcholové mladé listy a spodní staré listy dalším projevem bylo předčasné vybíhání do kvetu což ve své práci tvrdí i Bewley et Black (1994)

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

7.3 7.3. Efektivita využití vody (WUE)

Dle Hejnák a kol., (2003) by se měla intenzita WUE snižovat s vyšší zatížení rostlin stresem. Ovšem z výletků v této práci je patrné, že intenzita WUT spíše narůstala. Kdy u rostlin čtyřboče dosahovala nejvyšších hodnot při zatížení středním stresem, samozřejmě ke konci pokusu kdy byl stres intenzivní WUE klesalo na nižší hodnoty. Tvrzení však odpovídala varianta stresovaného špenátu kdy i intenzitou stresu klesalo WUE.

Naměřené průměrné hodnoty v pokusu byla u kontroly čtyřboče a kontroly špenátu na hodnotách 4,87 a 41,87 a u stresem zatížených variant špenátu a čtyřboče byly 4,06 a 5. A však tyto průměrné hodnoty se liší od průměrných hodnot, která uvádí ve své práci Holá a kol. (2010).

Dále je zřejmé, že jako u předchozích hodnot i WUE je ovlivněno genetickými vlivy kdy čtyřboč rozkladitá má znatelně lepší využitelnost vody oproti špenátu setému jak dokládá i Levitt (1980).

8 Závěr

Z práce vyplývá, že sucho má přímý vliv na intenzitu fotosyntézy, výměnu plynů a obsah vody v rostlině. 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 obou druhů rostlin:

- 9) Nejvyšší intenzitu transpirace měla rostlina čtyřboče rozkladité $5,98 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ v nestresované variantě, naopak nejnižší úroveň transpirace měla stresovaná varianta špenátu $2,4 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 10) Jako další byla měřena hodnota stomatální vodivosti která se zvyšovala s intenzitou stresu nejvyšších hodnot dosáhla stomatální vodivost u rostlin stresované varianty špenátu setého $0,36 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší stomatální vodivosti dosáhla nestresovaná varianta čtyřboče $0,04 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 11) Další zkoumanou jednotkou byla intenzita fotosyntézy, která se se zvyšujícím zatížením snižovala. U obou variant byla intenzita fotosyntézy výrazně snížena oprati kontrole kdy nejvyšší hodnoty byly ze začátku pokusu a nejnižší ke konci. Nejvyšších hodnot dosáhla kontrola čtyřboče $23,77 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší $10,51 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ stresovaná varianta špenátu.
- 12) Poslední zjišťovanou jednotkou bylo WUE (ekvivalent využití vody). Jednotka WUE je vypočtena jako poměr transpirace ku fotosyntéze kdy nejvyšších hodnot WUE dosáhla stresovaná varianta čtyřboče $6,96 \times 10^{-3}$ a nejnižší $0,51 \times 10^{-3}$ kontrolní varianta špenátu setého.

9 Literární zdroje

Blasco, B., Rios, J. J., Leyva, R., Melgarejo, R., Constán-Aguilar, C., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Romero, L., Ruiz, J. M. 2011. Photosynthesis and metabolism of sugars from lettuce plants (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) subjected to biofortification with iodine. *Plant Growth Regulation*. 65 (1). 137-143.

Chaves, M. M., Flexas, J., Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. 103 (4). 551-560.

Jones, H. G., Flowers, T. J., Jones, M. B. (Eds.). 2008. *Plants under stress: Biochemistry, physiology and ecology and their application to plant improvement*. Cambridge university press. p. 257. ISBN: 0521050375.

Nilsen, E. T., Orcutt, D. M. 1996. *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. Virginia Polytechnic Institute and State University, USA. p. 689. ISBN: 0471035126.

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.

Patade, V. Y., Bhargava, S., Suprasanna, P. 2011. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. *Journal of Plant Interactions*. 6 (4). 275-282

Yin, X., Struik, P. C. 2009. C3 and C4 photosynthesis models: An overview from the perspective of crop modelling. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. 57 (1). 27-38.

Yousif, B. S., Liu, L. Y., Nguyen, N. T., Masaoka, Y., Saneoka, H. 2010. Comparative studies in salinity tolerance between New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and chard (*Beta vulgaris*) to salt stress. *Agricultural Journal*. 5 (1). 19-24.

Yousif, B. S., Nguyen, N. T., Fukuda, Y., Hakata, H., Okamoto, Y., Masaoka, Y., Saneoka, H. 2010. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops; New Zealand

spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*). *International Journal of Agriculture and Biology*. 12 (2). 211-216.

OBERBEIL, K., LENZOVÁ, Ch.. *Léčba ovocem a zeleninou*. 2. vyd. Praha : Fortuna Print , 2003. 294 s. ISBN 80-7309-242 -5.

Pekárková , E. *Pěstujeme salát, špenát a další listovou zeleninu* I. vyd. Grada Publishing, spol. s r. o. 2002

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.

Bláha L., Hnilička F., Martinková J., *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu příspěvek k produkci rostlin*, 1. Vid. Powerprint s r. o., Praha 6 Suchbátka ISBN 978-80-7427-023-9

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.

Griffiths, H.; Parry, M. A. J. 2002. Plant Responses to Water Stress. *Annals of Botany*. 89. 801-802.

Chandler, P. M.; Robertson, M. 1994. Gene expression regulated by abscisic acid and its relation to stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 45. 113-141.

Bláha, L.; Hnilička, F. 2004. Influence of abiotic stresses on the basic of the root system. *Biologia*. Bratislava. 59 (Supplement). 145-150.

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

Nátr, L. 1997. The effect of nitrogen on dry matter allocation young spring barley plants (*Hordeum vulgare*). *Scientia Agricultura Bohemica*. 28. 7-16.

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.

Hale, M. G.; Orcutt, D. M. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley and Sons, New York, p. 206. ISBN: 047188970.

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 environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York, 1980. 350 p. ISBN: 0124455026.

9.1 Ostatní zdoje

[online] [cit. 11.3.2015] Dostupné z

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