

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Vliv vodního stresu na rychlost výměny plynů  
a fluorescence vybraných druhů tribu *Panicoideae***

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Kristýna Hrkotová**

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

© 2016 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv vodního stresu na rychlost výměny plynů a fluorescence vybraných druhů tribu *Panicoideae*" jsem vypracovala 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 8.4.2016

---

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Františku Hnilčkov, Ph.D. za odborné vedení této práce a pomoc s vyhodnocením výsledků.

# Vliv vodního stresu na rychlost výměny plynů a fluorescence vybraných druhů tribu *Panicoideae*

## Souhrn

V diplomové práci je studován účinek vodního deficitu na výměnu plynů u mladých rostlin čiroku a bér. Tyto plodiny by mohly nahradit pěstování kukuřice v některých oblastech, jelikož je jejich využití podobné. Naše republika se v současnosti potýká nedostatkem srážek. V roce 2015 byl tento jev velmi patrný. Proto je vhodné zjistit, jak budou rostliny čiroku a bér reagovat na vodní deficit během jejich ontogenetického vývoje. Na vodní deficit velmi citlivě reagují rostliny v počátečních fázích růstu, a proto byl vliv vodního deficitu sledován právě na mladých rostlinách čiroku a bér.

Rostliny genotypů 121, 304, Ruzrok, Red a rostliny bér byly rozděleny do čtyř variant: KK (plně zavlažovány po celý pokus), KS (14 dnů plná zálivka, 10 dnů vodní deficit, 4 dny plná zálivka), SK (10 dnů vodní deficit, 18 dnů plná zálivka), SS (10 dnů vodní deficit, 4 dny plná zálivka, 10 dnů vodní deficit, 4 dny plná zálivka). Rychlost výměny plynů byla měřena ve skleníku přístrojem LCpro+ a fluorescence chlorofylu přístrojem OS1 - FL. Rychlost fotosyntézy a transpirace a fluorescence chlorofylu byly měřeny v dopoledních hodinách. Z rozdílu naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy a transpirace byla vypočtena hodnota efektivity využití vody (WUE).

Nejcitlivěji na vodní deficit reagoval genotyp 121, který měl hodnotu efektivity využití vody (WUE)  $9,95 (10^{-3})$  a zároveň měl tento genotyp i nejnižší hodnotu fluorescence chlorofylu a to 0,765. Jako odolný proti vodnímu deficitu se jeví rostliny bér, které měly nejnižší rozdíl fotosyntézy mezi kontrolní a stresovanou variantou v rozmezí od  $14,59 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (SS) do  $15,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (KK). Zároveň měl bér také nejnižší rozdíl fluorescence chlorofylu mezi variantou KK (0,814) a variantou SS (0,781). Z pohledu transpirace se jako nejodolnější vůči vodnímu deficitu jevil bér (od  $0,08 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (SS) do  $2,13 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (KS)). Naopak nejméně odolný byl genotyp 121, který měl v kontrolní variantě  $1,17 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a ve stresované  $1,50 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Klíčová slova:** fotosyntéza, transpirace, fluorescence, bér, čiroky, sucho

# Effect of water stress on gas exchange and fluorescence of selected species of tribe *Panicoideae*

## Summary

The thesis studied the effect of water deficit on gas exchange in young plants sorghum and foxtail. These crops could replace maize cultivation in some areas, because their use is similar. Our country is currently facing shortage of rainfall. In 2015, this phenomenon was very noticeable. Therefore, it is appropriate to see how the plants of sorghum and foxtail respond to water deficit during their ontogenetic development. On the water deficit are very sensitive plants in the early stages of growth, and therefore the influence of water deficit was observed on young plants of sorghum and foxtail.

Plant genotypes 121, 304, Ruzrok Red and Plant foxtail were divided into four variants: KK (fully irrigated throughout the experiment) KS (14 days full of grout, 10 days water deficit, 4 days full dressing), SK (10 days water deficit, 18 days full of dressing), SS (10 days water deficit, four days filled with grout, water deficit 10 days, four days full of topping). The speed of exchange of gases were measured in the greenhouse device LCpro+ and chlorophyll fluorescence apparatus OS1 - FL. The rate of photosynthesis and transpiration and chlorophyll fluorescence were measured in the morning. The difference between the measured values of the rate of photosynthesis and transpiration value was calculated water use efficiency (WUE).

Most sensitive to water deficit responded genotype 121 which had a value of water use efficiency (WUE)  $9.95 (10^{-3})$  and also had the genotype and the lowest value of chlorophyll fluorescence and 0.765. Resistant to water deficit seems foxtail plants, which had the lowest photosynthesis difference between control and stressed variant in the range of  $14.59 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (SS) to  $15.38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (KK). At the same time it also foxtail lowest difference between chlorophyll fluorescence variant KK (0.814) and SS variant (0.781). From the perspective of transpiration as most resistant to water deficit appeared foxtail ( $0.08 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (SS) to  $2.13 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (KS)). Conversely, the least resistant genotype was 121, which was in the control variant  $1.17 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and stressed  $1.50 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Keywords:** photosynthesis, transpiration, fluorescence, foxtail, sorghum, drought

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| 1. Úvod.....   | 7  |
| 2. Literární přehled .....                             | 8  |
| 2.1 Botanická charakteristika čiroku a béru .....      | 8  |
| 2.1.1 Čirok obecný ( <i>Sorghum bicolor</i> ).....     | 8  |
| 2.1.2 Bér italský ( <i>Setaria italica</i> ) .....     | 13 |
| 2.2 Historie a současnost pěstování čiroku a béru..... | 16 |
| 2.2.1 Čirok obecný ( <i>Sorghum bicolor</i> ).....     | 16 |
| 2.2.2 Bér italský ( <i>Setaria italica</i> ) .....     | 19 |
| 2.3 Obecná charakteristika stresu.....                 | 21 |
| 2.4 Vodní stres .....                                  | 26 |
| 3. Cíle a hypotézy.....                                | 33 |
| 4. Metodika .....                                      | 34 |
| 4.1 Charakteristika pokusného materiálu .....          | 34 |
| 4.2 Založení pokusu.....                               | 35 |
| 4.3 Měření fyziologických charakteristik.....          | 38 |
| 4.3.1 Měření výměny plynů .....                        | 38 |
| 4.4 Stanovení rychlosti výměny plynů .....             | 40 |
| 4.5 Stanovení efektivity využití vody .....            | 40 |
| 4.6 Měření fluorescence.....                           | 41 |
| 4.7 Statistické vyhodnocení výsledků .....             | 42 |
| 5. Výsledky .....                                      | 43 |
| 5.1 Rychlost fotosyntézy .....                         | 43 |
| 5.2 Rychlost transpirace .....                         | 52 |
| 5.3 WUE.....   | 62 |
| 5.4 Fluorescence chlorofylů.....                       | 63 |
| 6. Diskuze .....                                       | 65 |
| 6.1 Rychlost fotosyntézy .....                         | 65 |
| 6.2 Rychlost transpirace .....                         | 66 |
| 6.3 Efektivita využití vody (WUE).....                 | 67 |
| 6.4 Fluorescence chlorofylu.....                       | 69 |
| 7. Závěr .....   | 70 |
| 8. Seznam literatury.....                              | 72 |
| 9. Samostatné přílohy .....                            | 83 |
| 9.1 Obrázky.....                                       | 83 |
| 9.2 Grafy.....   | 84 |

# 1. Úvod

Čirok je jednou z významných světových plodin. Hlavním místem pěstování je Afrika, kde je tato plodina jedním z hlavních zdrojů potravy jak pro lidskou výživu, tak i pro zvířata. Dalším významným místem pěstování jsou Spojené státy americké, kde je většina produkce prodávána do Afriky.

Klimatické podmínky České republiky jsou ovlivňovány polohou našeho státu. V loňském roce (2015) byl velký nedostatek vody. To prověřilo velkou část zemědělské výroby. Jednou z nejvíce postižených plodin byla kukuřice, která by měla těmto podmínkám odolávat. Proto by bylo vhodné zjistit, zda by se do takových podmínek nehodil více čirok, který je stejně jako kukuřice C4 rostlinou.

Využití čiroku je velmi podobné jako u kukuřice. Zrno je možné využít pro lidskou výživu nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata. Tato plodina je také vhodná pro silážování. Siláž má následně dvě možná využití. Prvním využitím je jako krmivo pro dojnice, kdy svým nutričním složením je velmi podobná kukuřičné siláži a složení mléka vykazuje lepší hodnoty než při krmení kukuřičnou siláží.

Druhým využitím je pro bioplynové stanice, kterých je v České republice velké množství. Čiroková siláž má více energie oproti siláži z kukuřice. Proto se musí počítat s tím, že fermentace v bioplynové stanici probíhá déle.

V České republice je pěstování čiroku jen okrajovou záležitostí. Statistický úřad si o této plodině nevede ani záznamy. Tato plodina ovšem skrývá možný potenciál a to zejména v suchých oblastech. Jelikož je málo využíván, se jeho šlechtění v České republice uskutečňuje jen ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v. v. i. v Praze - Ruzyni. Proto má čirok v této oblasti rezervy. Pokud by se zvýšila poptávka po této plodině, mohlo by se více rozvíjet i jeho šlechtění do podmínek České republiky.

Bér je starodávnou plodinou, která je v dnešní době zapomenuta. Jeho využití je téměř stejné jako u čiroku. Velkou výhodou béru je to, že ke svému růstu potřebuje jen malé množství vody, jelikož je to C4 rostlina. I přestože je bér odolnější k suchu, vyžaduje vodu v kritických fázích růstu. V České republice se bér pěstuje jen v rámci pokusů. Přitom je tato plodina jedna z dalších, která by mohla nahradit kukuřici. Bér je ovšem pro naše podmínky málo prošlechtěn a bylo by nutné vyšlechtit více odrůd.

## 2. Literární přehled

### 2.1 Botanická charakteristika čiroku a béru

#### 2.1.1 Čirok obecný (*Sorghum bicolor*)

Čirok poprvé popsal Linné v roce 1753 pod názvem *Holcus*. V roce 1794 německý botanik Conrad Moench oddělil rod čirok z rodu *Holcus* a vytvořil pojmenování *Sorghum bicolor*. Všechna další označení jsou brána jako synonymum pro *S. bicolor* (L.) Moench. Dnes se nejčastěji používá klasifikace, kterou zpracovali Wett a Huckbay (1967), která uvádí pouze jeden polymorfní druh *S. bicolor* s dvěma poddruhy, několika varietami a řadou forem (Kára a kol. 2005).

Pěstovaný čirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, tribus *Andropogonae*), je pravděpodobně hybridního původu, na němž se mohly podílet planě rostoucí čiroky *S. propinquum*, *S. bicolor* subsp. *arundinaceum* a *S. halepense*. Jako kulturní rostlina vznikl pravděpodobně na území dnešního Súdánu a Etiopie, odkud se záhy rozšířil do střední a západní Afriky a jižní Asie. V současnosti se pěstuje v suchých tropických a subtropických oblastech celého světa (Hancock, 2012).

Rod čirok (*Sorghum* Moench.) patří do skupiny vousatkovité (*Andropogoneae*), čeledi *Poaceae* – lipnicovité, podčeledi *Panicoidae* – prosovité. V pěstování jsou nejvíce rozšířeny čtyři hlavní variety, podle jejich praktického využití, jejichž klasifikaci uvádí Mansfeld (1952):

- a) **Čirok obecný** (*S. vulgare* var. *eusorghum*). Pěstuje se hlavně na zrno, které má značný obsah bílkovin a škrobu. Většinou jde o formy s nižším vzrůstem.
- b) **Čirok technický** (*S. vulgare* var. *technicum*). Má silně vyvinutou latu, která bývá surovinou pro výrobu košťat a kartáčů. Zrno je vedlejším produktem.
- c) **Čirok cukrový** (*S. vulgare* var. *saccharatum*). Má šťavnatou dřev i v biologické zralosti zrna. Používá se jako krmná, zejména silážní rostlina. Někdy se lisuje ze stébel šťáva, ze které se vyrábí líh, sirup apod.



d) **Čirok sudánský** (*S. vulgare* var. *Sudanense*). Tato skupina má tenká stébla, bohaté olistění a vytváří velké množství hmoty. Je kvalitní píceinou. Je vhodný pro případné energetické využití (Hermuth a kol., 2012).

Opticky je čirok podobný kukuřici, neboť dosahuje výšky 1 - 3 (5) m (Pavliš a kol., 2002). Ovšem květenstvím a další biologii a fyziologií spíše připomíná proso. Na rozdíl od kukuřice netvoří klas, ale latu (Chobotová a Pokeš, 2013).

Uvedení autoři dále uvádí, že potřeba vody pro tuto plodinu je překvapivě malá. Jako C4 rostlina potřebuje jen 200 – 300 l vody k vytvoření 1 kg sušiny. Díky této vlastnosti se hodí do regionů s ročním úhrnem srážek od 400 do 600 mm. Vysoká tolerance čiroku k suchu a horku z něho dělá atraktivní plodinu především v regionech s periodicky se opakujícím suchem, kde je schopen nahradit kukuřici. Ta v této oblasti není schopná vytvořit optimální výnos.

Kořeny čiroku prorůstají až do hloubky 140 – 170 cm a do šířky 60 – 120 cm. Primární kořinky se objevují během klíčení, nejsou větvené nebo jen velmi málo. Sekundární kořeny vyrůstají z prvního nodu. Z těchto kořenů se vyvíjí základ mohutného kořenového systému. Primární kořeny postupně odumírají. Z nejnižších nodů mohou vyrůst také opěrné kořeny, které se vytvářejí za nepříznivých podmínek. Tento typ kořenů není schopen přijímat živiny a vodu, ale velmi dobře upevňují rostliny v zemi, takže ani při silných větrech rostliny nepoléhají (House, 1985).

Ve srovnání s kukuřicí má čirok dvojnásobné množství kořenových vlásků na jednotku hlavních kořenů a specifický povrch listů, který snižuje odpar. Potřebuje proto asi o třetinu vody méně než kukuřice a v extrémním suchu má dokonce schopnost přežít do klidového stavu a obnovit růst až v souvislosti s nadcházejícími dešti (Ust'ak, 2014).

Stéblo čiroku (obrázek 1) je silné, tvrdé, hladké, kolénky rozdělené na články a dlouhé 1,5 – 5,5 m. Stébla jsou bohatě olistěná a vytváří velké množství zelené hmoty (Stražil, 1999). Do doby kvetení je dřevina ve stéble šťavnatá a sladká, při dozrání vysychá a tvrdne (Hermuth, 2010).



**Obrázek 1: Rostlina čiroku - odrůda Red**

Zdroj: foto autor

Výška stébla je velmi rozdílná, rozlišuje se čirok zakrslý – nižší jak 1 m, nízký 1 – 1,5 m, středně vysoký 1,5 – 2 m, vyšší 2 – 2,5 m a vysoké nad 2,5m. Stéblo je rozděleno kolénky na jednotlivá internodia. Jejich počet závisí na délce stébla a počet hlavních článků přímo souvisí s délkou vegetačního období. Genotypy s počtem článků 5 – 11 řadíme mezi rané, 11 – 16 mezi polorané a 16 – 20 a více článků mezi pozdní genotypy. U každého stéblového kolénka se vytváří pupen, který je pod praporečným listem a může z něho vznikat nové stéblo (Dostál, 1989).

Čirok má listy průměrně široké a mohou dosáhnout až 10 cm šířky. Jejich rozmístění na stéble souvisí s genotypem. Délka listů se pohybuje v rozmezí od 40 do 80 cm. Listy mají lysé nebo poněkud pomoučené pochvy; jazýček je zaokrouhlený, jemně brvitý a čepel je

čárkovitá až čárkovitě kopinatá a plochá. Listy jsou pokryty slabou voskovou vrstvou, která způsobuje jejich zbarvení do šedozelené. V lepších podmínkách vytváří čirok méně listů než v horších, např. v Indii v lepších podmínkách je průměrný počet listů na rostlinu 14 až 17, v horších podmínkách je to i přes 30 (House, 1985).

Květenstvím je lata (obrázek 2), která je svým habitem charakteristická pro jednotlivé hospodářské skupiny. Lata mohou být vzpřímené, nakloněné nebo ohnuté (Moudrý a kol., 2011). Délka může dosahovat 4 až 25 cm i více, šířka je od 2 cm do 20 cm. Lata je složená z klásků, které vyrůstají vždy v páru. Jeden je přisedlý, oboupohlavní a fertilní, druhý je stopkatý a pouze samičí. Každý klásek obsahuje dva kvítky, přičemž jeden je vždy fertilní (Rooney, 2007).



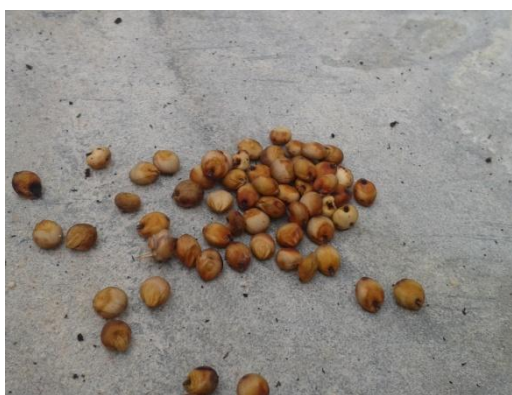
**Obrázek 2: Čirok obecný**

(<http://histaminovakasulka.com/2014/04/03/protizanetlivy-cirok-nepravem-opomijena-obilnina/>)

Čirok se řadí dle Doggetta (1995) mezi primárně samosprašné rostliny, ale může se objevit i určité procento cizosprašnosti. To se odvíjí od typu květenství. Například u rozkladitých otevřených květenství může dosahovat až 60 %. Optimální teplota pro kvetení

čiroku je 21 – 35 °C. Kvetení začíná obvykle v ranních hodinách od vrcholu laty a postupuje směrem dolů (Rooney, 2008). Kvítky ve spodní části laty bývají neplodné nebo nedozrávají. Délka kvetení je obvykle 7 – 10 dní (Dostál, 1989).

Stuhlík (1951) konstatuje, že mléčná zralost nastává u čiroku brzy po opylení, ale na úplné dozrání je potřeba poměrně dlouhý čas, jelikož zůstává stéblo dlouho zelené a zásobuje zrno vodou. Obilka je obalena tenkou, bezosinnou pluškou, osinatou pluchou a vně tuhými pluchami. Semena mají oválný až eliptický tvar a jsou různě veliká a zbarvená – od černé, hnědé, červené, žluté až po bílou, objevují se i dvoubarevná semena (obrázky 3 a 4).



Zdroj: foto autor

**Obrázek 3: semena čiroku - světlá**



Zdroj: foto autor

**Obrázek 4: semena čiroku - tmavá**

Podle Hermutha (2010) je hmotnost tisíce zrn (HTZ) v rozmezí 3 – 80 g. Pěstované odrůdy mívají hmotnost tisíce zrn mezi 25 a 30 g. Podle absolutní hmotnosti rozeznáváme genotypy drobnozrnné – HTZ menší než 20 g, se středně velkým zrnem – HTZ 20 – 30 g a velkozrnné – HTZ nad 30 g.

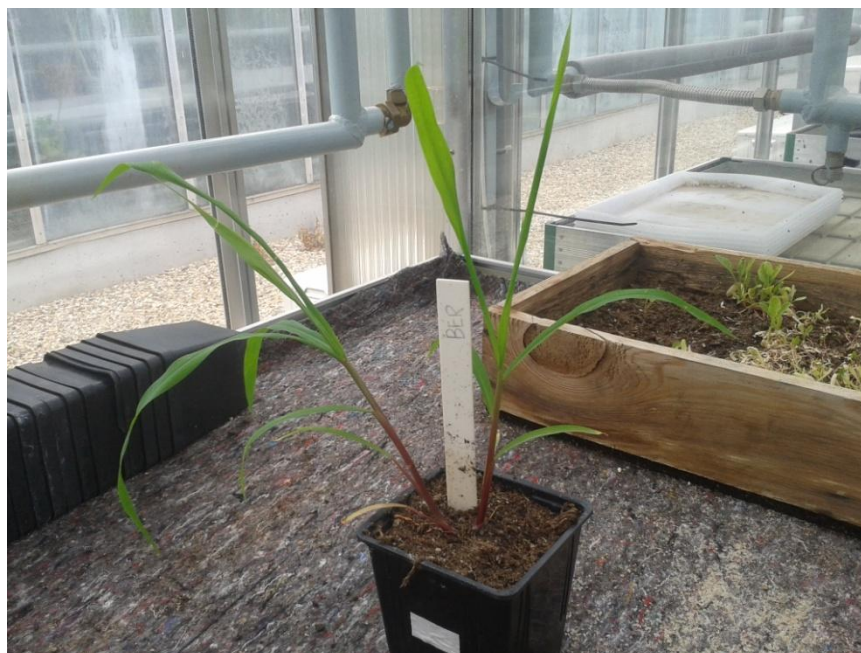
Nejdůležitějšími kroky při pěstování čiroku je optimálně zvolený termín setí s ohledem na teplotu půdy a výhled na další průběh počasí. Teplota půdy by měla být 15 °C. Půda musí před setím být velmi kvalitně připravená tak, aby bylo docíleno rovnoměrného vzházení. Důležitým agrotechnickým opatřením je důsledné odplevelení vzházejícího porostu čiroku. Jedná se o volbu vhodného přípravku a zejména termínu jeho použití. Pokud některou z výše jmenovaných podmínek podceníme, vždy se to projeví na vývoji rostlin, potažmo i na kvalitě a celkovém výnosu hmoty. Kořenový systém čiroku dosahuje do velkých hloubek, až do 2 m. Při hnojení čiroku je možné využívat bez problémů i digestát, který obsahuje především dusík a draslík, ale i ostatní živiny nejsou v zanedbatelném množství (Pištínek, 2015).

## 2.1.2 Bér italský (*Setaria italica*)

Bér vlašský (syn. italský) je statná bylina z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) s jednotlivými přímými hladkými stébly, 100 – 150 cm vysokými, někdy zbarveny antokyany. Pochvy listů jsou lysé nebo řídce chlupaté, slabě drsné, čepele tuhé, 15 – 45 cm dlouhé, ploché, 8 – 15 (6 – 20 mm) široké, na líci ostře, na rubu slabě drsné, na bázi brvitě; lichoklas válcovitý nebo elipsoidní až kyjovitý, 5-30 cm dlouhý, dole přerušovaný až větvený, 1 – 3 cm v průměru, včetně měkce chlupaté, štětiny pod klásky po 2 – 5, zelené nebo černozelelé, 5 – 15 mm 2krát delší než klásky, nahoru směřující zoubky shora dolů drsné, klásky 2 – 3 mm, široce elipsoidní, horní pleva zdéli nebo o 1/3 kratší než klásek, plucha horního kvítku opadavá (Dostál, 1989).

Cheng a Dong (2010), Brink a Beley (2006) konstatují, že bér (obrázek 5) je rostlina samosprašná s poměrem cizosprašení do 4 %. Kořenový systém je ve srovnání s prosem setým vyvinutější. V dobrých půdních podmínkách může dorůst až 1,5 m. V lichoklasu může být 3 až 5 tisíc obilek, které jsou žlutě, krémově, rezavě, hnědě nebo černě zbarvené. Obilky bėru jsou drobné a před zpracováním je nutné je vyloupat. Výtěžnost po oloupání je 77 %. Velikost obilek kolísá v rozmezí 1 – 1,7 mm, HTS činí 2 – 4 g.





**Obrázek 5: Rostlina béru**

Zdroj: foto autor

Sklizeň béru na zrno se podle Hermutha a Hýska (2010) uskutečňuje v plné zralosti, jelikož porosty dozrávají poměrně jednotně a obilky z laty nevypadávají. Obilky jsou velmi drobné, proto musíme výmlat provádět vysokými otáčkami s dostatečně staženým mláticím košem. Nebezpečí poškození obilek je minimální.

Tato plodina vyžaduje oblast s ročním úhrnem srážek 500 – 700 mm s maximem srážek v letním období. Bér (obrázek 6) vyžaduje méně srážek než čirok nebo kukuřice, ale úspěšné pěstování spočívá v období, kdy prší. Bér je také schopen uniknout období sucha, jelikož brzy dozrává. Dobře snáší i zamokření. Rostliny béru nejsou adaptovány na nízké teploty (www.fao.org, 2016).



**Obrázek 6: Bér vlašský**

Zdroj: <http://home.tiscali.cz/ps.humpolec/ber.htm>

Při pěstování béru na zelenou hmotu provádíme sklizeň v době počátku metání nebo až plného metání. Sklízet dříve je nežádoucí, jelikož se snižuje výnos hmoty z jednotky plochy. Naopak při pozdější sklizni obsahuje rostlina značné množství vlákniny a je hůře stravitelná. Zelenou hmotu lze zkrmovat přímo nebo silážovat či sušit na seno (Hermuth a Hýsek, 2010).

Dále tito autoři uvádějí, že výnos béru (obrázek 7) se pohybuje od 1,5 do 4 t.ha<sup>-1</sup>. Výše výnosu se odvíjí od úrovně agrotechniky a pěstitelských podmínek. Při pěstování na zeleno získáme z hektaru 20 – 55 t, ze které je 5 – 15 t sena.



**Obrázek 7: semena béru**

Zdroj: foto autor

## **2.2 Historie a současnost pěstování čiroku a béru**

### **2.2.1 Čirok obecný (*Sorghum bicolor*)**

O původu čiroku existuje více názorů. Například podle Vavilova (1926) pochází čirok ze tří genetických center: východoasijského, indického a afrického (Valíček a kol., 2002). Výskyt čiroku byl zaznamenán i u starověkých Egyptanů (Kára a kol, 2005).

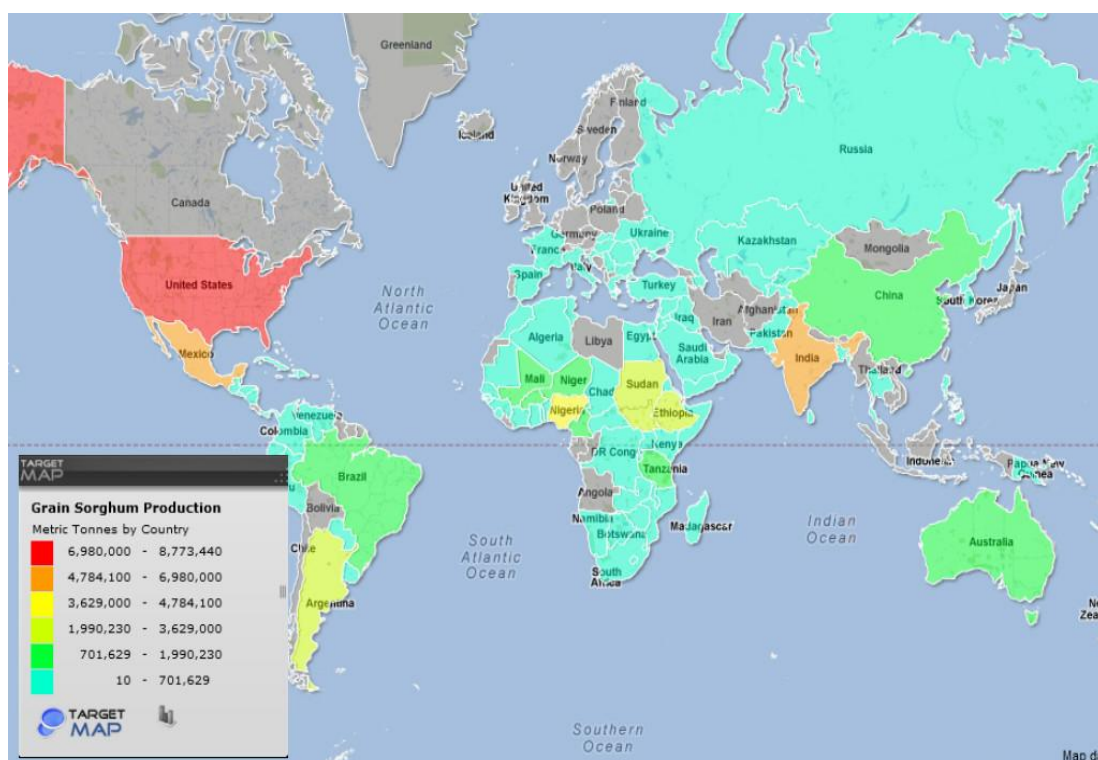
Hermuth a kol. (2012) uvádí, že do Evropy se dostal nejdříve do Itálie z Indie za doby Plinia Staršího – známého římského botanika, ale potom se na čirok zapomnělo. Prostřednictvím Arabů se dostal čirok do severní Afriky a následně znovu do Evropy. Světově patří mezi významné plodiny především v oblastech Asie a saharského a subsaharského pásu Afriky, kde je nedostatek srážek a čirok je jedna z mála prosperujících plodin.

V Čechách se ve větší míře objevil až ve 20. letech minulého století, kdy se využíval hlavně technický čirok. Druhá vlna zvýšeného pěstování čiroku nastala v 50. letech, později byl však vytlačen kukuřicí, která se začala využívat častěji. V posledních letech začíná



pomalu narůstat zájem o pěstování čiroku a to zejména díky bioplynovým stanicím, pro které poskytují velké množství kvalitní hmoty (Hermuth a kol., 2012).

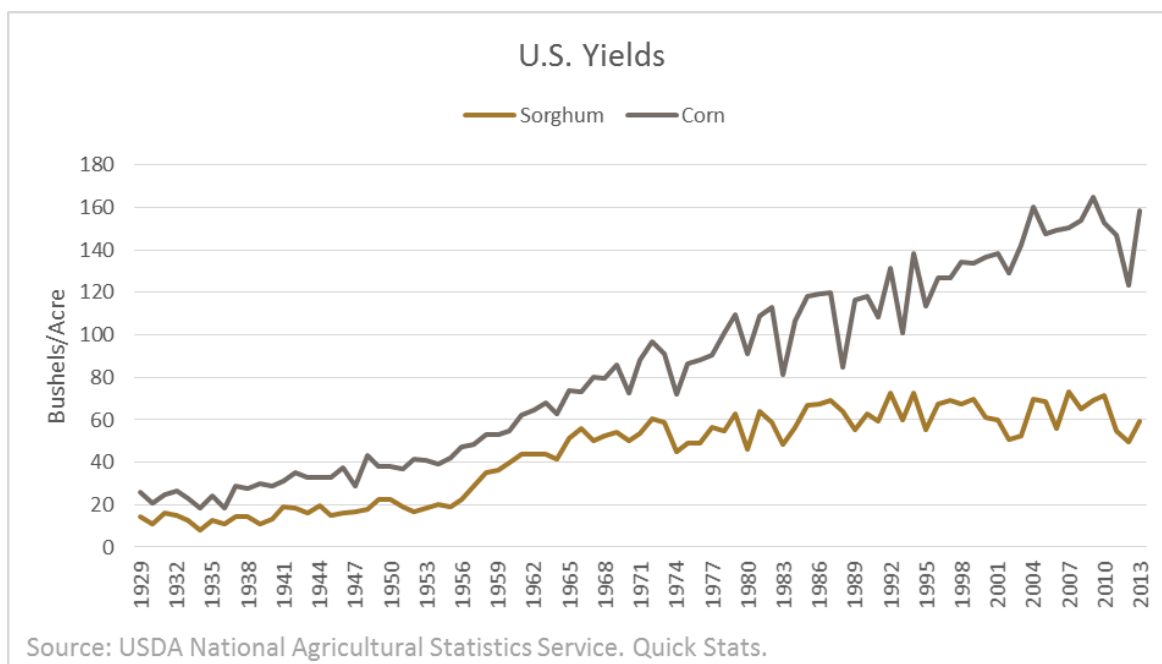
Ve světě (obrázek 8) jsou největšími pěstiteli Spojené státy (17 % ze světové produkce), Nigérie, Indie a Mexiko. V Evropě je největším producentem Francie, Itálie a Španělsko (Hermuth, 2010).



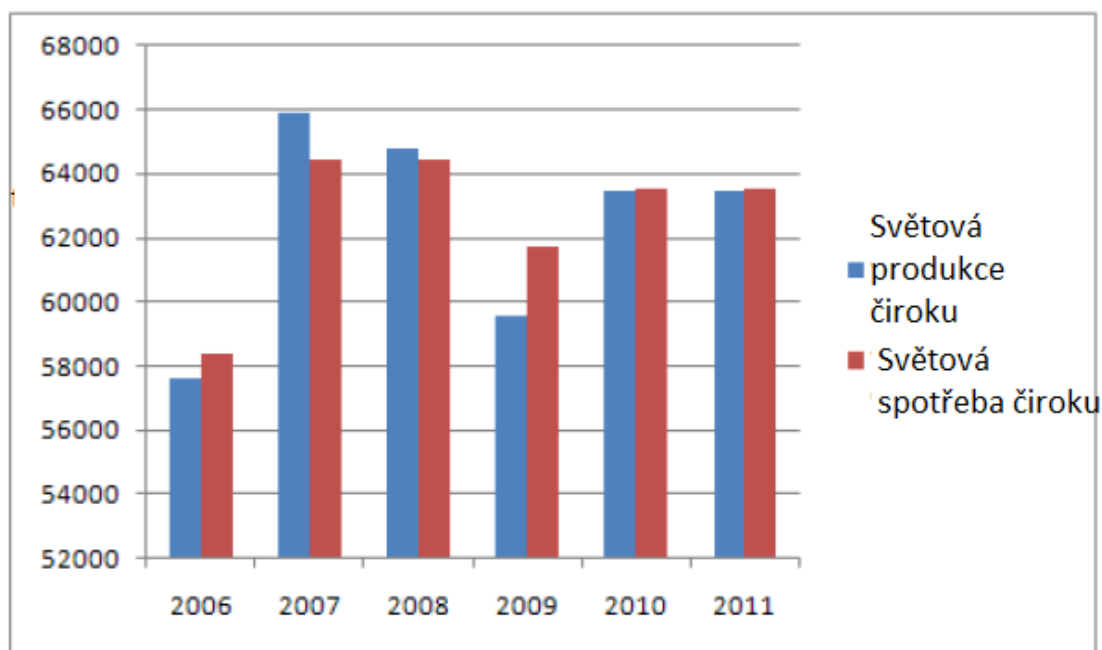
**Obrázek 8: Mapa pěstování čiroku**

Zdroj: [www.targetmap.com](http://www.targetmap.com)

Celosvětově je čirok pátou nejpěstovanější obilninou světa (obrázek 9). Jeho celková výměra ve světě dosahuje 60 milionů hektarů. Nejčastěji je pěstován zejména v Africe (Nigérie a Súdán), Asii a Indii (zde probíhá i šlechtění). V této oblasti je zároveň velmi důležitou plodinou ve výživě lidí. Největších výnosů dosahuje čirok v Evropě a USA – průměrně  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (obrázek 10). Tento výnos je dosahován díky intenzivní agrotechnice. Čiroku se zde dostává dostatečné hnojení, ochranu rostlin a v některých oblastech i zavlažování. Naopak nejnižších výnosů dosahuje tato plodina v Africe, kde je pěstován s minimálními vstupy (Chobotová a Prokeš, 2013). Stražil (1999) uvádí, že hlavním centrem distribuce vypěstovaného čiroku je Afrika.



**Obrázek 9: Výnos čiroku v buschlech na akr** (<http://ageconomists.com/>)



**Obrázek 10: Světová produkce a vývoz čiroku v tunách** (<http://www.zernoexport.com/>)

Většina osiva čiroku pochází ze zahraničí a jsou u nás distribuovány přes firmy, které se zabývají distribucí osiva (Kára a kol., 2005).

Čirok je rostlina C4 s malou velikostí genomu ve srovnání s kukuřicí. Plně sekventovaný genom představuje důležitý nástroj pochopení fungování jeho genomiky, které mohou přiblížit vývoj čiroku.

Možnosti využití čiroku jsou velmi široké. V potravinářském průmyslu je využíván čirok cukrový pro výrobu sirupů, cukrovinek, lihu, lihových nápojů a piva, protože snadno zkvašuje. Dále je jeho zrna určeno pro výrobu mouky, kaší a krup (Hermuth, 2010). V průmyslu je čirok využíván pro výrobu lepidel, olejů a škrobů (Martin a MacMasters, 1950). Čirok se také využívá jako krmivo pro drůbež i prasata a to hlavně v oblastech, kde je pěstován na velkých výměrách (Hermuth, 2010).

Z výživového hlediska je čirok zajímavou plodinou, jelikož je v něm uchovávána energie v podobě stravitelných polysacharidů a nikoli ve formě škrobu, jako například u brambor. Tím se tato plodina stává vhodným doplňkem ke krmné dávce. Jak Pištínek (2015) uvádí, krávy krmené 10 kg čiroku mají lepší metabolismus, který se následně pozitivně projeví i na kvalitě mléka.

Mimoprodukční využití čiroku je například výroba bioetanolu a bioplynu. K výrobě bioetanolu se využívají hlavně zrna a někdy i části rostlin. Naproti tomu pro výrobu bioplynu se zpracovávají celé rostliny, jelikož obsahují vysoký podíl vodorozpustných cukrů. Čirok, který je určený do bioplynových stanic, je potřeba nejdříve silážovat. Sklizeň takového čiroku probíhá v době mléčně-voskové zralosti a sušiny 28 – 38 %. Jedním z omezení čiroku v tomto využití je, že pro přeměnu na metan potřebuje dvakrát víc času než kukuřice (Chobotová a Prokeš, 2013; Hermuth, 2010).

### **2.2.2 Bér italský (*Setaria italica*)**

Bér italský je jednou z prvních domestikovaných plodin Asie. První zmínky o jeho pěstování pochází z období asi 6 tisíc let před Kr. a to z oblasti severní Číny v okolí Žluté řeky, odkud se nadále rozšířil do světa. Již císař Šen-nong (asi 2737 – 2699 př. Kr.) určil pět nejdůležitějších plodin pro Čínu a zařadil mezi tyto plodiny, které se považovaly za posvátné i bér (Austin, 2006).

Nálezy v Evropě, Blízkém a Středním Východě se datují do doby bronzové. Pro obyvatele starověkého Říma byl bér významnou obilovinou.

Ve světě se bér pěstuje v Číně, Indii, na Korejském poloostrově, Indonésii, Africe a jižních státech Evropy. Jedná se o druhu nejpěstovanější plodinu na světě zařazenou mezi prosa (Leder, 2004). V Asii je pěstován hlavně jako obilovina pro konzumní účely (mouka, placky, kaše apod.). V Číně, Koreji a Japonsku se využívá místo ječmene pro výrobu piva. Velmi často je bér využíván i jako pícnina a to buď na zelené krmení, nebo jako seno (Evropa, USA, Asie). Obilky béru je také možné využívat jako krmivo pro drůbež (Hermuth a kol., 2015).

Zrno je vhodné pro lidskou výživu podobně jako jáhly. Neobsahuje lepek, takže je vhodné i při bezlepkové dietě (Hermuth a kol., 2015).

Pro svou schopnost přizpůsobit se půdním a klimatickým podmínkám je pěstován po celém světě. Obilky béru se využívají v lidské výživě (kaše, chléb a alkoholické nápoje) a krmení drůbeže a okrasného ptactva. Spojené státy americké využívají svou produkci na seno ([www.fao.org](http://www.fao.org), 2015).

Šlechtění béru se uskutečňuje především v Číně a Indii. Hlavními šlechtitelskými cíli jsou vytvoření vysoko produkční odrůdy, které produkují obilky bohaté na bílkoviny a jsou resistantní k chorobám, škůdcům a poléhání a jsou adaptované k místním agro-ekologickým podmínkám. Např. v Číně byla vytvořena odrůda, která je velmi raná a tolerantní k suchu a chladu. To ji předurčuje k výsevu po sklizni ozimé pšenice (Brink a Belay, 2006).

V ČR se šlechtění provádí pouze ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. (VÚRV, v.v.i.) v Praze. V Genové bance (GB), která je součástí VÚRV, v.v.i., se nachází kolekce genetických zdrojů béru. Šlechtění probíhá formou selekce. V roce 2014 byla udělena ochranná práva k odrůdě RUBERIT (Hermutha a kol., 2015).

V mírném klimatu se pěstuje v nižších nadmořských výškách. Bér není původně suchovzdorná plodina, ale díky krátké vegetační době je schopen růst a dozrávat i v podmínkách, kdy je suma srážek pouze 125 mm. Nároky na půdu jsou podobné jako u prosa, netoleruje chladné a podmáčené půdy. Dává přednost výhřevným písčitohlinitým půdám, v teplejších oblastech i těžším. Jako každá rostlina ocení dobrou půdní strukturu, dostatek

přijatelných živin a půdní reakci v intervalu pH 6-7. Nejlepší podmínky pro pěstování bėru v rámci ČR jsou tedy v kukuřičné oblasti a na středně těžkých půdách řepařské oblasti (Brink, 2006; Petr a kol., 2008).

Bėr italský může být využíván jako krmivo. Jeho sláma je ideální pro dobytek kvůli jeho vysoké výživové hodnotě. Navíc jeho sláma je relativně měkká a snadno stravitelná pro dobytek (Cheng a Dong, 2010).

Biomasa bėru je vhodná i jako zdroj pro bioplynové stanice. Bioplyn má velmi pozitivní efekt na prostředí, protože se při jeho spalování vytváří méně CO<sub>2</sub> než při fotosyntéze rostlin, ze kterých je vyroben (Mursec a kol., 2009).

Rostliny čiroku jsou robustnější a delší dobu si zachovávají fotosyntetickou aktivitu listového aparátu, čímž se prodlužovala doba vegetace. To by mohlo být problémem v pěstebních podmínkách ČR k získávání materiálu o doporučené sušině vhodné pro bioplynové stanice. Odrůdy bėru jsou vzhledem ke kratší vegetační době vhodnější do oblastí s limitovanou vegetační dobou. Propojením pěstování těchto dvou plodin by se dala vytvořit kontinuita plynulé dodávky kvalitní biomasy pro bioplynové stanice (Hermuth a kol., 2015).

## 2.3 Obecná charakteristika stresu

Z biologického hlediska je obtížné definovat stres, protože stav, který se může objevit jako napětí pro jednu rostlinu, může být optimální pro jinou. Nejpraktičtější definice biologické zátěže je nepříznivý stav, který inhibuje normální fungování a blahobyt v biologickém systému, jako je například rostlina (Mahajan a Tuteja, 2005). Obvykle se termín stres používá k označení stavu, kdy je rostlina pod vlivem stresorů. Stresory (stresové faktory) představují různé negativní dopady na životní prostředí, které vážně ohrožují rostliny. Mohou inhibovat důležité funkce rostlin, poškozovat jejich orgány nebo dokonce vést ke smrti rostliny (Wang a kol., 2008).

Podle Ashrafa a kol. (2005) má stres přesnou definici fyzikální vědy, popisují sílu na jednotku plochy, která jedná na základě materiálu, navozující napětí a vede k rozměrové změně.

Stresory a stresové faktory se dají kvalifikovat jako extrémní podmínky prostředí a mohou vyvolat změny ve fungování rostlin v takové míře, že vedou k inhibici růstu, fyziologické aklimatizaci, přizpůsobení druhu na dané stresové faktory nebo nějaké kombinace těchto změn (Nilsen a Orcutt, 1996).

Rostliny v ekosystémech jsou současně vystaveny abiotickým a biotickým stresům, které omezují růst a vývoj rostlin. Komplexní odpovědi na toto napětí jsou do značné míry upraveny rostlinnými hormony, které organizují různé biochemické a molekulární dráhy a manévrují tak s tolerancí rostlin ke stresu. Protein PR - 10 se podílí na odpovědi rostlin na stres, růst a vývoj rostlin (Agrawal a kol, 2016).

Intenzita stresu (tlak na změnu, kterou působí stresor) se nedá snadno rozpoznat. Stres se může vyskytovat na nízké úrovni a vytvářet podmínky, které jsou jen nepatrně odlišné od optimálních podmínek a proto lze očekávat malý projev stresu. Nicméně v případě, že nízký stres trvá dlouhou dobu, stává se chronickým stresem a fyziologie rostlin se bude pravděpodobně měnit. Na rozdíl od stavu, který by mohl vést k akutnímu stavu rostliny. Tento šokový stres je pravděpodobně vyvolán dočasnými změnami v krátkém časovém období. Dobrým příkladem je protein tepelného šoku (HSP), který se objevuje krátce po rychlém nárůstu teploty a zmizí krátce poté, co skončí působení šoku (Orcutt a Nilsen, 2000).

Podle Hniličky a Bláhy (2006) se zdá, že stále existuje mnoho možností, jak zlepšovat hospodářský výkon rostlin, tak toleranci rostlin k vnějším negativním podmínkám. Jednou z dosud relativně málo využívaných možností, je i zlepšování kvality semen a kořenového systému rostlin.

Dále tito autoři uvádějí, že i sebelepší odrůda určité plodiny bez dostatečně vyvinutého kořenového systému ve zhoršených podmínkách vnějšího prostředí nevykazuje odolnosti a rezistence vůči stresorům (jak fyzikálně-chemickým, tak k biotickým), mají snížený výtěžek ve srovnání s odrůdami s mohutnějším kořenovým systémem.

Bylo prokázáno, že u kořenů vystavených stresu suchem dochází k výraznému poklesu aktivity enzymů mitochondriálního řetězce, a tím i k výraznému snížení jejich vitality. U kořenů smrku ztepilého, vystavených 24 hodinovému stresu suchem, činil pokles vitality oproti vitálním kořenům až 84% (Ruf a Brunner 2003).

Na reakcích kořenů rostlin na stres nedostatkem kyslíku, jak bude popsáno níže, se významně podílí také působení etylenu a IAA (kyselina indol-3-octová) (Nilsen a Orcutt 1996).

Obecně platí, že stresové faktory mohou být rozděleny do dvou hlavních skupin: abiotických a biotických. Stres, který je výsledkem změn fyzikálních vlastností prostředí, je často kvalifikováno jako environmentální stres (Qureshi a kol., 2007). Abiotické a biotické stresy jsou obvykle rozděleny do několika kategorií (Kadukova a Kavulicova, 2010).

Rostliny jsou organismy, které jsou vázány na stanoviště, a proto se nemohou vyhnout vystavení nepříznivým vlivům prostředí. Musejí tedy využít jiných způsobů obrany. V zásadě se jedná o dvě základní reakce – vyhýbání se stresu a toleranci vůči stresu (Flowers, 2004).

Například rostliny rostoucí v půdách bohatých na kovy často trpí suchem, hlavně kvůli půdním podmínkám a mělkému kořenovému systému (Taulavuori a kol., 2005). V případě rostlin komplikuje stres skutečnost, že rostliny nemohou uniknout od stresu změnou místa. Proto byly rostliny nuceny vyvinout řadu molekulárních reakcí, aby se vyrovnaly se stresory. Reakce rostlin na stres není stálá nebo jednoduchá. Jedná se spíše o dynamický komplex mnoha reakcí, které vytvářejí komplexní síť signálních drah (Shao a kol., 2007).

Po vystavení rostlin abiotickému či biotickému stresu dochází k významným fyziologickým a biochemickým změnám v jejich pletivech, díky kterým mohou odolat těmto stresům. Výzkum na DNA úrovni či mRNA úrovni přinesl významné informace o těchto procesech, je ovšem zřejmé, že množství transkriptů určitého genu nemusí vždy odpovídat úrovni kódovaného proteinu v pletivu a tedy stavu rostlin (Gygi a kol., 1995).

Proteom odráží skutečný fyziologický stav daného systému a tím nám umožňuje zkoumat procesy, které jsou významné pro přežití organismů vystavených např. suchu, chladu nebo patogenům (Aebersold a Goodlett, 2001).

Proteomická analýza je velmi užitečným nástrojem pro poskytování komplexních informací o rozdílech v proteomu rostlin během abiotických a biotických stresech. Tyto údaje nám mohou ukázat složitost reakce rostlin na různé environmentální stresové faktory a pomůže nám nalézt biomarkery tolerance rostlin ke stresu. Toho mohou následně využít šlechtitelé rostlin. Dále je také možné identifikovat neznámé patogeny, kvalifikací různých

kultivarů nebo vyhodnotit kvalitu rostlinných produktů s použitím moderní proteomické techniky (Kosová a kol., 2007).

Fyziologická definice a vhodný termín pro stres jsou uváděny jako reakce na různé situace. Flexibilita normálního metabolismu umožňuje vývoj odpovědí environmentálních změn, které pravidelně kolísají v závislosti na denních a sezónních cyklech (Shao a kol., 2008).

Pochopení fyziologických, molekulárních a biochemických účinků těchto stresorů představuje první krok směrem k vývoji strategií pro stres - rezistentní genotypy. Nalezení DNA markerů diagnostikovaných pro toleranci na hliník, sucho a může být výchozím bodem pro určení specifických genů zodpovědných za rozdíly v reakcích rostlin na toxický hliník, sucho a úrovně zasolení (Ashraf a kol., 2005).

Mnoho abiotických stresů je vzájemně propojeno, a proto mohou způsobovat podobná buněčná poškození. Například sucho a zasolení jsou vnímány jako osmotický stres, což vyústí v porušení homeostázy a distribuce iontů v buňce. Oxidační stres naopak často doprovází stres vysokými teplotami, zasolením či suchem a může způsobit denaturaci funkčních a strukturních proteinů. V důsledku toho různé environmentální stresy často aktivují podobné signální dráhy a buněčné odpovědi (Wang a kol., 2008).

Glycin betain (GB) a prolin jsou dvě hlavní složky organických osmolytů, které se hromadí u různých rostlinných druhů jako odezva na vlivy okolního prostředí, jako je sucho, zasolení půdy, extrémní teploty, UV záření a těžké kovy. Ačkoliv jejich skutečná role v rostlinné osmotoleranci je sporná, obě sloučeniny mají pozitivní vliv na enzymy a membránové integrity spolu s adaptivními rolemi ve zprostředkovávání osmotických úprav v rostlinách pěstovaných za stresových podmínek. Zatímco mnohé studie prokázaly pozitivní vztah mezi akumulací GB a prolinu a tolerance vůči stresu rostlin, někteří argumentovali, že zvýšení jejich koncentrace pod tlakem je produktem nikoli adaptace, ale reakce na stres (Ashraf a Foolad, 2007).

Takovéto snížení růstu vede ke zpoždění doby kvetení a snižuje výnos (Munns a Tester, 2008). Kromě těchto dlouhodobých účinků je přechodná ztráta buněčného turgoru, který je příčinou náhlých změn vodního provozu. Rozpuštěné soli ve vodě způsobují, že je půdní potenciál negativnější a proto je absorpce vody z kořenů obtížnější (Munns, 2002).



Kromě snížení tempa růstu, došlo také k zúžení průduchů v rostlinách pro správné hospodaření s vodou (Jones a Jongen., 2008). Uzavírání průduchů omezuje příjem CO<sub>2</sub>, což má za následek sníženou fixaci uhlíku a asimilaci v listovém pletivu. Sacharidy vznikající během fotosyntézy se tedy sníží, což má vliv na růst rostlin a výnos plodin. Některé rostliny kompenzovaly snížení CO<sub>2</sub> tím, že rozvíjí listy, které jsou menší, tlustší a mají více hustě zabalené chloroplasty, ale toto má pro rostlinu vysoké energetické náklady (Munns a Tester, 2008).

Rostliny ve vysušené půdě a/nebo bez vzduchu musí omezit ztrátu vody a udržet pozitivní rovnováhu vody ve výhonech a kořenech. Průduchy jsou iniciovány k uzavření a růst listů se sníží, aby se omezila listová plocha, ze které může být voda vypařována. Tyto změny nastávají v návaznosti na velmi citlivé reakce na změny v rhizosféře (Sobeih a kol., 2004).

Kombinace několika stresových faktorů je normální věc a jsou označovány jako vícenásobný stres (Schulze a kol., 2005).

Jakýkoliv nepříznivý stav nebo látka, která ovlivňuje nebo blokuje rostlinný metabolismus růstu nebo vývoje, je považováno za napětí. Vegetace může být ovlivňována různými přírodními a antropogenními stresovými faktory. Člověk musí rozlišovat mezi krátkodobými a dlouhodobými účinky stresu. Za podmínek nízkého působení stresu, může docházet k částečné kompenzaci výnosu tím, že se rostliny aklimatizují a adaptují. Za silného stresu nebo chronických stresových událostí způsobí značnou škodu, která může nakonec vést k poškození buněk a následně ke smrti rostliny (Lichtenthaler, 1998).

Jak dále tento autor uvádí, bylo v devadesátých letech minulého století vyvinuto několik neinvazních metod snímání fluorescence chlorofylu s různými parametry na biomonitor stresových omezení v rostlinách a jejich poškození fotosyntetického aparátu. Tyto metody fluorescence mohou být využívány opakovaně na stejné rostlině nebo listu (např. před a po stresových podmínkách).

Adaptace rostlin na stres životního prostředí je také závislá na aktivaci kaskády molekulárních sítí zapojených do vnímání stresu, signální transdukci a expresi specifického stresu genů a metabolitů. V důsledku toho jsou sestaveny geny, které chrání a udržují

strukturu buněčných složek a mohou tak zvýšit odolnost vůči stresu (Vinocur a Altman, 2005).

Samotná stresová rezistence nemusí být způsobena jen abiotickými stresory, ale i biotickými stresory. Mohou ji totiž produkovat i elicitory, které právě patogenní organismy produkují a to složkami nebo fragmenty buněčných stěn, které vznikají jako produkt enzymatického štěpení v důsledku patogeneze. Tyto produkty slouží jako sekundární elicitory obranných reakcí. Indukovanou rezistenci lze vyvolat i jinými elicitory (Angelova a kol., 2006). Jak Radman a kol. (2003) uvádějí, jsou elicitory klasifikovány jako fyzikální nebo chemické, biotické nebo abiotické a komplexní nebo vymezené v závislosti na jejich původu a molekulární struktuře.

Biotické stresy vznikají interakcí mezi organismy, zatímco abiotické stresy jsou ty, které jsou závislé na interakci mezi organismy a fyzického prostředí (Ashraf a kol., 2005).

## 2.4 Vodní stres

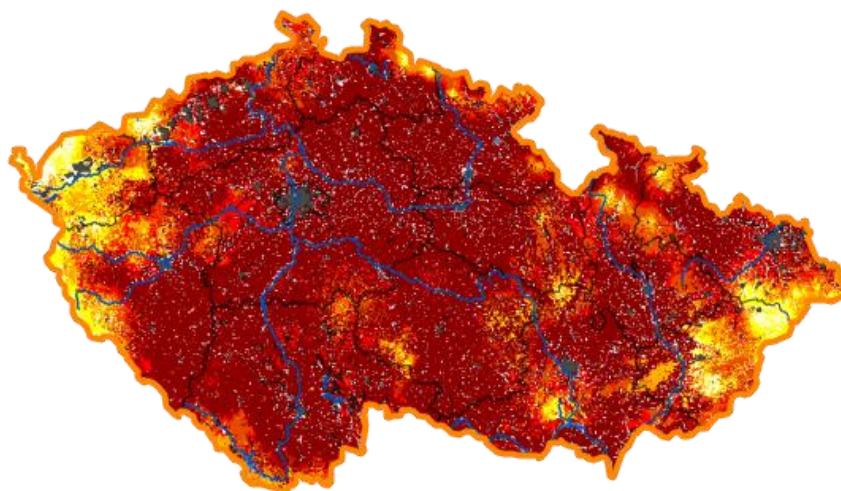
Sucho je často označováno jako „plíživý jev“ a jeho vliv se liší od regionu k regionu. Sucho je těžké definovat, a proto ho lidé špatně chápou (www.intersucho.cz, 2016).

Sucho je velmi neurčitý, avšak v meteorologii a klimatologii často užívaný pojem, znamenající v zásadě nedostatek vody v atmosféře, půdě či rostlinách. Jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení sucha neexistují, a to zvláště s ohledem na rozmanitá hlediska meteorologická, hydrologická, zemědělská, pedologická, bioklimatologická a celou řadu dalších faktorů, z nichž mezi nejvýznamnější patří škody způsobené suchem v různých oblastech národního hospodářství. Definice sucha proto není zdaleka jednotná a podle příčin a dopadů ho můžeme charakterizovat z několika pohledů (www.chmi.cz, 2016).

Podle Českého hydrometeorologického (2016) ústavu je sucho většinou jevem nahodilým, který se vyskytuje z velké části nepravidelně v období podnormálních srážek s trváním od několika dní až po několik měsíců. Srážkový deficit v určitém časovém intervalu a na určitém místě je v podmínkách České republiky bez výjimky primární příčinou vzniku sucha. Sucho bývá velmi často doprovázeno nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu.

Důsledkem těchto faktorů je vyšší výpar (evapotranspirace) a další prohlubování nedostatku vody.

Půdní sucho lze obecně definovat jako nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, který způsobuje poruchy ve vodním režimu zemědělských plodin i volně rostoucích rostlin. Nedostatek vody ve svrchních částech půdního horizontu je důsledkem předchozího nebo ještě nadále trvajících sucha klimatického. Účinky půdního sucha se projevují u jednotlivých druhů rostlin různě, navíc vždy závisí na vývojové fázi rostliny, nárocích na vodu v různých obdobích vývoje, na stáří rostliny apod. Vlhkost půdy je vedle teploty půdy a teploty vzduchu nejdůležitějším meteorologickým faktorem ovlivňujícím vývoj rostlin. Je závislá na množství, intenzitě a časovém rozložení srážek, na výparu a na vlastnostech půdy, v hydrologii vyjadřovaných tzv. hydrolimity. Ke kvalifikovanému odhadu půdní vlhkosti na území ČR (obrázek 11) je vzhledem k jeho pedologické pestrosti a malé hustotě stanic s přímým měřením vlhkosti půdy nezbytné výsledky měření doplňovat hodnotami vypočtenými modelově (www.chmi.cz, 2016).



**Obrázek 11 - Stav nasycení půdy vodou k datu 16.8.2015 v ČR**

Zdroj: <http://www.intersucho.cz/cz/>

Dokonce i malé změny v zásobování vodou z půdy mohou zhoršit diurnální vzory, kde rostliny jsou náchylné k dehydrataci během dne, kdy jsou stomata otevřené a relativní vlhkost vzduchu je nízká, ale rehydratování probíhá v noci, kdy jsou průduchy zavřené. Pokud období sucha přetrvává a vysušení půdy se stává vážnějším, bude rostlina nakonec schopna udržet hydrataci tak, že nakonec zůstanou stomata zavřena. Takto se rostliny chrání před suchem. Pokud sucho přetrvává delší dobu, upravuje rostlina svůj růst a dehydrataci

ochranných mechanismů. Období sucha může zahrnovat i dodatečné stresové faktory, které následně ovlivní růst rostlin. Nicméně je stres suchem definován jako snížená dostupnost vody a snížený vodní potenciál (Kadukova a Kavulicova, 2010).

Voda je hlavní složkou většiny buněk a hraje důležitou roli v přežití všech živých organismů na Zemi od savců a rostlin až po mikroskopické formy života. Rostliny jsou nepohyblivé a často se vyskytují v náročných podmínkách, proto se musí do určité míry spoléhat na dodávky vody z půdy pro jejich růst a vývoj. Řada abiotických stresových faktorů souvisejících s vodním režimem půd, jako je sucho, salinita, chladové podmínky, mráz a záplavy. Prostřednictvím různých kořenových funkcí ovlivňují pomalejší tempo růstu, které vede k zakrslé formě, k metabolickým změnám, snížení výnosu, snížení klíčivosti rostlin a dokonce k smrti v extrémních podmínkách (Terragis.au, 2007).

Vodní stres rostlin způsobený suchem a studium suchovzdornosti je podle Zámečnickové (2000) v mnoha zemích klíčovým problémem. Zatímco u nás je pod závlahou 5 % zemědělských ploch, například v Izraeli a v jiných zemích je pod závlahou až 95 % zemědělských ploch.

Dostupnost vody je jedním z hlavních omezení produktivity rostlin (Boyer, 1982), a je jedním z hlavních faktorů, které upravují rozložení druhů rostlin. Více než 35 % zemského povrchu půdy je považován za suchý nebo semiaridní, zažívá srážení. Jedná se o půdy, které jsou nevhodné pro většinu zemědělských účelů. Oblasti, které mají dostatečné srážky, mohou být stále limitované vodou v prostředí. Srážky jsou málokdy uniformní. Všechny zemědělské regiony mají sucho (tj. omezenou dostupnost vody proměnné délky trvání) - v některých oblastech dochází k předvídatelnému "období sucha", zatímco ostatní oblasti zažívají nepředvídatelné období sucha. V zemědělských oblastech postižených suchem může být zkušenost se ztrátou výnosu až 50 % nebo i více (Wood, 2005).

Vývoj plodin, které jsou více tolerantní k deficitu vody, při zachování produktivity, se stane jedním z klíčových požadavků pro zemědělství v jednadvacátém století. Porozumění tomu, jak rostlinné buňky tolerují ztráty vody je nezbytným předpokladem pro rozvoj strategií, které mohou ovlivnit produktivitu zemědělských a zahradních plodin a přežití za těchto podmínek snižují dostupnost vody (Jenks a Hasegawa, 2005).

Všechny suchozemské rostliny vyžadují volné vody pro normální růst a vývoj. Jedna ze základních strategií pro přežití ve vodě je omezen prostředím a je schopen se tomu vyhnout. Mezofytní rostliny rostou v prostředí s dostatečnou vodou. U některých druhů xerofytních a xeromorfytních rostlin nedošlo k poškození za sucha, což bylo způsobeno tím, že udržují vysoký obsah vody v buňkách (například kaktusy) nebo vytvářejí zvlášť hluboký kořenový systém. Jiné druhy rostlin, včetně těch mezofytních a xerofytních, se brání proti suchu tím, že rychleji dokončují svůj životní cyklus. V prostředí, které je omezené zásobeností vody, je pro rostliny důležité vyhnout se stresu ze sucha. Fyziologové se ale více zajímají o rostliny, které jsou schopné suchu tolerovat (např. kukuřice) (Wood, 2005).

U nejrůznějších rostlin lze nalézt různé strategie, kterými se rostliny brání proti stresu suchem. Například lišejníky jsou schopny tolerovat ztrátu až 90 % vody a vstoupit do dormantního stavu, aniž by u nich došlo k poškození. Po ovlhčení jsou schopny rychle obnovit normální metabolickou aktivitu. U mezofytních rostlin ovšem v průměru větší než 30 % ztráta vody vede ke smrti. Účinnou adaptační strategií je také fixační cesta CAM u sukulentních rostlin nebo u jiných rostlin fixační cesta C4 (Mohr a Schopfer 1995).

Na rozdíl od C3 fotosyntézy, odezva C4 fotosyntézy na vodní stres byl méně prostudován navzdory významnému přínosu C4 rostlin do celkového počtu uhlíku a bezpečnosti potravin. Klíčovým rysem C4 fotosyntézy je provoz mechanismu CO<sub>2</sub> soustředěn v listech, které slouží k nasycení fotosyntézy a potlačení fotorespirace v normálním vzduchu (Ghannoum, 2009).

Důkazy naznačují, že C4 fotosyntéza je vysoce citlivá na vodní stres. S klesajícím stavem vody v listech, se snižuje rychlost asimilace CO<sub>2</sub> a vodivost průduchů a fotosyntéza prochází třemi po sobě jdoucími fázemi. Počáteční, zejména průduchová fáze, může, ale nemusí být detekována jako pokles míry asimilace v závislosti na okolních podmínkách. To je proto, že mechanismus akumulace CO<sub>2</sub> je dán schopností nasycení C4 fotosyntézy za relativně nízkých, mezibuněčných koncentracích CO<sub>2</sub>. Hlavní faktory nestomatální inhibice zahrnují sníženou aktivitu fotosyntetických enzymů, inhibice asimilace nitrátů, indukce předčasného stárnutí a změny v anatomii listu a ultrastruktury (Ghannoum, 2009).

Drtivá většina suchozemských rostlin, včetně těch hlavních polních a zahradnických rostlin, je považována za rostliny, které se suchu vyhýbají (Jenks a Hasegawa, 2005).

Vodní stres je hlavním problémem v zemědělství a schopnost odolávat takovému stresu je značně ekonomicky důležitá. Tolerance k vodnímu stresu zahrnuje subtilní změny v buněčné biochemii. Zdá se, že je výsledkem hromadění kompatibilních rozpuštěných složek a specifické proteiny, které mohou být rychle vyvolané osmotickým stresem. Četné fyziologické odezvy rostlin na nedostatek vody se obecně mění v závislosti s délkou vodního stresu (Shao a kol., 2008).

Hsiao (1973) dospěl k závěru, že vodní stres inhibuje růst rostlin různými fyziologickými a biologickými procesy, jako je fotosyntéza, transpirace, příjem iontů, sacharidy, metabolismus živin a hormony.

Deficit vody snižuje počet listů na rostlině a individuálně i velikost listů, snížení životnosti listu a snížení vodního potenciálu v půdě. Expanze listové plochy závisí na turgoru, teplotě a osvojit si energii pro růst, které jsou ovlivněny suchem (Bray, 1997).

Lynch (2012) pak uvádí v souvislosti s hledáním ideotypu kořenů kukuřice pro optimální příjem vody a živin termín „phenes“ charakterizujících určitý fenotyp, v tomto případě fenotyp kořenové soustavy. Hledání toho správného genotypu tedy neprobíhá jen cestou markerů pro QTL (mapování lokusů pro kvantitativní znaky), ale i pomocí hledání optimálního fenotypového projevu, které zahrnuje potřebnou komplexitu a výzkumníky vlastně nezajímají geny, ale konkrétní projev QTL genů.

Důležitým aspektem adaptace rostlin na klesající vodní potenciál půdy během prohlubujícího se sucha, je schopnost buněk jednotlivých orgánů rostliny osmoticky se přizpůsobit podmínkám snížené dostupnosti vody (Morgan a kol., 1992).

Ze všech abiotických faktorů, které omezují růst a produktivitu rostlinstva na naší planetě, stojí na prvním místě nedostatek vody. Samotný deficit vody zásadně limituje fyziologickou aktivitu rostlin a tvorbu biomasy. Zlepšení podmínek pro pěstování v suchých podmínkách se věnuje dlouhodobá pozornost. Nejcitlivější reakcí na nedostatek vody bývá u buněk fáze dlouhivého růstu. K měřitelnému zpomalení růstu dochází již při velmi malé ztrátě vody (Hnilička a Bláha, 2006).

Vodní potenciál se považuje za veličinu, která má vypovídací hodnotu o fyziologickém stavu rostliny. Proto byl a je velký zájem o spolehlivá, rychlá a pokud možno

nedestruktivní měření vodního potenciálu v různých částech rostliny (Šantrůček, 2003). Hodnota vodního potenciálu nás mimo jiné informuje o tom, zda a v jaké míře rostlina trpí stresem z nedostatku vody. U zdravých, dobře zavlažovaných rostlin se pohybuje vodní potenciál  $\Psi$  od - 0,2 do - 0,6 MPa, rostliny trpící suchem mají  $\Psi$  od - 2 do - 5 MPa (Šantrůček, 1998).

Podle Rufa a Brunnera (2003) bylo prokázáno, že kořeny, které byly vystaveny stresu suchem, vykazují pokles aktivity enzymů mitochondriálního řetězce. To má za následek výrazné snížení vitality.

Přístupy zahrnující poskytování závlahové vody nebo využívání kulturních metod pro zmírnění sucha jsou těžkopádné, neekonomické, nepohodlné a vyžaduje specifické znalosti. Biologické přístupy naopak jsou považovány za účinné při dosažení efektivního využívání vody v rostlinné produkci. Biologický přístup zahrnuje domestikaci a kultivaci plodin odolných na sucho a začlenění vlastností na odolnost proti suchu do rostlin prostřednictvím vhodných šlechtitelských nástrojů (Ashraf a kol., 2005).

Boyer (1982) uvádí, že v období sklizně v oblastech zasažených suchem se zdá, že není žádný způsob, jak zvýšit srážky během vegetace. Navíc pokud je jako jediné zavlažovací zařízení pouze hospodaření s vodou, je důležité využít poznatky správné zemědělské praxe tak, aby se zvýšila zásobenost vody v půdě. Tím by se měla zlepšit využitelnost vody nebo by mělo dojít k jiné metodě, která by rostlinám zajistila dobré podmínky při deficitu vody v půdě.

Vodní deficit nemusí být způsoben pouze nedostatkem vody, ale může jej zapříčinit také například nízká teplota nebo zasolení půdy (Hirt a Shinozaki 2004).

Na nedostatek vody reaguje rostlina zvýšeným růstem kořenů (na úkor nadzemních částí), silný vodní stres však již růst kořenů snižuje, protože rostlina nemá dostatek asimilátů (Haberle a kol., 2008).

Vodivost průduchů a rychlost asimilace  $\text{CO}_2$  na jednotku listové plochy se sníží, pokud dojde ke stresovým podmínkám. Dále je možné, že některé stresy mohou způsobit částečné zvýšení hladiny hormonu kyseliny abscisové (ABA) v listové epidermis (Jones a Jongen, 2008).

Podle Atwell a kol. (1999) je chemickým signálem pravděpodobně kyselina abscisová (ABA). Zavírání průduchů indukované ABA vede ke snížení vodivosti plynů, a tím i rychlosti fotosyntézy a transpirace. Opačný účinek na rostliny než ABA mají cytokininy (CK). Vliv cytokininů v chemické signalizaci vodního stresu a v regulaci otevřenosti průduchů a fotosyntetických procesů není dosud dostatečně objasněn.

Kyselina abscisová (ABA) je regulační molekulou, která se podílí na toleranci k suchu. Její hlavní funkcí je regulovat osmotický stres pomocí genů tolerance k buněčné dehydrataci a regulovat vodní bilanci pomocí svíracích buněk (Kaur a Gupta, 2005).

Mezi fytohormony patří také etylen, který způsobuje opadávání listů, což je spojeno s reakcí na vodní deficit (Hsiao, 1973). Dále také ovlivňuje procesy během klíčení, stárnutí listů a květů, prodlužovací růst a zrání ovoce (Argueso a kol., 2007). Etylen je reakcí rostlin na stres způsobený zaplavením, mechanickým poraněním, napadením hmyzem, zářením, vodním deficitem a mnoha dalšími stresy (Narayana a kol. 1991).

Farooq a kol. (2009) uvádějí, že  $\text{CaCl}_2$  může být využit jako primer u kukuřice. Priming se  $100 \text{ mg.l}^{-1} \text{ CaCl}_2$  zlepšuje výkon osiva hybridní kukuřice při teplotě klíčení  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Cao a kol. (2008) namáčeli osivo kukuřice v roztoku putrescinu. Jako optimální pro zlepšení klíčivosti při  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  považují koncentraci  $0,45 - 0,60 \text{ mM}$  putrescinu.

Jinou nadějnou látkou pro zlepšení tolerance k suchu je kyselina salicylová (Kang a kol., 2012). V polní praxi jsou pak již využívány mnohé přípravky, známé pod různými názvy (Sunagreen, Atonik, Hegit, Energen, Lexin a další).

Schopnost genotypů obnovit původní účinnost fotosyntetického aparátu poté, co u rostlin dojde k obnově normálního vodního režimu, je značně variabilní (Loggini a kol., 1999).



### 3. Cíle a hypotézy

Cílem práce je studium vlivu vodního deficitu na rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů juvenilních rostlin čiroku a béru. Vodní deficit výrazně ovlivňuje výměnu plynů a tím i druhotně samotný příjem živin. Při nedostatku vody je omezen růst a vývoj rostlin, čímž se zpomalí nebo, při velkém nedostatku úplně zastaví tvorba biomasy a generativních orgánů.

Z uvedeného vyplývají následující cíle práce:

1. Stanovit u vybraných genotypů čiroku a béru rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů (fotosyntéza, transpirace).
2. Stanovit genotypové rozdíly a rozdíly mezi druhy v reakci na působení vodního deficitu.
3. Stanovit rozdíly v rychlosti výměny plynů a fluorescence chlorofylů v závislosti na délce a rozložení vodního deficitu v průběhu vegetace juvenilních rostlin čiroku a béru.

Pro splnění cílů byly stanoveny následující hypotézy:

1. Existují rozdíly mezi genotypy v reakci na vodní deficit mezi čirokem a bérem.
2. Existují rozdíly ve fyziologické odezvě na vodní deficit a dobu jeho trvání u sledovaných druhů rostlin.
3. Existují genotypové rozdíly v rychlosti výměny plynů juvenilních rostlin čiroku.

Čirok byl vybrán z toho důvodu, že se jedná o C4 rostlinu, která se svým využitím velmi podobá kukuřici. Svůj potenciál by tedy mohl nalézt, jako náhrada dnes často pěstované kukuřice. Bér také rostlina C4. Jeho využití je spíše pro silážování a mohl by být využíván pro potřeby bioplynových stanic. Obě plodiny by měly být vhodné do velmi suchých oblastí a to hlavně tam, kde je pěstování kukuřice nevhodné kvůli její potřebě vody.

## 4. Metodika

U juvenilních rostlin vybraných genotypů čiroku a béru (fáze 5. listu) byl v částečně řízených skleníkových podmínkách sledován vliv vodního deficitu na rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů.

### 4.1 Charakteristika pokusného materiálu

Jako pokusný materiál byl vybrán genotypový soubor čiroku a béru. Genotypový materiál čiroku byl zastoupen genotypy 1216 (označen 121) a 304 a dále odrůdami Red a Ruzrok.

Odrůda Red byla vyšlechtěna v Jižní Africe před 60 lety. Výběr byl proveden z čiroku pěstovaného kmenem lidí, kteří jej využívali pro sladovnické účely. Tato odrůda má tedy velké využití v pivovarnictví, kdy je jeho slad velmi podobný ječnému sladu (Beta a kol., 2000).

Odrůda Ruzrok byla vyšlechtěna v České republice Výzkumným ústavem rostlinné výroby v. v. i. v Praze - Ruzyni. Jedná se o odrůdu, která byla vyselektována ze sběrů na pomezí Slovenska a Moravy. Jedná se o jedinou českou odrůdu ([www.vurv.cz](http://www.vurv.cz), 2016).

Genotyp 304 má plné označení IS 30485. Jedná se o genotyp pocházející z Indie, který je odolný proti chorobám ([npgsweb.ars-grin.gov](http://npgsweb.ars-grin.gov), 2016a)

Genotyp 121 je registrován pod označením Mf.G.F.:1216 , Dokok '. Svým habitem patří mezi méně vzrůstné genotypy, je rezistentní proti chorobám. Do genofondu genové banky byl zařazen v roce 1959, jako dar od Argentiny ([npgsweb.ars-grin.gov](http://npgsweb.ars-grin.gov), 2016b).

Bér byl zastoupen odrůdou Ruberit, která je jedinou vyšlechtěnou odrůdou této plodiny v České republice. Jeho šlechtění probíhalo ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby v.v.iv v Praze - Ruzyni ([www.vurv.cz](http://www.vurv.cz), 2016).

Osivo sledovaných genotypů čiroku a béru bylo získáno z Výzkumného ústavu rostlinné výroby v.v.i. v Praze - Ruzyni, z oddělení genové banky.

## 4.2 Založení pokusu

Pokus byl založen jako nádobový, kdy byly nádoby umístěny do částečně řízených podmínek skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Rostliny byly pěstovány za přirozených světelných podmínek. Rostliny byly vysívány metodou postupného výsevu po dobu 14 dnů. Rostliny čiroku a bérů byly pěstovány v pěstebních nádobách o rozměrech 11x11 cm, kdy v každé nádobě byla vždy jedna rostlina (obrázek 12).



**Obrázek 12: Založení pokusu**

Zdroj: foto autor

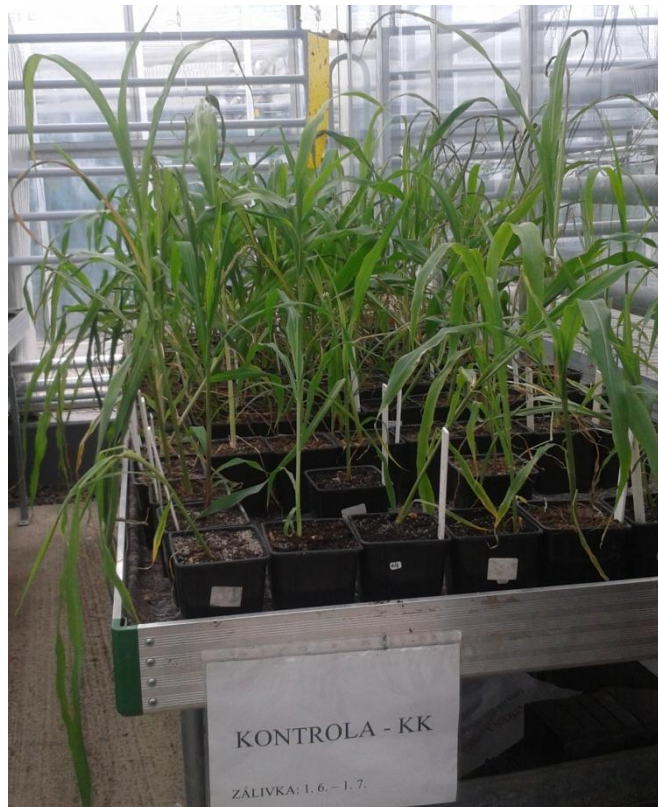
Juvenilní rostliny čiroku a bérů byly pěstovány v nádobách se směsí zahradního substrátu a písku, v poměru 2:1. Zahradní substrát je jemný (maximálně 10 % částic nad 10 mm), udržující vzdušnost prostředí, neslévavý, nezasolený, pH ve vodném roztoku 5,5 – 6,5, bez plevelů a škůdců, obsahující 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku. V nádobách byl zahradní substrát s upravenou reakcí, kdy jeho optimální pH je od 5,5 – 6. Spalitelné látky min. 35 %, částice nad 25 mm max. 5 %, N 80 – 120 mg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50 – 100 mg; K<sub>2</sub>O 100 – 150 mg. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg.kg<sup>-1</sup> sušiny: Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200.

Schéma pokusu zahrnovalo čtyři varianty. První varianta byla kontrolní (KK). U této varianty byly rostliny zavlažovány po celou dobu pokusu. Množství závlahy vody odpovídalo 70 % polní vodní kapacity, což znamená, že každá rostlina byla zalévána asi 250 ml vody (obrázek 13).

Druhá varianta byla představována jako KS a rostliny byly zavlažovány prvních deset dní. Poté následovalo období bez závlahy, navozeného postupným vysycháním substrátu (obrázek 14).

Třetí varianta měla označení SK. Tato varianta byla koncipována tak, že prvních deset dní pokusu byla stresována a od jedenáctého dne až do ukončení pokusu již byla zcela obnovena závlhka na úroveň kontrolních rostlin (obrázek 15).

Čtvrtá varianta byla označena SS. Takto označená varianta byla rozdělena do dvou identických časových bloků. První blok byl tvořen 10 dny navozeného vodního deficitu, který byl poté vystřídán obnovením závlhky na úroveň kontrolních rostlin po dobu 4 dnů. Po tomto období následoval druhý blok, který byl opět představován 10 dny vodního deficitu a 4 dny závlhky (obrázek 16). Pokus byl zahájen při vytvoření pěti pravých listů.



**Obrázek 13: Kontrolní varianta**

Zdroj: foto autor



**Obrázek 14: Varianta KS**

Zdroj: foto autor



**Obrázek 15: Varianta SK**





**Obrázek 16: Varianta SS**

## 4.3 Měření fyziologických charakteristik

### 4.3.1 Měření výměny plynů

Měření probíhalo na přístroji LCpro+ (obrázek 17). Tento přístroj pracuje na principu gazometrické metody měření. Jedná se o nejrozšířenější metodu měření výměny plynů. Správné technické provedení vyžaduje zajištění přesného a kontinuálního měření změn koncentrace  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  v expoziční komoře, což zamezuje přehřátí listů i při vysokých hustotách ozáření a případně umožňuje i regulovatelnost jejich teploty, a pomocné aparatury pro regulaci a měření průtoku vzduchu a jeho teploty, obsahu  $\text{CO}_2$  a vodní páry ve vzduchu (Nátr, 1998).

LCpro+ využívá nerozptýlené infračervené záření pro měření CO<sub>2</sub>. To vychází ze skutečnosti, že CO<sub>2</sub> absorbuje infračervené oblasti v poměru ke koncentraci plynu.

Plyny vstupující do komůrky (retenční) a analyzované plyny (vystupující z komůrky) jsou střídány s takzvaným nulovým plynem během měřicího cyklu, který trvá 16 - 20 sekund. Nulový plyn vzniká při průchodu vzduchu přes natronové vápno, který z něj odstraní veškerý CO<sub>2</sub>. Toto uspořádání zajišťuje měření CO<sub>2</sub> v referenčním i analyzovaném plynu (obrázek 18).

Přístroj automaticky zaznamenává hodnoty intenzity fotosyntézy, transpirace, sledoval teplotu, asimilační plochu, ozáření listové plochy uvnitř komůrky, koncentraci CO<sub>2</sub>, vodivost, datum a čas měření v minutových intervalech.



**Obrázek 17 - Přístroj LCpro+**

Zdroj: foto autor



**Obrázek 18: Retenční komůrka**

## 4.4 Stanovení rychlosti výměny plynů

Rychlost fotosyntézy a transpirace se vypočítá z průtoku a změny koncentrace plynů mezi vstupem a výstupem z komůrky.

Intenzita fotosyntézy  $A$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) se stanovuje podle následujícího matematického vztahu:

$$A = u_s \cdot \delta c$$

Průtok vzduchu listovou komůrkou na  $\text{m}^2$  listové plochy se označuje  $u_s$  a  $\delta c$  je rozdíl koncentrace  $\text{CO}_2$  na vstupu a výstupu.

Další měřenou charakteristikou je intenzita transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Intenzitu transpirace je možné stanovit na základě vztahu

$$E = u_s \cdot W$$

Průtok vzduchu listovou komůrkou na  $\text{m}^2$  listové plochy se označuje  $u_s$  a  $\delta w$  je rozdíl koncentrace vodní páry. 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  $0\text{-}2000 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  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 měřící komůrky měřené hodnoty automaticky zaznamenávány po dobu 10 minut v intervalu 30 sekund. Jako optimální byla nastavena teplota  $25$  °C a hustota ozáření  $650 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Měření rychlosti výměny plynů se uskutečnilo na základě metodických pokusů Holé a kol. (2012).

## 4.5 Stanovení efektivity využití vody

Poslední stanovenou charakteristikou je WUE ( $10^{-3}$ ). Jedná se o výpočet podle matematického vztahu:



$$WUE = A/E$$

Stanovení efektivity využití vody (WUE) bylo provedeno na základě metodických pokusů Zámečnicka a Zámečnickové (2005).

## 4.6 Měření fluorescence

U rostlin čiroku a bėru byla sledována fluorescence chlorofylu přístrojem OS 1- Fl. Jedná se o přenosný přístroj se kterým se měří parametry fluorescence chlorofylu a je ideální pro rychlé měření a hodnocení stresu (obrázek 19 a 20).



Zdroj: foto autor

**Obrázek 19 - Měření fluorescence**



Zdroj: foto autor

**Obrázek 20 - Klips na měření fluorescence**

Na listy rostlin byly umístěny klipsy, které se zde ponechaly po dobu 20 minut. Poté se do každé klipsy posvítilo OS 1 -Fl přístrojem (obrázek 21), který následně vyhodnotil

fluorescenci chlorofylu a data poté uložil. Měření probíhalo na pěti listech od každého genotypu ve všech čtyřech variantách pokusu, při zachování 4 opakování.

Hopkins (2004) uvádí, že rozšíření fotoinhibice vyvolané stresem v jakémkoliv prostředí, může být rychle hodnocena měřením poklesu optimálního kvantového výtěžku, který se vypočítá jako:

$$(F_M - F_0)/F_M = F_V/F_M$$



Obrázek 21 - Přístroj OS1 FL

Zdroj: foto autor

## 4.7 Statistické vyhodnocení výsledků

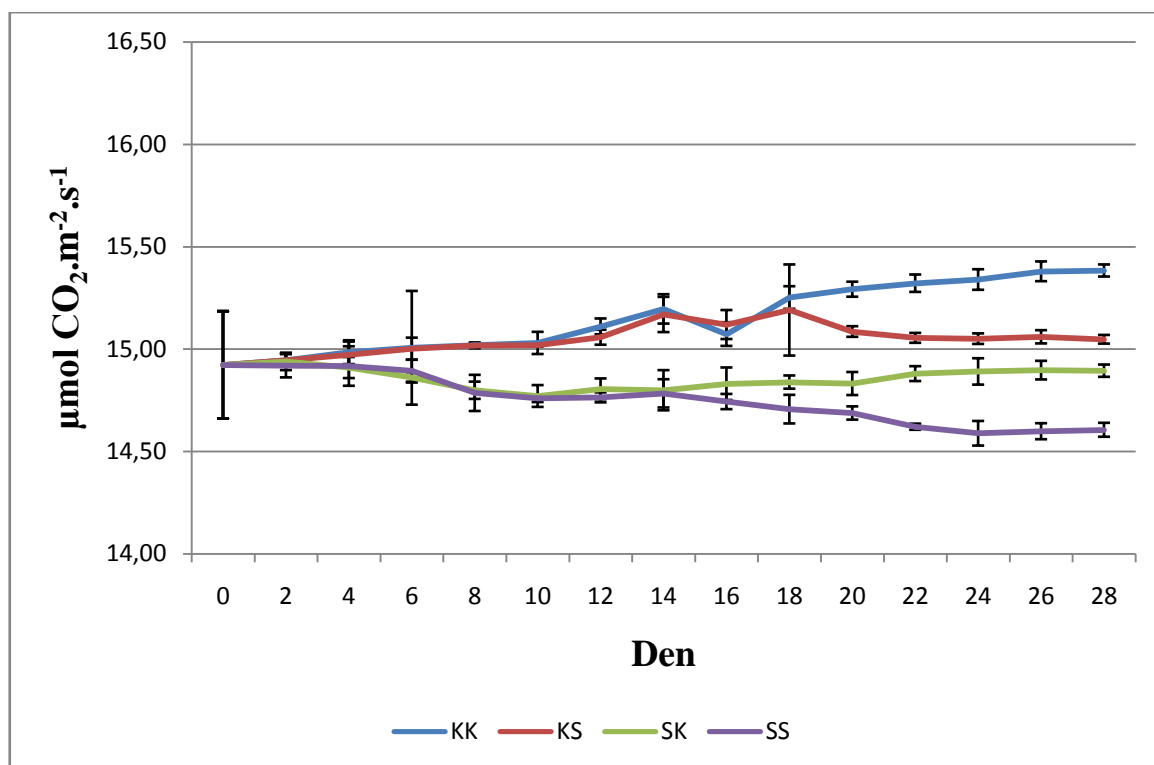
Pro statistické vyhodnocení dat byl použit program STATISTICA 12. Pro statistické zpracování dat byla použita Analýza rozptylu (ANOVA). Data byla testována při hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Počet opakování byl 4.

## 5. Výsledky

Pokusným materiálem byly juvenilní rostliny čiroku (genotyp 304 a 121, odrůdy Ruzrok a Red) a bėru (odrůda Ruberit), u nichž byl sledován vliv vodního deficitu na vybrané fyziologické parametry rostlin: rychlost výměny plynů, WUE a fluorescence chlorofylů.

### 5.1 Rychlost fotosyntézy

**Graf 1. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin bėru v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



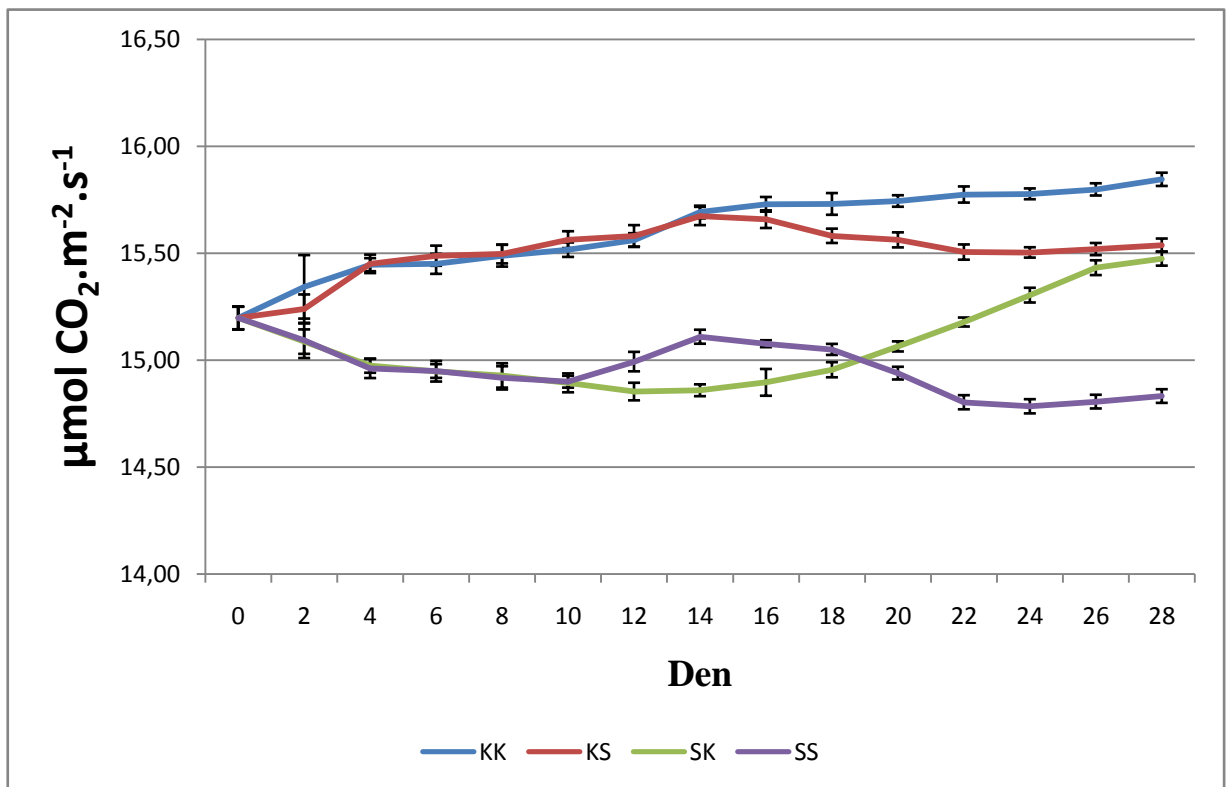
Z grafu 1 je patrné, že rychlost fotosyntézy u bėru se u kontrolních rostlin zvyšovala. Na počátku sledovaného období, ve fázi 5. listu, byly naměřené hodnoty rychlosti fotosyntézy ve výši  $14,92 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy  $15,38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Uvedené zvýšení výměny plynů bylo mezi jednotlivými termíny měření statisticky neprůkazné.

Rostliny pěstované ve variantě KS měly průběh měření podobný, jako u rostlin z kontrolní varianty. Tyto rostliny byly zavlažovány prvních 14 dní a následně až poslední 4 dny pokusu. Jak je z grafu patrné rychlost fotosyntézy se zvyšovala až do 14. dne pokusu a to na hodnotu  $15,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Po navození stresu se rychlost fotosyntézy snížila na hodnotu  $15,12 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . 18. den měření byla rychlost fotosyntézy na úrovni  $15,19 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , což byla nejvyšší naměřená hodnota ve variantě KS. V následujících měření se již více projevil vodní deficit, kdy rychlost fotosyntézy klesala až na hodnotu  $15,04 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , která byla naměřena 28. den pokusu.

Z grafu 1 je dále patrné, že rostliny ve variantě SK byly již od počátku pokusu ovlivněny vodním deficitem. Nejnižší naměřená hodnota u této varianty byla  $14,77 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a to 10. den pokusu. To odpovídá i době po kterou byly rostliny vystaveny stresu. Od následujícího měření (12.den) se začala rychlost postupně zvyšovat a to z  $14,80 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  až na  $14,89 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tato rychlost fotosyntézy byla naměřena 28. den. Uvedené hodnoty zvýšení mezi jednotlivými měřeními nemají statistickou průkaznost.

Ve variantě SS, ve které byly rostliny vystaveny vodnímu deficitu téměř po celou dobu pokusu, se tento stres projevil na rychlosti fotosyntézy. Toto postupné snižování mezi jednotlivými termíny měření není statisticky průkazné. Na počátku pokusu, ve fázi 4. listu, byla naměřena hodnota  $14,92 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Následující vývoj v rychlosti fotosyntézy byl shodný s rychlostí fotosyntézy ve variantě SK. Rozdíl nastal až 14. den sledovaného období, kdy hodnota klesla na  $14,78 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a nadále klesala. Nejnižší rychlost fotosyntézy byla naměřena 24. den, kdy dosáhla  $14,58 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poslední dvě měření se rychlost fotosyntézy mírně zvýšila a to až na hodnotu  $14,60 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Graf 2. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin široku genotypu 121 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



Z grafu 2 je patrné, že rychlost fotosyntézy u genotypu 121 se u kontrolních rostlin zvyšovala. Na počátku sledovaného období, ve fázi 4. listu byly naměřené hodnoty rychlosti fotosyntézy ve výši  $15,20 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a na konci pokusu byla zaznamenána rychlost fotosyntézy  $15,85 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Uvedené zvýšení rychlosti výměny plynů bylo mezi jednotlivými termíny měření statisticky neprůkazné.

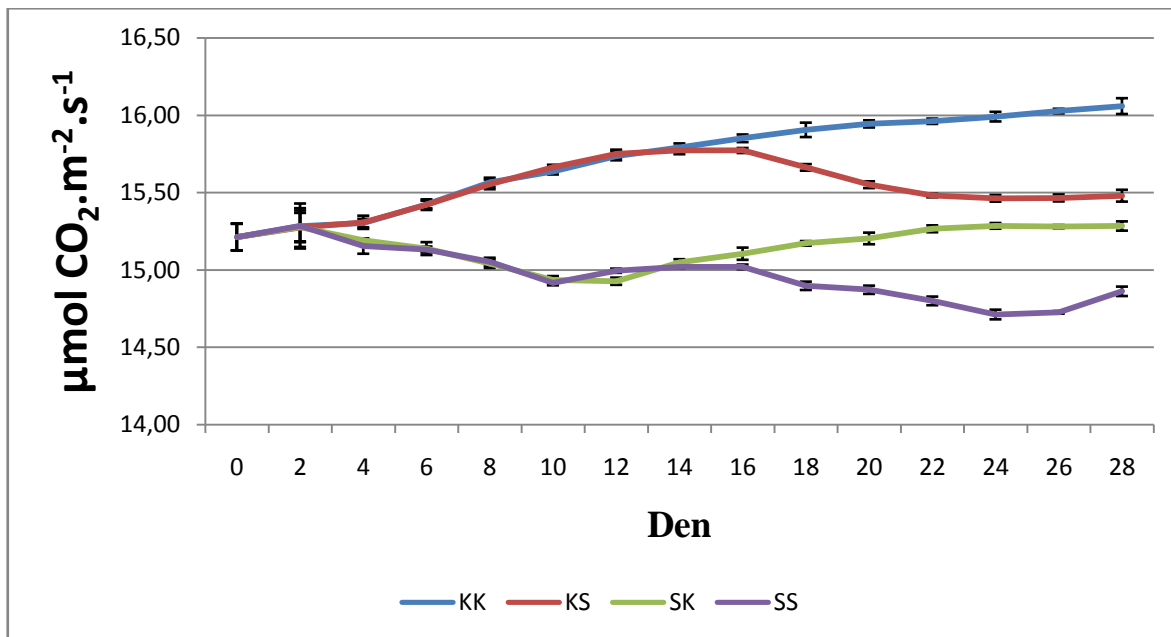
U rostlin rostoucích ve variantě KS byly změny rychlosti fotosyntézy v první části pokusu shodné s rostlinami kontrolními. V první části pokusu byly rostliny zavlažovány. Na začátku pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši  $15,20 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a na konci období závlahy byla  $15,67 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rychlost fotosyntézy se průkazně zvyšovala, avšak 2. den stresu se rychlost fotosyntézy neprůkazně snížila v porovnání s předcházejícím odběrem o  $0,09 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Po navození vodního stresu se rychlost fotosyntézy snížila na hodnotu  $15,50 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (24. den), což je snížení o  $0,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , ve srovnání s hodnotou předcházející. Vlivem postupné dehydratace substrátu se postupně

snižovala až do konce pokusu. Na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy  $15,53 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , jak dokládá graf 2.

Z grafu 2 je dále patrné, že u rostlin pěstovaných ve variantě SK byla rychlost fotosyntézy na počátku pokusu ve výši  $15,20 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Poté byly rostliny vystaveny postupnému vodnímu deficitu, kdy již druhý den po jeho navození bylo zaznamenáno snížení fotosyntézy na hodnotu  $15,09 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Tento pokles byl zaznamenán až do konce období působení vodního deficitu, kdy rychlosti fotosyntézy byla  $14,85 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . V porovnání se zahájením pokusu se rychlost fotosyntézy snížila o 2,3 %. Po navození rehydratace se naopak rychlost fotosyntézy průkazně zvyšovala. Na začátku rehydratace byla rychlost fotosyntézy ve výši  $14,89 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a na jejím konci  $15,47 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Avšak hodnoty fotosyntézy nedosáhly hodnot kontrolních rostlin, i přestože se jednalo o velmi výrazný nárůst rychlosti fotosyntézy.

Rostliny pěstované ve variantě SS vykazují nejprve pokles rychlosti fotosyntézy v závislosti na působení vodního deficitu. Tento trend je patrný mezi 0. dnem stresu ( $15,20 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a 10. dnem stresu ( $14,90 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Poté se, přestože vodní deficit ještě působil, rychlost fotosyntézy zvyšovala až na hodnotu  $15,10 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (14. den). Po navození čtyř dnů rehydratace byl zaznamenán neprůkazný pokles rychlosti fotosyntézy ve srovnání s posledním dnem vodního deficitu. Naměřená rychlost fotosyntézy byla  $15,08 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Po opětovném navození vodního deficitu se opět rychlost fotosyntézy snižovala, ale tento pokles ve srovnání s prvním obdobím působení vodního stresu nebyl tak výrazný. V tomto druhém období vodního deficitu byla rychlost fotosyntézy v intervalu hodnot od  $15,05 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (18. den) do  $14,78 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (24. den). Po obnovení závlivky se rychlost fotosyntézy neprůkazně zvyšovala až na hodnotu  $14,83 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (28. den), jak dokumentuje graf 2.

**Graf 3. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Ruzrok v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



Jak graf 3 ukazuje, rychlost fotosyntézy ve variantě KK se postupně zvyšovala. 0. den byla naměřena rychlost fotosyntézy  $15,21 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a na konci pokusu (28. den) se rychlost fotosyntézy dostala až na hodnotu  $16,06 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jednotlivá měření zvyšování rychlosti fotosyntézy ovšem nejsou statisticky průkazná.

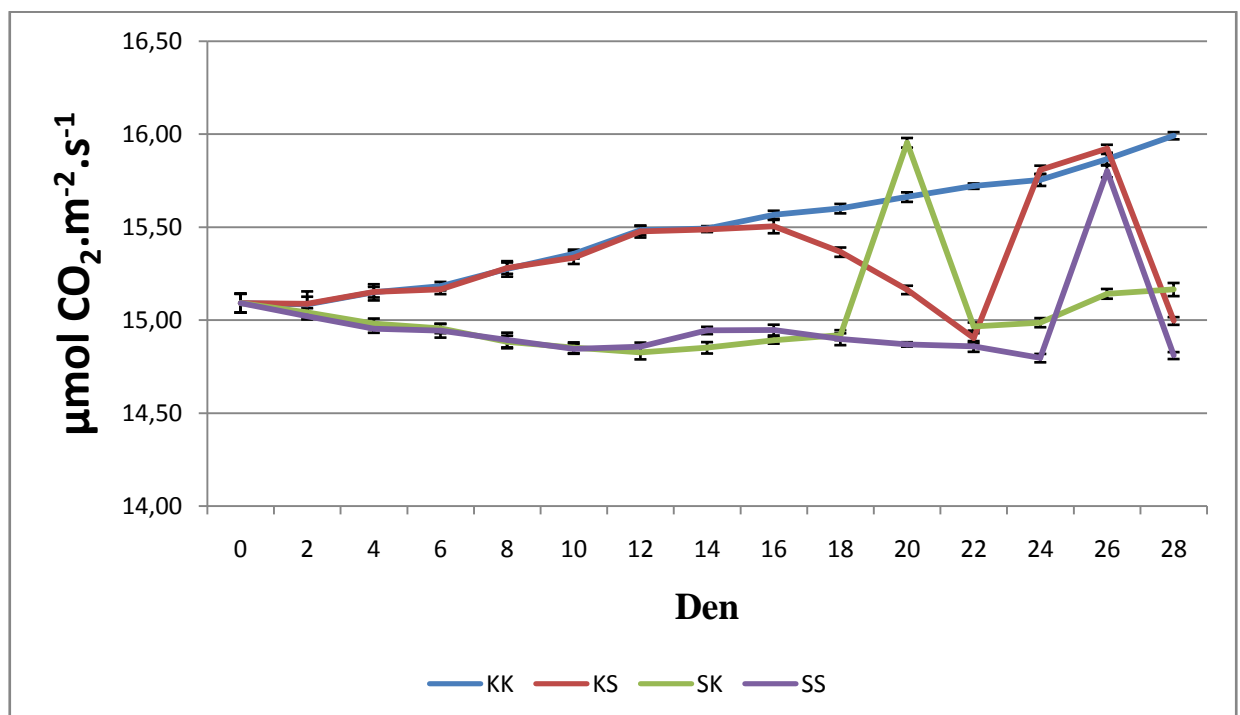
Ve variantě KS byly naměřené hodnoty rychlosti fotosyntézy shodné s kontrolní variantou. Na počátku pokusu byla naměřena hodnota  $15,21 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , která se zvyšovala a to až na rychlost fotosyntézy  $15,77 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tato hodnota byla naměřena 14. den, což byl poslední den závlahy. Rychlost fotosyntézy 18. den již poklesla na  $15,66 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a následně klesala a to až na  $15,46 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (24. den). V závěru sledovaného období se rychlost fotosyntézy neprůkazně zvýšila a 28. den dosáhla hodnoty  $15,48 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Rostliny z varianty SK byly vystaveny prvních 10 měření vodnímu deficitu a následně rehydratovány. Rychlost fotosyntézy byla na počátku sledovaného období  $15,21 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a následně postupně klesala a to až na hodnotu  $14,92 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , která byla naměřena 12. den pokusu. 14. den se rychlost fotosyntézy neprůkazně zvýšila na hodnotu  $15,05 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V tomto období rehydratace se

rychlost fotosyntézy postupně zvyšovala a to až na  $15,28 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (28. den). Celkový nárůst fotosyntézy v období zálivky činil 1,5 %.

Graf 3 znázorňuje postupný pokles rychlosti fotosyntézy ve variantě SS. Uvedené snížení rychlosti výměny plynů bylo mezi jednotlivými termíny měření statisticky neprůkazné. Vliv vodního deficitu je patrný od 2. den ( $15,28 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) do 10. dne ( $14,91 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Od 10. dne do 14. dne se uskutečnila rehydratace a rychlost fotosyntézy se zvýšila na  $15,02 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . 18. den ( $14,90 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) pokračoval trend snižování rychlosti fotosyntézy, kdy byl opět navozen vodní deficit, který trval až do 26. den ( $14,73 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) sledovaného období. Po druhé rehydrataci se rychlost fotosyntézy zvýšila na hodnotu  $14,86 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (28. den).

**Graf 4. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Red v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



Rostliny v kontrolní variantě (KK) vykazují postupné zvyšování rychlosti fotosyntézy, jak dokládá graf 4. Zvyšování mezi jednotlivými měřeními není statisticky průkazné. 0. den pokusu byla naměřena hodnota  $15,09 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a následně tato rychlost fotosyntézy se zvýšila až do 28. dne ( $15,99 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

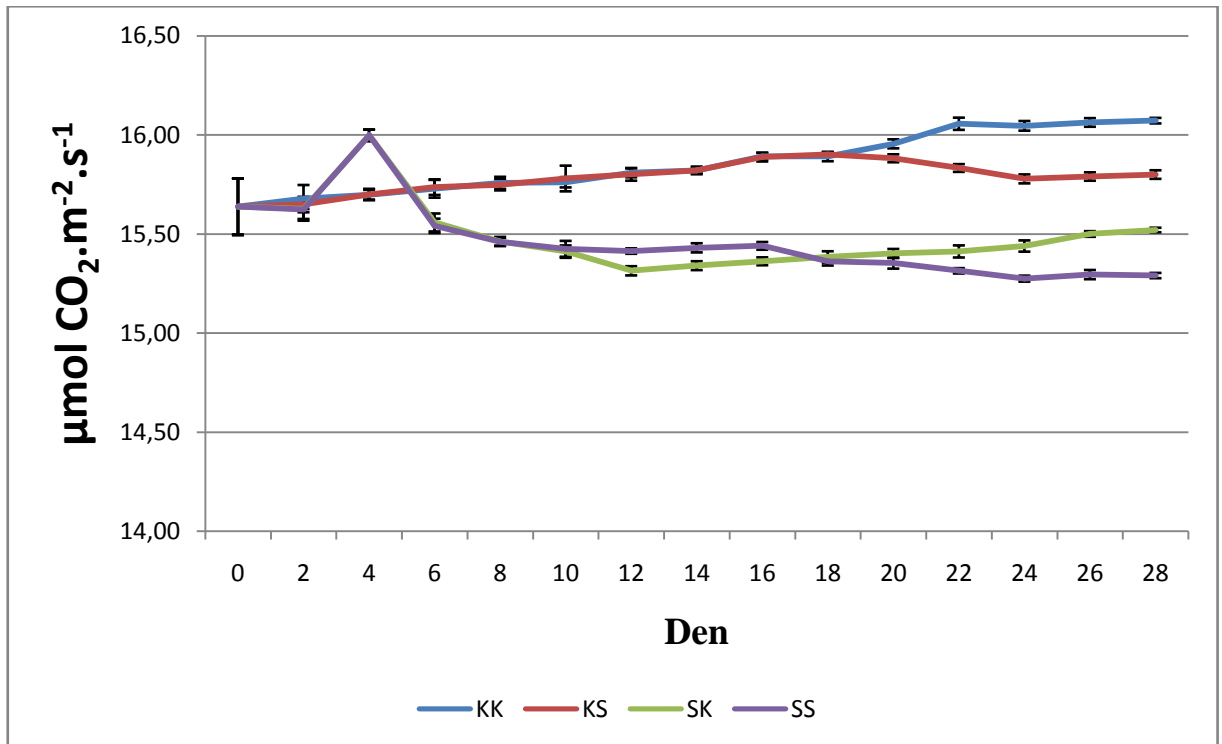


Ve variantě KS měly rostliny odrůdy Red stejnou rychlost fotosyntézy jako v kontrolní variantě. Rozdíl nastal až 16. den pokusu, kdy se rychlost fotosyntézy postupně snižovala a to z 15,50  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  až na 14,90  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (22. den). Vlivem závlivky se poté rychlost fotosyntézy zvýšila na hodnotu 15,92  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (26. den). V závěru měření se rychlost fotosyntézy snížila o 0,92  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu 15,00  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (28. den).

Z grafu 4 je patrné, že rostliny pěstované ve variantě SK měly stejnou rychlost výměny plynů, jako rostliny z varianty SS a to až do 18. den pokusu. Počáteční hodnota fotosyntézy byla 15,09  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0. den) a postupně se rychlost fotosyntézy snížila až na hodnotu 14,82  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (12. den). V následujících měřeních rychlost výměny plynů narůstala až dosáhla hodnoty 15,95  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (20. den). Již 22. den pokusu ovšem poklesla rychlost fotosyntézy o 0,98  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Od 24. dne (14,99  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) do 28. dne (15,17  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) se rychlost fotosyntézy neprůkazně zvyšovala.

Varianta SS měla na počátku sledovaného období rychlost fotosyntézy 15,09  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a následující měření se rychlost výměny plynů postupně snižovala až na hodnotu 14,86  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poté se mírně projevil vliv rehydratace a to tím, že se rychlost fotosyntézy navýšila na hodnotu 14,95  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V následujících měřeních byly rostliny odrůdy Red opět vystaveny vodnímu deficitu a proto se jejich rychlost fotosyntézy snížila až na 14,80  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V závěru pokusu se ještě projevila obnovená závlivka a to tím, že rychlost výměny plynů se zvýšila na hodnotu 15,80  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ovšem měření, které proběhlo 28. den pokusu zaznamenalo hodnotu nižší o 0,99  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Graf 5. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku genotypu 304 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



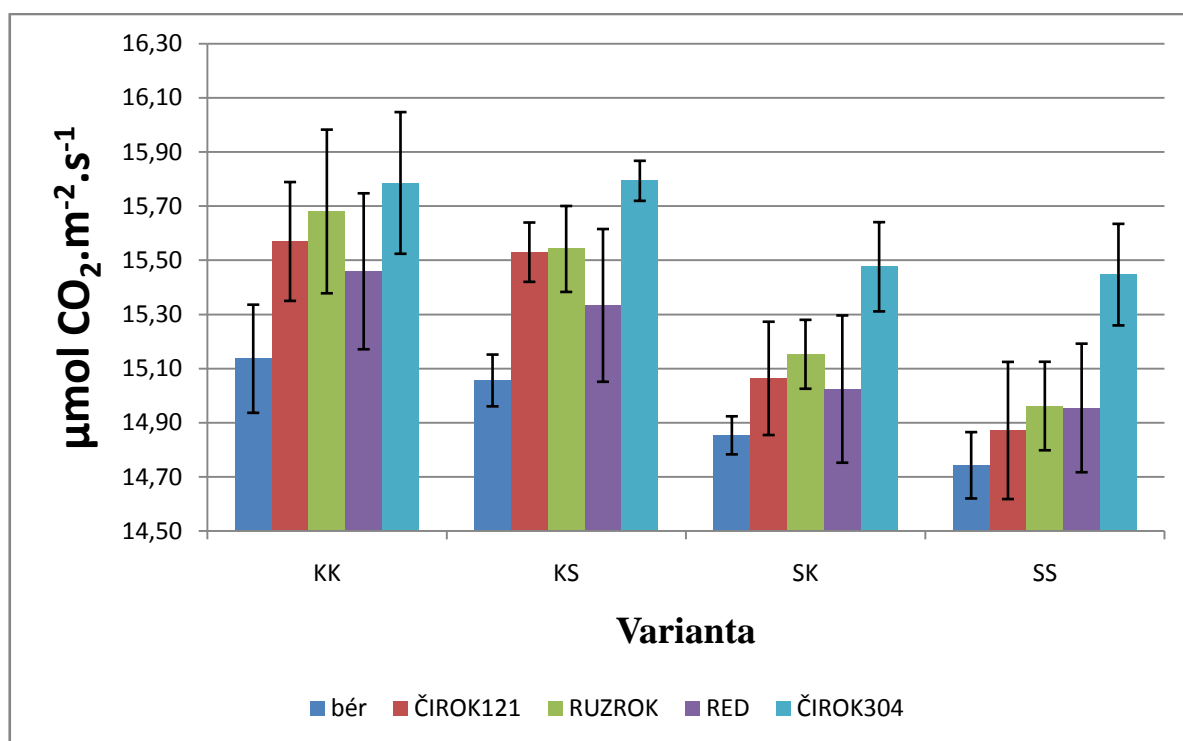
Z grafu 5 je patrné, že rostliny v kontrolní variantě vykazují během celého sledovaného období nárůst fotosyntézy. Počáteční hodnota fotosyntézy byla  $15,63 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a během následujících měření se postupně rychlost fotosyntézy zvyšovala až do 28. dne ( $16,07 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Celkový nárůst fotosyntézy byl o 2,8 %.

Varianta KS měla stejný průběh jako kontrolní varianta. 0. den byla fotosyntéza  $15,63 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a následně rostla a to až do 18. dne ( $15,90 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Navozený vodní deficit se projevil až 20. den sledovaného období a to poklesem rychlosti fotosyntézy na  $15,88 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V závěru pokusu se udržel klesající trend, neboť na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši  $15,80 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Rostliny ve variantě SK se svými změnami rychlosti fotosyntézy podobají variantě SS. Rychlost fotosyntézy 0. den byla  $15,63 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a poté se snižovala až do 12. dne ( $15,31 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). V porovnání se začátkem pokusu se jedná o snížení ve výši  $0,32 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Od následujícího měření se již projevila rehydratace na rychlosti fotosyntézy a to tak, že fotosyntéza 28. den dosáhla hodnoty  $15,52 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Graf 5 dokládá, že rostliny ve stresované variantě (SS) reagovaly na vodní deficit snížením rychlosti fotosyntézy. Počátek měření zaznamenal hodnotu fotosyntézy  $15,63 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . 4. den sledovaného období nastal statisticky neprůkazný nárůst fotosyntézy na hodnotu  $16,00 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Po tomto nárůstu se rychlost fotosyntézy opět snižovala a to až na hodnotu  $15,29 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , která byla naměřena 28. den pokusu. Od 4. listu, kdy začalo sledované období, do 28. dne bylo snížení rychlosti fotosyntézy o 2,2 %. U rostlin z genotypu 304 se ve variantě SS neprojevil vliv rehydratace.

**Graf 6. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku a béru v závislosti na variantě pokusu**



Jak je v grafu 6 uvedeno, byly průkazné difference v reakci u sledovaných genotypů na působení stresoru. Nejnižší průměrnou naměřenou fotosyntézu v kontrolní variantě, měly rostliny béru ( $15,14 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a nejvyšší průměrné rychlosti fotosyntézy dosáhl genotyp 304 ( $15,79 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Ve variantě KS byla průměrná rychlost fotosyntézy obdobná jako u kontrolních rostlin. Bér z varianty KS dosáhl průměrné hodnoty  $15,05 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Genotyp 304 dosáhl nejvyšší průměrné rychlosti fotosyntézy a to  $15,79 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Rostliny z varianty SK měly již rozdílnější průměrné hodnoty výměny plynů. Opět nejnižší naměřenou fotosyntézu měl bér ( $14,85 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Jak z grafu 6 vyplývá,

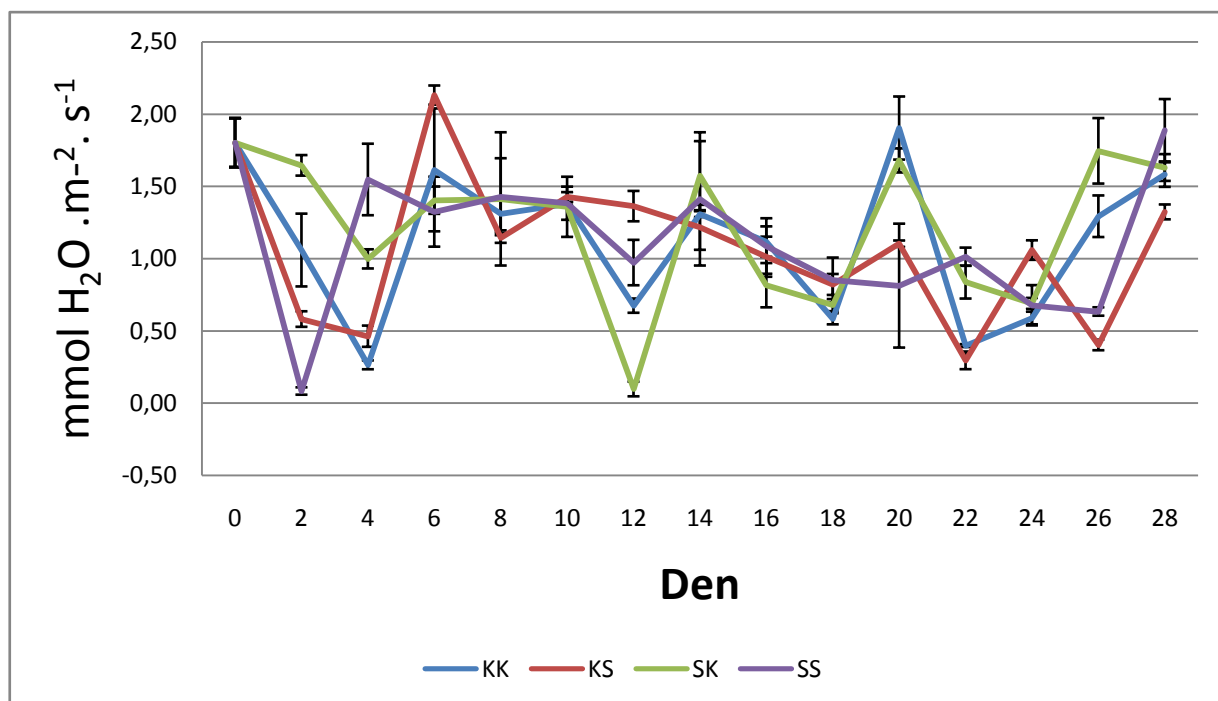
nejvyšší průměrnou rychlost výměny plynů ve variantě SK dosáhl genotyp 304 ( $15,47 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Rostliny z varianty SS vykazovaly relativně vyrovnané hodnoty rychlosti fotosyntézy. Nejvyšší průměrnou rychlost fotosyntézy z této varianty vykazuje genotyp 304, který měl průměrnou hodnotu  $15,44 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Naopak nejnižší fotosyntéza byla zjištěna u odrůdy Red ( $14,95 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Na stres citlivěji reagovala odrůda Ruzrok. Jako tolerantní vůči vodnímu deficitu se jeví genotyp 304. Rostliny odrůd Ruzrok a Red, genotyp 121 a rostliny béru dosáhly nejvyšší rychlosti fotosyntézy v kontrolní variantě a naopak nejnižší ve stresované variantě. Rostliny genotypu 304 měly nejvyšší rychlost fotosyntézy ve variantě KS a nejnižší ve variantě SS.

## 5.2 Rychlost transpirace

**Graf 7. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin béru v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



Z grafu 7 vyplývá, že rychlost transpirace béru byla v kontrolní variantě v počátku prvních dvou měření klesající a to z hodnoty  $1,80 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  na  $0,26 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . 6. den měření transpirace se zvýšila na  $1,61 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , ale poté opět klesala do 12. dne, kdy dosáhla hodnoty  $0,67 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Následující měření

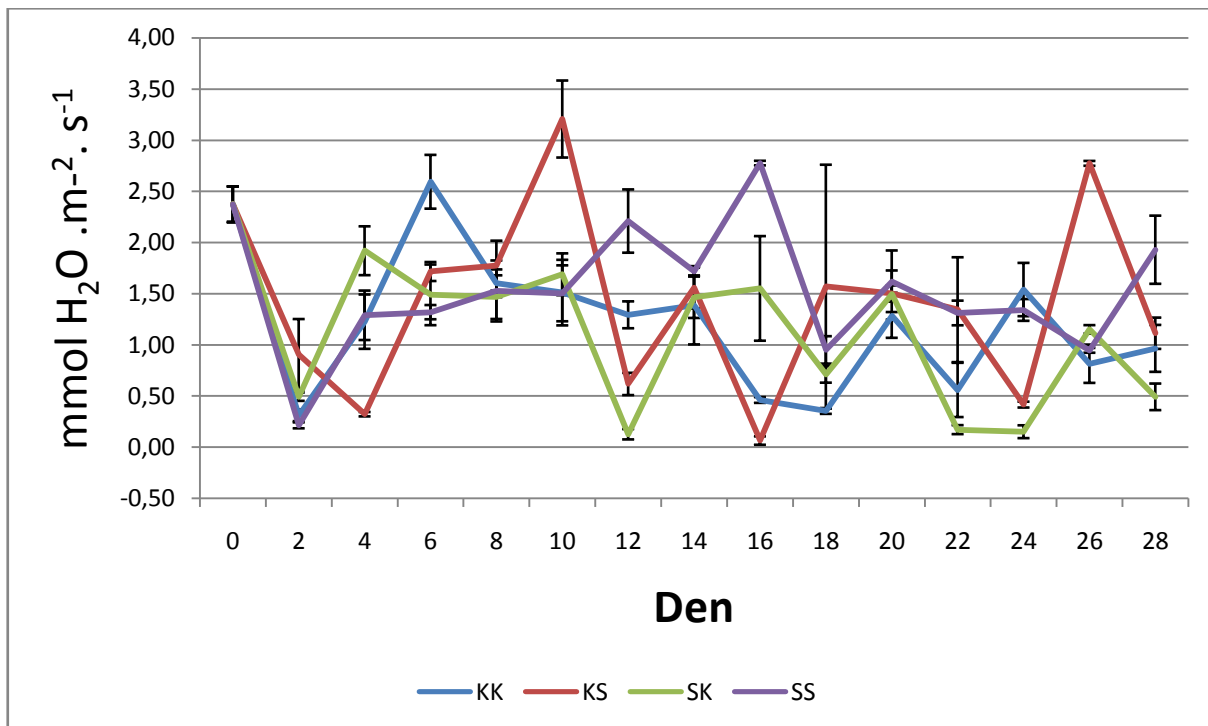
rychlosti výměny plynů byl opět zaznamenán mírný nárůst rychlosti transpirace na  $1,31 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Další pokles nastal hned následující měření, které bylo ukončeno 18. den, kdy hodnota transpirace dosáhla  $0,58 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poté následovalo zvýšení na hodnotu  $1,90 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Od 22. dne měření až do 28. dne měření se rychlost transpirace postupně zvyšovala a to až na hodnotu  $1,58 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Varianta KS vykazovala zpočátku pokusu klesající tendenci v rychlosti fotosyntézy a to až na hodnotu  $0,46 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Následující měření, které se uskutečnilo 6. den pokusu, bylo zaznamenáno zvýšení transpirace na hodnotu  $2,13 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a poté od 12. do 18. dne nastal postupný pokles rychlosti fotosyntézy z hodnoty  $1,36 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $0,82 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . To bylo způsobeno vlivem vodního deficitu. V závěru pokusu se rychlost transpirace opakovaně zvyšovala (např. 24. den na hodnotu  $1,06 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a snižovala (např. 26. den na hodnotu  $0,40 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Rostliny z varianty SK měly v počátku měření mírnou klesající tendenci. Z počáteční hodnoty  $1,80 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0. den) až na hodnotu  $1,00 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (4. den). Od 6. dne ( $1,40 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) měření až do 10. dne ( $1,35 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) měření byly hodnoty téměř shodné. U rostlin bylo zaznamenáno průkazné snížení transpirace 12. den pokusu, kdy byla naměřena hodnota  $0,10 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , což je propad o 92 %. Poté se transpirace zvýšila o  $1,47 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a další měření, které probíhalo 16. den, klesla transpirace na hodnotu  $0,81 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  průkazné zvýšení transpirace bylo naměřeno 20. den ( $1,68 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). V závěru pokusu dosáhla rychlost výměny plynů hodnoty  $1,63 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , viz graf 7.

Z uvedeného grafu je patrné, že rostliny ve variantě SS zaznamenaly 2. den pokusu pokles transpirace na hodnotu  $0,08 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , což je pokles o  $1,72 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ve srovnání s předcházejícím měřením období mezi 4. dnem ( $1,54 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a 10. dnem ( $1,38 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) byla rychlost transpirace vyrovnaná, bez statisticky průkazných diferencí. Poté následovalo snížení rychlosti transpirace o  $0,41 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rostliny béru poté zvýšily svou transpiraci na hodnotu  $1,41 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . K dalšímu poklesu transpirace došlo 20. den sledovaného období, kdy byla neměřena hodnota  $0,81 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rychlost transpirace 24. den a 26. den byla  $0,67 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $0,63 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poslední naměřenou hodnotou bylo  $1,89 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , což bylo od předchozího měření zvýšení o  $1,26 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , které bylo ovlivněno rehydratací.

**Graf 8. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku genotypu 121 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



Kontrolní rostliny čiroku genotypu 121, jak dokládá graf 8, vykazovaly z počátku měření snížení transpirace z hodnoty  $2,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $0,31 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V období mezi 4. a 6. dnem bylo zaznamenáno zvýšení rychlosti transpirace a to až na hodnotu  $2,59 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Mezi 8. dnem pokusu a 18. dnem se rychlost transpirace průkazně snižovala až na hodnotu  $0,35 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (18. den). Posledními měřeními se rychlost transpirace průkazně zvýšila na hodnotu  $0,97 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

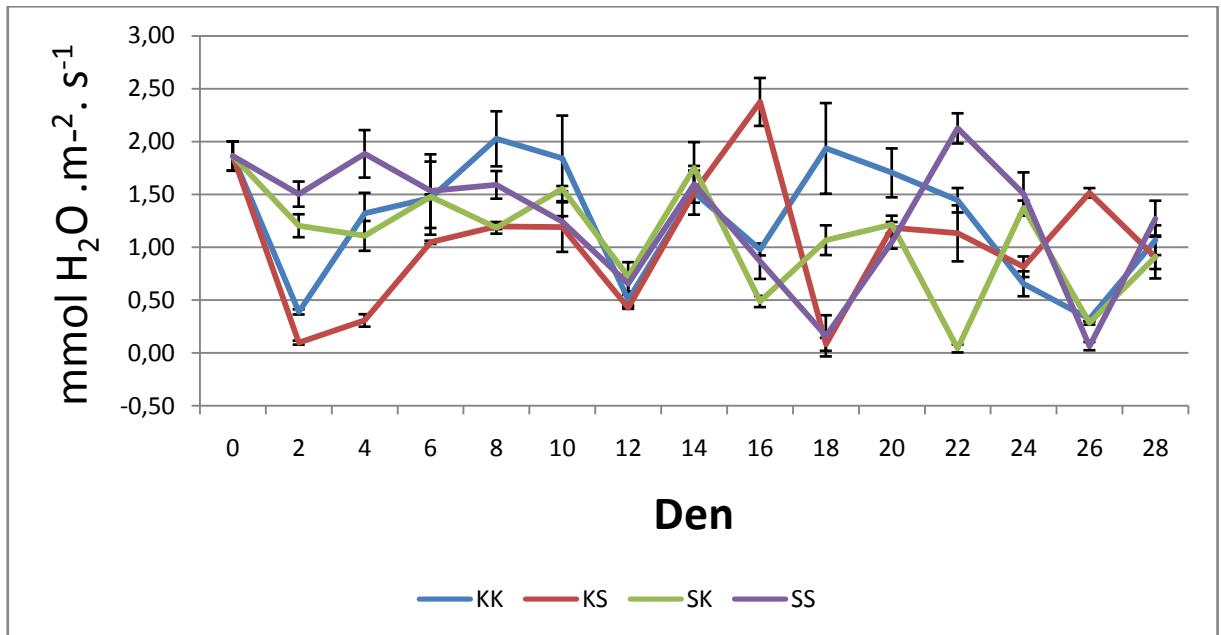
V případě rostlin z varianty KS docházelo od počátku měření k průkaznému poklesu rychlosti transpirace z hodnoty  $2,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0. den) na hodnotu  $0,32 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (4. den). V období mezi 6. dnem a 10. dnem měření se rychlost transpirace průkazně zvýšila z  $1,72 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $3,21 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Po navození vodního deficitu se rychlost transpirace snižovala až do 18. dne měření. V tento termín byla rychlost transpirace v rozpětí hodnot od  $1,71 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (6. den) do  $1,57 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (18. den). Ve 24. dnu pokusu (10. den stresu) se rychlost transpirace průkazně snížila až na hodnotu  $0,42 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , ale v následujícím měření bylo naopak zaznamenáno průkazné zvýšení této charakteristiky ( $2,77 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Toto zvýšení

bylo opět vystřídáno průkazným snížením transpirace na konci pokusu, kdy naměřená hodnota transpirace byla  $1,11 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Rostliny genotypu 121 pěstované nejprve při vodním deficitu vykazovaly nejdříve snížení rychlosti transpirace od zahájení pokusu ( $2,37 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) až do 12. dne, kdy byla rychlost transpirace ve výši  $0,13 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Jedná se o průkazné snížení transpirace. V období rehydratace nevykazovaly hodnoty transpirace trend v nárůstu či poklesu. Po obnovení závlivky byla rychlost transpirace ve výši  $1,47 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (14. den). Pokles transpirace byl zaznamenán 18. den pokusu  $0,7 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , který byl vystřídán průkazným zvýšením transpirace v následujícím termínu měření ( $1,50 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). V závěru pokusu byla stanovena rychlost výměny plynů  $0,49 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Jak je dále z grafu 8 patrné, rostliny čiroku genotypu 121 ve variantě SS zaznamenaly pokles rychlosti transpirace bezprostředně po navození stresu z  $2,37 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (0. den) na  $0,21 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (2. den). Od 4. dne pokusu ( $1,29 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) do 12. dne pokusu ( $2,21 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) plynům rychlost transpirace průkazně zvyšovala. Poté následoval průkazný pokles transpirace na hodnotu  $1,72 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , který byl vystřídán jejím zvýšením na hodnotu  $2,78 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (16. den). Od tohoto termínu měření se rychlost transpirace průkazně snížila až na hodnotu  $0,95 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (18. den). Poté se transpirace naopak zvyšovala na hodnotu  $1,34 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (24. den). Po rehydrataci se rychlost transpirace ještě zvýšila na hodnotu  $1,93 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (28. den).

**Graf 9. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Ruzrok v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



V grafu 9 je znázorněné, že rostliny odrůdy Ruzrok z varianty KK zpočátku průkazně snižovaly rychlost transpirace z hodnoty  $1,86 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0.den) na hodnotu  $0,39 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (2.den). Poté se rychlost transpirace naopak průkazně zvyšovala až do 8. den, kdy dosáhla výše  $2,03 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poté se rychlost transpirace průkazně snížila a to až na hodnotu  $0,50 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (12. den). Tento pokles byl opět vystřídán zvýšením transpirace na hodnotu  $1,93 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (18. den) Od 20. dne pokusu až po 26. den pokusu bylo snížení rychlosti transpirace a to z hodnoty  $1,70 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $0,32 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poslední měření zaznamenalo transpiraci o hodnotě  $1,06 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

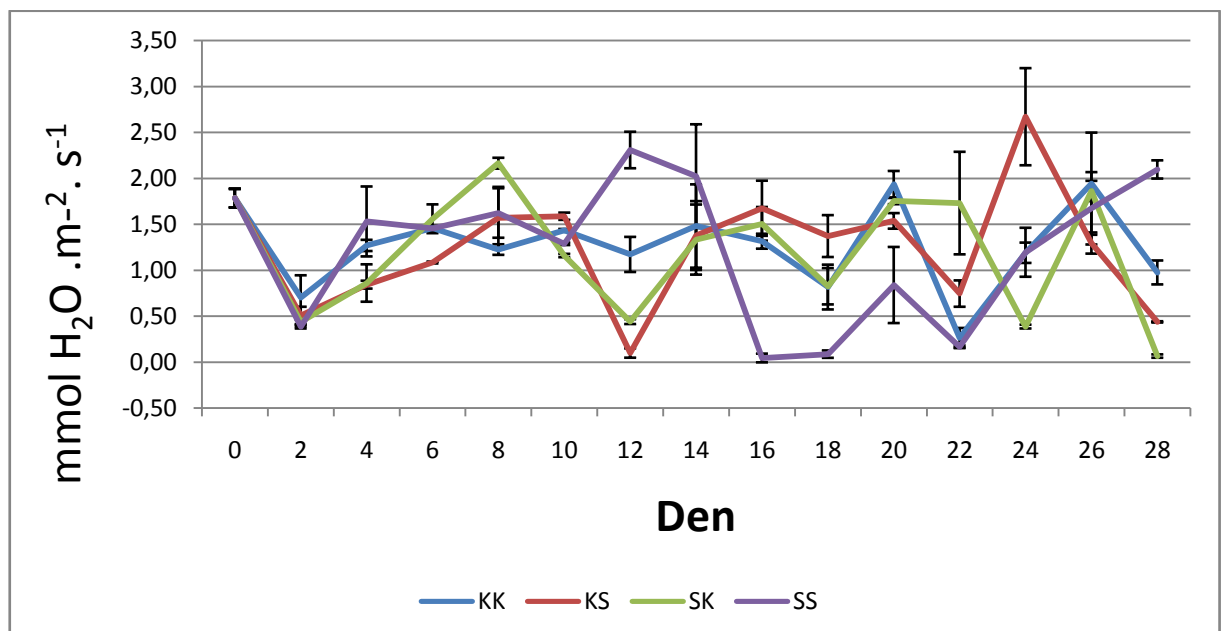
Rostliny odrůdy Ruzrok z varianty KS vykazovaly od 0. dne do 2. dne pokusu pokles transpirace z  $1,86 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $0,10 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Od 4. dne sledovaného období do 10. dne se rychlost transpirace zvyšovala z hodnoty  $0,30 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $1,19 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poté následoval průkazný pokles transpirace na hodnotu  $0,43 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , který byl poté opět vystřídán průkazným snížením rychlosti transpirace až na hodnotu  $2,38 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (16. den). Po navození vodního deficitu se rychlost transpirace snížila na minimální hodnotu  $0,08 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (18. den). Tento pokles byl vystřídán velmi výrazným, průkazným zvýšením transpirace na hodnotu  $1,18 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na konci pokusu byla rychlost transpirace  $0,91 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rostliny odrůdy Ruzrok ve variantě SK měly od počátku pokusu



snížující se transpiraci a to až do 4. dne pokusu ( $1,10 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Následně se až do 10. dne zvyšovala transpirace a to až na hodnotu  $1,56 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ve 12. dnu sledovaného období se snížila rychlost transpirace o  $0,84 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Toto snížení vystřídal průkazný nárůst na hodnotu  $1,75 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , po kterém se rychlost transpirace průkazně snížila na hodnotu  $0,48 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (16. den). 20. den byla naměřena transpirace ve výšší  $1,21 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na konci pokusu byla naměřená rychlost transpirace ve výšší  $0,91 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , jak je z grafu 8 patrné.

Ve variantě SS nastal průkazný pokles rychlosti transpirace od 0. dne ( $1,86 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) až do 12. dne ( $0,66 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Tento pokles byl ve výšší 35,5 %. Pokles transpirace je dán navozeným vodním deficitem. Rychlost transpirace naměřená 14. den sledovaného období byla  $1,60 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a následující 16. den se snížila o  $0,73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejnižší naměřenou hodnotou transpirace je  $0,16 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (18. den). Následující měření se rychlost transpirace postupně zvýšila až na  $2,13 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (22. den). V posledním měření byla na hodnotě  $1,27 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Graf 10. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Red v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



Kontrolní rostliny odrůdy Red měly během měření vyrovnanou rychlost transpirace. Od 0. dne pokusu ( $1,78 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) do 20. dne pokusu ( $1,93 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) nebyl zaznamenán výraznější rozdíl mezi jednotlivými měřeními rychlosti transpirace. Výraznější

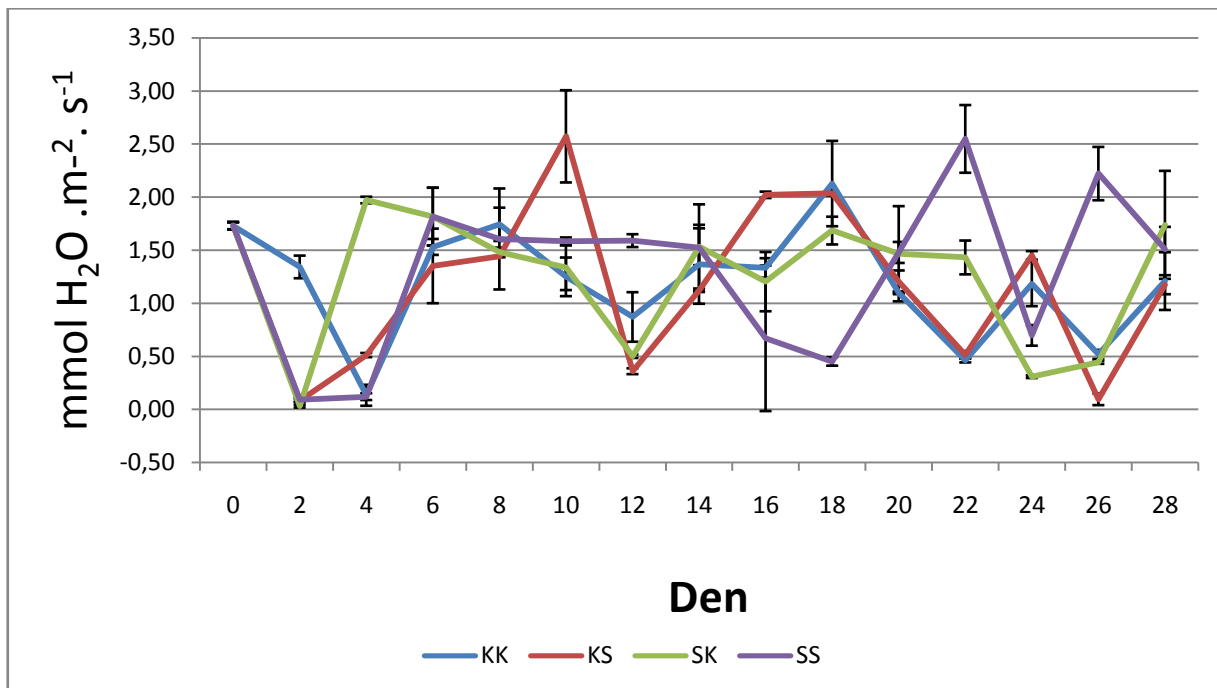
pokles nastal 22. den pokusu, kdy dosáhla transpirace rychlosti jen  $0,26 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a poté se transpirace průkazně zvýšila a to až na hodnotu  $1,94 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (26. den). Ve 28. dnu se transpirace snížila o  $0,97 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , jak je patrné z grafu 10.

Ve variantě KS byla rychlost transpirace postupně zvyšována z hodnoty  $0,51 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (2. den) až na hodnotu  $1,59 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (10. den). Následující měření transpirace zaznamenalo hodnotu  $0,10 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (12. den), což bylo snížení o 6,29 %. V období mezi 14. dnem pokusu a 20. dnem pokusu nastal postupný nárůst z  $1,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na  $1,53 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . 22. den poklesla transpirace o  $0,79 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , po které se rychlost transpirace zvýšila na hodnotu  $1,29 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a v závěru pokusu byla rychlost transpirace ve výši  $0,44 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (28. den).

Z grafu 10 dále vyplývá, že rostliny ve variantě SK zaznamenaly od počátku měření až do 8. dne pokusu nárůst transpirace z hodnoty  $1,78 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $2,16 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poté následovalo snížení rychlosti transpirace na  $0,43 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (12. den), po kterém se transpirace neprůkazně zvýšila na hodnotu  $1,50 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (16. den). Průkazný pokles rychlosti transpirace byl zaznamenán 18. den pokusu ( $0,82 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). 24. den sledovaného období průkazně poklesla transpirace na hodnotu  $0,38 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a následně se opět zvýšila a to o  $1,48 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (26. den). V závěru pokusu byla stanovena nejnižší hodnota naměřená u této varianty a to  $0,06 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Z uvedeného grafu je dále patrné, že rostliny rostoucí v podmínkách varianty SS vykazují v prvních dvanácti dnech nárůst v rychlosti transpirace. Na počátku sledovaného období byla rychlost transpirace  $1,78 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0. den) a desátý den  $1,29 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Vlivem obnovení závlivky se rychlost transpirace průkazně zvýšila až na  $2,30 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (12.den). Po obnovení vodního deficitu se rychlost transpirace průkazně snížila až na hodnotu  $0,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (16. den), což byla nejnižší naměřená hodnota pro variantu SS. I přes pokračující vodní deficit se rychlost transpirace začala neprůkazně zvyšovat a 24. den dosáhla hodnoty  $1,19 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poslední čtyři dny pokusu byly rostliny čiroku opět zalévány a jejich transpirace se proto zvýšila až na hodnotu  $2,09 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (28. den).

**Graf 11. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku genotypu 304 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu**



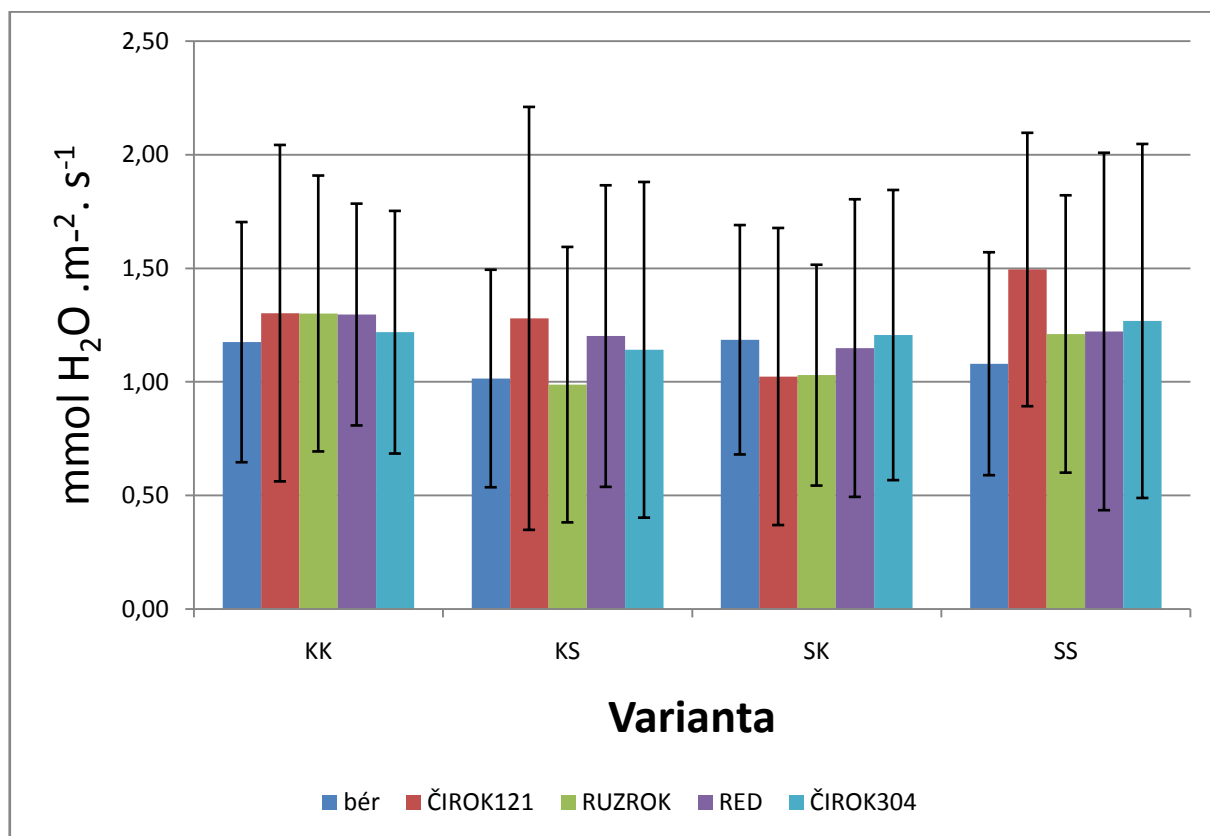
Jak je patrné z grafu 11 u genotypu 304 rychlost transpirace ve variantě KK nevykazuje výrazný trend v nárůstu nebo poklesu hodnot. Mezi měřením v 0. den a měřením 4. den nastal průkazný pokles z hodnoty  $1,73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $0,13 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Šestý den byla naměřena hodnota  $1,53 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a až do 12. dne pokusu se rychlost transpirace snižovala ( $0,87 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Toto snížení bylo vystřídáno postupným zvyšováním transpirace až na hodnotu  $2,13 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (18. den). Od tohoto dne se rychlost transpirace snižovala a 22. den byla na hodnotě  $0,46 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a v závěru pokusu se dostala na hodnotu  $1,20 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (28. den).

U rostlin rostoucích ve variantě KS se rychlost transpirace zpočátku snižovala, neboť na začátku měření byla  $1,73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Snížení bylo zaznamenáno do druhého dne, kdy transpirace dosáhla hodnoty  $0,08 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V následujících dnech se rychlost transpirace zvyšovala až do 10. dne ( $2,57 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Vlivem působení vodního deficitu se rychlost transpirace průkazně snížila na  $0,36 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (12. den). Následující tři měření se rychlost transpirace zvyšovala až na hodnotu  $2,03 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Toto zvýšení bylo opět vystřídáno snížením rychlosti transpirace a to na  $0,51 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejnižší naměřenou hodnotou pro variantu KS byla hodnota  $0,09 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (26. den).

Ve variantě SK nastalo snížení rychlosti transpirace, vlivem působení vodního deficitu, z hodnoty 1,73 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> na hodnotu 0,03 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Čtvrtý den měření byla již hodnota 1,97 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. V následujících měření se již rychlost transpirace snižovala a to až do 12. dne (0,50 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). Vlivem rehydratace se rychlost transpirace začala opět zvyšovat. Dvacátý den pokusu dosáhla rychlost transpirace hodnoty 1,46 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. V závěru pokusu se rychlost transpirace začala opět mírně zvyšovat a 28. den byla 1,74 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

Rostliny pěstované ve variantě SS vykazovaly z počátku pokusu snižování rychlosti transpirace 0,09 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Od 4. dne se začala rychlost transpirace zvyšovat a 6. den pokusu byla 1,81 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Již od 8. dne pokusu se postupně snižovala rychlost transpirace a 18. den sledovaného období dosáhla nejnižší naměřené hodnoty pro tuto variantu a to 0,45 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Poté se rychlost transpirace průkazně zvýšila na 2,55 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (22. den). Již 24. den byl zaznamenán průkazný pokles transpirace na 0,70 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, s následným zvýšením na 2,22 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (26. den).

**Graf 12. Změny rychlosti transpirace (mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) juvenilních rostlin čiroku a bér v závislosti na variantě pokusu**



Graf 12 ukazuje, že ve variantě KK byla vcelku vyrovnaná průměrná rychlost transpirace. Nejnižší naměřenou průměrnou rychlost transpirace měl bér (1,18 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). Odrůdy Ruzrok a Red a genotyp 121 měly stejné průměrné rychlosti transpirace (1,30 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>).

Ve variantě KS měla nejnižší průměrnou rychlost transpirace odrůda Ruzrok a to 0,99 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Bér měl jen o 0,02 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> vyšší průměrnou rychlost transpirace. Naproti tomu nejvyšší naměřenou průměrnou rychlost transpirace dosáhl genotyp 121 (1,28 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>).

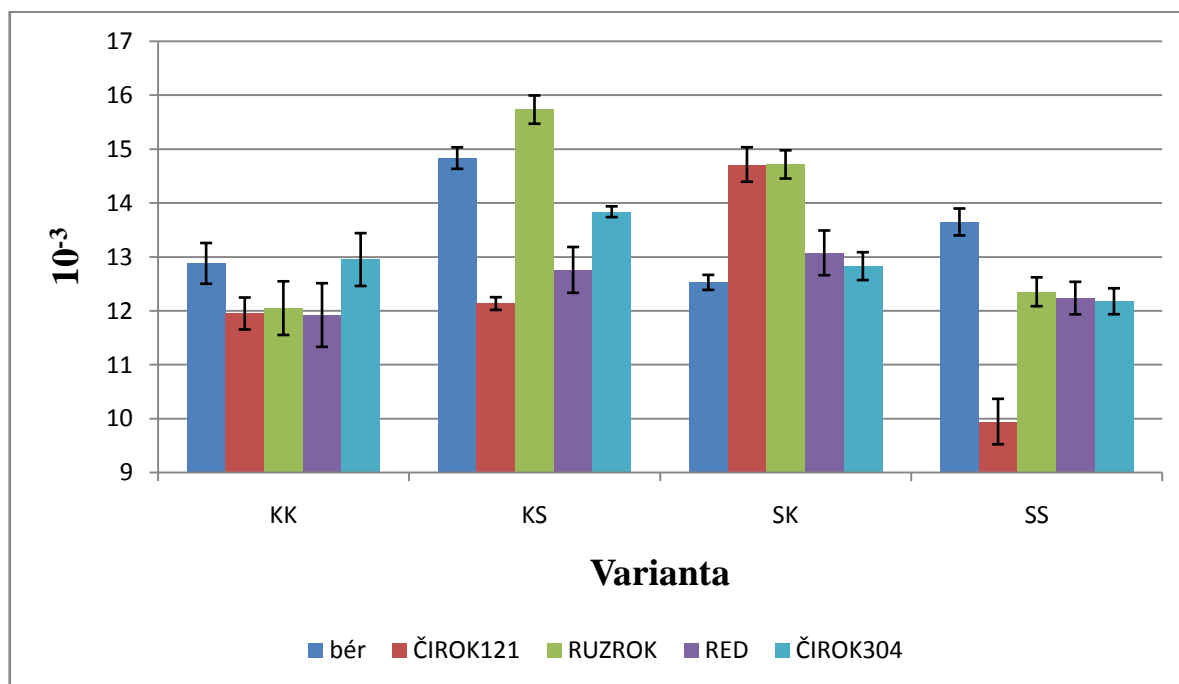
Varianta SK byla nejnižší průměrná transpirace u genotypu 121, kdy dosáhla hodnoty 1,02 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Naopak nejvyšší průměrnou rychlost transpirace měl genotyp 304 a to 1,21 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší průměrnou transpirací byl 0,19 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

Z grafu 12 je také patrné, že ve variantě SS byla nejvyšší naměřená hodnota u genotypu 121 (1,49 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). Nejnižší průměrnou rychlost transpirace měl bér (1,08 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>).

Rostliny béru měly nejvyšší rychlost transpirace ve variantě SK a nejnižší ve variantě KS. Genotyp 121 dosáhl nejvyšší transpirace ve variantě SS a nejnižší ve variantě SK. Odrůda Ruzrok a Red měly nejvyšší rychlost transpirace ve variantě KK. Ovšem Ruzrok měl nejnižší transpiraci ve variantě KS, ale odrůda Red ve variantě SK. Rostliny genotypu 304 měly nejvyšší rychlost transpirace ve variantě SS. Naopak nejnižší zaznamenaná průměrná transpirace byla ve variantě KS.

## 5.3 WUE

**Graf 13. Porovnání efektivity využití vody (WUE) juvenilních rostlin čiroku a béru v závislosti na variantě pokusu**



Z grafu 13 vyplývá, že nejvyšší hodnoty efektivity využití vody (WUE) byly zjištěny u rostlin z varianty KK. V rámci této varianty byla zjištěna nejvyšší hodnota WUE u genotypu 304 a to  $12,95 (10^{-3})$ . Naopak nejnižší hodnota efektivity využití vody byla zjištěna u odrůdy Red a to  $11,92 (10^{-3})$ .

U rostlin z varianty KS byla nejvyšší hodnota WUE zjištěna u odrůdy Ruzrok ( $15,73 (10^{-3})$ ). Vysoké hodnoty WUE dosáhl také bér ( $14,83 (10^{-3})$ ). Nejnižší hodnota využití vody byla vypočítána u genotypu 121 a to  $12,14 (10^{-3})$ .

Ve variantě SK dosáhl genotyp 121 a odrůda Ruzrok stejně vysoké hodnoty WUE a to  $14,71 (10^{-3})$ . Nejnižší efektivita využití vody byla vypočítána pro bér ( $12,53 (10^{-3})$ ).

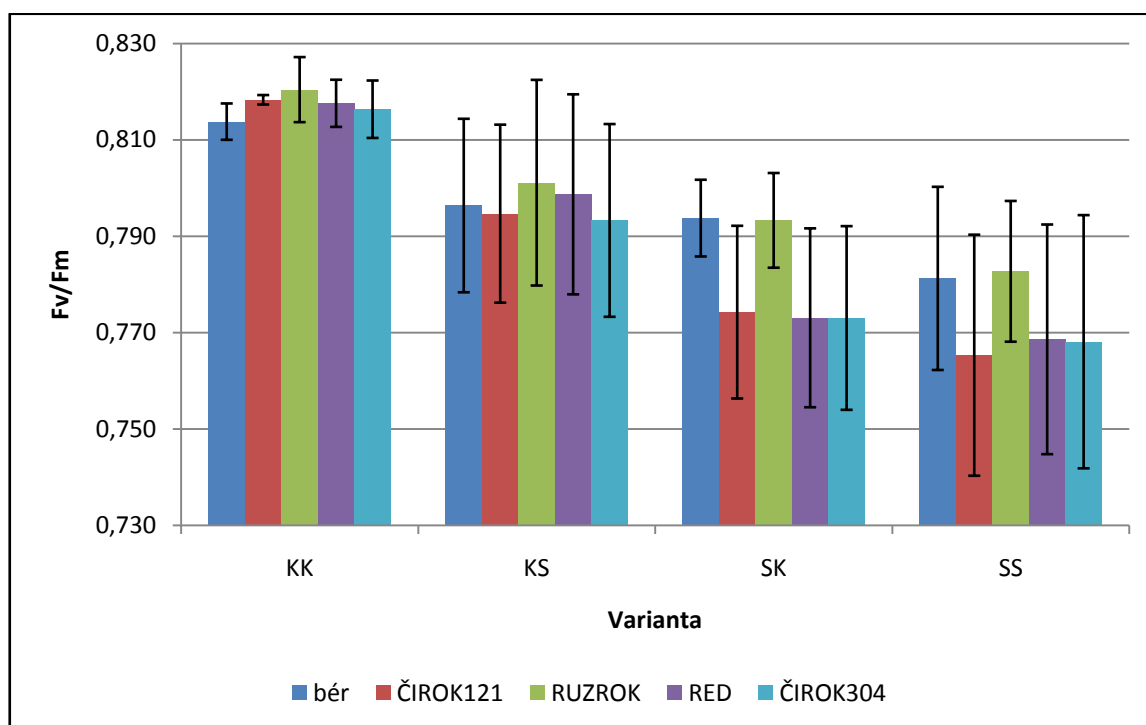
V poslední variantě SS dosáhly rostliny béru nejvyššího WUE ( $13,64 (10^{-3})$ ). Genotyp 304 a odrůdy Red a Ruzrok měly podobné hodnoty efektivity využití vody a to okolo hodnoty  $13,07 (10^{-3})$ . Nejnižší vypočtenou hodnotu WUE měl v této variantě genotyp 121 ( $9,95 (10^{-3})$ ).

Rostliny béru měly nejvyšší WUE ve variantě KK a naopak nejnižší ve variantě SK. Genotyp 121 a odrůda Red měly nejvyšší efektivitu využití vody ve variantě SK. Nejnižší

WUE bylo stanoveno u genotypu 121 ve variantě SS a u odrůdy Red to bylo ve variantě KK. Ruzrok měl nejnižší efektivitu využití vody ve variantě KK a nejvyšší ve variantě KS. Nejvyšší WUE u genotypu 304 bylo stanoveno ve variantě KS, naopak nejnižší ve variantě SS.

## 5.4 Fluorescence chlorofylů

**Graf 14. Porovnání průměrné fluorescence chlorofylů (Fv/Fm) jednotlivých rostlin čiroku a béru v závislosti na variantě**



Z grafu 14 je patrné, že kontrolní rostliny vybraných genotypů čiroku a béru byly relativně vyrovnané. Nejvyšší naměřená hodnota Fv/Fm byla u odrůdy Ruzrok (0,820). Naopak nejnižší naměřenou hodnotu měl bér, který měl 0,814. V rámci kontrolní skupiny rostlin nebyly mezi sledovanými genotypy nalezeny průkazné diference.

Mezi rostlinami pěstovanými ve variantě KS také nebyly nalezeny průkazné diference ve fluorescenci chlorofylu. I zde měl nejvyšší naměřenou hodnotu Ruzrok a to 0,801. Nejnižší hodnotu měl v této variantě genotyp 304 (0,793).

Rostliny pěstované nejprve v podmínkách vodního deficitu a následné rehydratace (SK) vykazovaly průkazné diference v hodnotách fluorescence. Odrůda Ruzrok a bér dosáhly

shodné průměrné hodnoty 0,793. Nejnížší průměrné hodnoty fluorescence dosáhla odrůda Red a genotyp 304. Obě měly naměřenou průměrnou hodnotu fluorescence chlorofylu 0,773, viz graf 14.

Odrůda Ruzrok měla ve variantě SS nejvyšší hodnoty fluorescence a to 0,783. Nejnížší průměrnou hodnotu fluorescence měly rostliny z genotypu 121 (0,765). Mezi jednotlivými genotypy byly zjištěny průkazné rozdíly v hodnotách fluorescence chlorofylu.

Rostliny všech genotypů a odrůd vykazovaly nejvyšší hodnoty fluorescence chlorofylu ve variantě KK a naopak nejnížší ve variantě SS.



## 6. Diskuze

U rostlin čiroku (genotypy 121 a 304 a odrůd Red a Ruzrok) a béru (odrůda Ruberit) byl sledován vliv vodního deficitu a následně rehydratace na rychlost výměny plynů, efektivitu využití vody a fluorescence chlorofylu.

### 6.1 Rychlost fotosyntézy

Výsledky z měření rychlosti fotosyntézy ukazují, že genotypy nevykazovaly větší rozdíly v reakcích na vodní stres. Na vodní deficit nejméně reagovaly rostliny genotypu 304 a naopak nejvíce citlivé na vodní deficit byla odrůda Ruzrok. Podobných výsledků dosáhla ve své práci i Holá a kol. (2010), Hrkotová (2014) nebo Gale a kol. (1967), kteří sledovali vliv vodního deficitu na rostliny kukuřice.

Liu a kol (2012) uvádějí, že pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán u genotypů kukuřice, které byly vystaveny vodnímu stresu, což potvrzují výsledky z našeho pokusu. Stresované rostliny dosahovaly průměrné fotosyntézy od  $14,74 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (bér) do  $15,44 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (genotyp 304). Například u rostlin kukuřice bylo dosaženo za stejných podmínek rychlosti fotosyntézy od  $11,96 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (genotyp 2023) do  $12,21 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (genotyp 704), jak bylo zjištěno např. v bakalářské práci (Hrkotová, 2014). Rostliny pěstované v kontrolní variantě dosáhly rychlosti fotosyntézy od  $15,14 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (bér) do  $15,79 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . U rostlin kukuřice, které byly použity pro pokus v práci Hrkotové (2014) byla naměřena rychlost fotosyntézy v rozmezí od  $18,46 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (genotyp 2023) do  $18,53 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (genotyp 704). Srovnáním těchto výsledků zjistíme, že rostliny čiroku a béru mají obecně nižší fotosyntetickou aktivitu.

Ghannoum (2009) ve své práci uvádí, že rostliny C4 jsou vysoce citlivé na vodní deficit. S tím, jak klesá stav vody v listec, se sníží i rychlost asimilace  $\text{CO}_2$  a vodivost průduchů. Taylor a kol. (2011) zjistili, že rostliny C4 mají lepší fotosyntetickou aktivitu za mezofilních podmínek než rostliny C3, ovšem za sucha byla rychlost fotosyntézy redukována. Přesto tito autoři pozorovali, že fotosyntetická aktivita zůstává vyšší u C4 rostlin. Uvedené závěry byly potvrzeny také u rostlin béru a čiroku.

Získané výsledky také odpovídají závěrům autorů Cornica a Brantaise (1999), Ibrahima a kol. (2008) nebo Ohsumi a kol. (2007). Z práce Hniličky a Petra (2003) na rostlinách pšenice vyplývá, že u stresovaných rostlin se snižuje fotosyntéza. Da Silva a kol. (2004) ve své práci uvádí, že pokles rychlosti fotosyntézy je vždy výrazně ovlivněn vodním deficitem. Toto potvrzují i výsledky studia vlivu vodního deficitu na juvenilní rostliny čiroku a béru. V případě, že byl navozen vodní deficit, byl zaznamenán pokles rychlosti asimilace CO<sub>2</sub> a to až na hodnotu 14,08 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (genotyp 121). Nejvíce se vodní deficit projevil u rostlin, které byly po celou dobu pokusu stresovány. Naopak rostliny v kontrolní variantě měly nárůst fotosyntézy až na hodnotu 16,07 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (genotyp 304).

Po rehydrataci byl zaznamenán nárůst rychlosti fotosyntézy v závislosti na variantě, ve které byly rostliny pěstovány. Tyto závěry potvrzuje i práce Singha a kol. (1973), kteří toto sledovali na rostlinách ječmene.

Zotavení z těžkého stresu je dvoufázový proces. První stupeň regenerace nastává po prvních hodinách až dnech. Druhá fáze nastává v několika dnech (Pereira a Chaves, 1993). Podle výsledků pokusu nebyl stres v době pokusu tak silný, aby došlo k takto těžkému stresu. Proto také nebylo zaznamenáno, že rychlost fotosyntézy klesla až na nulové hodnoty. Rychlost výměny plynů je proto limitována otevřeností průduchů, jak uvádí ve své práci Jones a Jongen. (2008).

## 6.2 Rychlost transpirace

Z výsledků je patrné, že nebyly výrazné rozdíly v rychlosti transpirace mezi jednotlivými genotypy a ani mezi variantami. Rychlost transpirace u kontrolních rostlin dosahovala u některých genotypů i nižších hodnot než u stresovaných rostlin.

Nejnižší průměrná rychlost transpirace byla naměřena u odrůdy Ruzrok, naopak nejvyšší byla naměřena u genotypu 121. Rozpětí průměrné rychlosti transpirace bylo totiž od 0,98 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (Ruzrok) do 1,49 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (genotyp 121).

Tyto výsledky částečně potvrzují závěry z prací např. Hniličky a Petra (2003), Sairama a kol. (1990), Riley a kol. (2010) nebo Taylor a kol. (2010), kteří se zabývali stresem u trav a prosa. Podle Heilmeira a kol. (2007) je rychlý pokles transpirace při vodním deficitu v půdě obranným mechanismem rostlin, který jim umožňuje dlouhodobé přežívání v nedostatku

vody. Naopak rostliny, které toto neudělají, mohou být významně poškozeny dlouhodobým vodním deficitem. Toto bylo potvrzeno u genotypu 121, který dosáhl v kontrolní variantě průměrné transpirace  $1,30 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a ve stresované variantě (SS) dosáhl hodnoty  $1,49 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

V stejném pokusu s rostlinami kukuřice se pohybovala průměrná transpirace u kontrolních rostlin v rozmezí od  $1,91 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (genotyp 2023) do  $2,59 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (genotyp 704 x 2023) (Hrkotová, 2014). U našeho pokusu s rostlinami čiroku a béru bylo ve stejné variantě zaznamenáno rozmezí od  $1,17 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (bér) do  $1,30 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (genotyp 121). Je tedy patrné, že ač se jedná o rostliny C4 mají rozdílnou rychlost transpirace za podobných podmínek.

Hniličková a kol. (2005) ve své práci uvádějí, že u rostlin chmele bylo stanoveno rozmezí transpirace od  $0,3 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  do  $1,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Zároveň tato práce také poukazuje na nevyrovnanost v rychlosti transpirace. Podobné výsledky byly zjištěny jak u juvenilních rostlin kukuřice (Hrkotová, 2014), tak i u juvenilních rostlin čiroku a béru.

Zvyšování rychlosti transpirace u stresovaných rostlin pšenice se uvádí v práci Yuana a Denga (2004). Tento závěr potvrzují výsledky genotypu 121, který měl v kontrolní variantě průměrnou rychlost výměny plynů  $1,30 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a ve stresované variantě byla  $1,49 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nárůst rychlosti transpirace byl také zjištěn u genotypu 304. Zde bylo u kontrolní varianty naměřeno  $1,21 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a ve stresované variantě  $1,27 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## 6.3 Efektivita využití vody (WUE)

Ghannoum (2009) konstatuje, že v rámci C4 trav s různými biochemickými podtypy existují různé schopnosti v efektivitě využívání vody či tolerance k suchu.

Z vypočtených hodnot WUE vyplývá, že sledované genotypy reagovaly na vodní deficit odlišně. Nejcitlivěji na vodní deficit reagoval genotyp 121. Naopak jako tolerantní se jevil bér. Podobných výsledků dosáhly i Horáková a Kovár (2006). Tito autoři uvádějí, že jsou genotypové rozdíly v reakci na vodní deficit.

Xu a kol. (2006) ve svém pokusu bérem italským (*Setaria italica*) konstatují, že tyto rostliny dosahují vlivem větších průduchů vysokých hodnot WUE. V našem pokusu se tohoto

efektu podařilo dosáhnout ve variantě KS a ve variantě SS, kdy bylo dosaženo vyššího WUE než u kontrolní varianty. Toto se dále potvrdilo i u čiroku u odrůd Ruzrok a Red.

Zhang a kol. (2005), Meng a kol. (2006) a Zhang a kol. (2006) konstatují, že hodnoty WUE při působení vodního deficitu se zvyšují. Tyto závěry se podařilo potvrdit u bėru, a čiroku odrůd Ruzrok a Red. U genotypů 121 a 304 se toto tvrzení nepodařilo potvrdit.

Blum (2009) uvádí, že výběr rostlin podle vysoké efektivity využití vody povede ve většině případů ke snížení výnosu a snížení odolnosti proti suchu. Efektivita využití vody zahrnuje i uzavírání průduchů a tím i minimální ztráty vody transpirací.

Ze získaných výsledků dále vyplývá variabilita pokusu na hodnotu efektivity využití vody, kdy se u rostlin, které byly různě stresovány vodním deficitem, změnila rychlost fotosyntézy a transpirace oproti rostlinám kontrolním.

Tento závěr potvrzuje i např. Zámečník (2008), který uvádí, že velikost WUE je dána změnou poměru rychlosti fotosyntézy a transpirace, kdy se rostlin, na které působí vodní deficit, zvyšuje hodnota WUE tím, že se omezí rychlost fotosyntézy a transpirace. Toto tvrzení bylo potvrzeno i u rostlin bėru a odrůd Ruzrok a Red. U genotypů 121 a 304 byl tento závěr potvrzen jen ve variantách KS a SK. Ve variantě, kde byly rostliny nejvíce vystaveny vodnímu stresu byla hodnota WUE vyšší než u kontrolních rostlin.

Jak dokládají výsledky nejvyšší hodnoty efektivity využití vody bylo dosaženo ve variantě KS u odrůdy Ruzrok a to  $15,73 (10^{-3})$ . Naopak nejnižší naměřená hodnota byla vypočítána pro genotyp 121 ve variantě SS, kdy byla hodnota WUE  $9,94 (10^{-3})$ . Rostliny pěstované v kontrolní variantě měly hodnoty WUE v rozmezí od  $12,23 (10^{-3})$  (Red) do  $12,95 (10^{-3})$  (genotyp 304).

Získané výsledky pro genotypy 121 a 304 ukazují, že u těchto rostlin pěstovaných v mírném stresu se zvýšila efektivita využití vody v porovnání s rostlinami kontrolními. Například u genotypu 121 byla hodnota WUE v kontrolní variantě  $11,95 (10^{-3})$ , ve variantě KS  $12,13 (10^{-3})$  a ve variantě SK dokonce  $14,71 (10^{-3})$ . Ovšem ve variantě SS, která byla nejvíce vystavena stresu byla rychlost transpirace vysoká a proto hodnota WUE dosáhla pouze  $9,94 (10^{-3})$ . V těchto případech se potvrdil závěr Shana a kol. (2000), kteří sledovali vliv vodního deficitu na efektivitu využití vody u rostlin kukuřice. V jejich práci je uvedeno, že při působení vodního deficitu dochází ke snížení WUE v porovnání s hodnotami

naměřenými u rostlin zavlažovaných. Podobných výsledků ve svých pracích s pšenicí dosáhly také Hnilička a Petr (2003) nebo Yuang a Deng (2004).

## 6.4 Fluorescence chlorofylu

Podle Liu a kol. (2012) sucho způsobuje nižší fluorescenci chlorofylů u kukuřice seté. Stejných výsledků bylo dosaženo i v této práci na rostlinách čiroku a béru. U všech genotypů byl zaznamenán pokles fluorescence chlorofylu vlivem vodního deficitu. Nejvýraznější pokles fluorescence chlorofylu nastal u genotypu 121, kdy v kontrolní variantě dosáhly rostliny hodnoty 0,818 a ve stresované variantě jen 0,765. Naopak nejmenší rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou měly rostliny béru. Zavlažované rostliny měly 0,814 a rostliny stresované vodním deficitem 0,781.

Podobné závěry jako jsou v práci Liu a kol. (2012) uvádí také Betrán a kol. (2003) pro rostliny kukuřice, Li a kol. (2006) pro ječmen, Paknejad a kol. (2007) pro pšenici nebo Nauman a kol. (2007) pro rákos obecný a voskovník obecný.

Ve variantě KS měly rostliny vyrovnanou fluorescenci chlorofylu a to od 0,793 (genotyp 304) do 0,801 (Ruzrok). Změny ve fluorescenci mezi genotypy nebyly příliš výrazné. Podobných závěrů dosáhl i Liu a kol. (2012) u kukuřice a Souza a kol. (2004) u rodu *Vigna*.

U varianty SK se více projevil vliv vodního deficitu a to tak, že rostliny béru a odrůdy čiroku měly naměřenou vyšší hodnotu fluorescence oproti zbylým genotypům. V této variantě měly nejvyšší naměřenou fluorescenci bér a Ruzrok (oba 0,793). Nejnižší fluorescenci chlorofylu měl genotyp 304 (0,768).

Lichtenthaler a kol. (2004) uvádějí, že by zdravá rostlina měla mít  $F_v/F_m$  v rozpětí 0,750 - 0,840. Z uvedených výsledků tedy vyplývá, že rostliny čiroku a béru nebyly silně stresovány vodním deficitem, jelikož rostliny, které byly nejvíce vystaveny stresu, dosáhly nejnižší hodnoty fluorescence 0,765, což je v uvedeném rozmezí.

Z výsledků je tedy patrné, že rostliny čiroku a béru reagovaly na působení stresu odlišně. Nejvyšší rozdíly ve fluorescenci chlorofylu mezi variantami měly rostliny genotypu 121, které jsou tedy na vodní deficit nejcitlivější. Naopak nejodolnější se zdají být rostliny béru, které měly nejmenší rozdíl ve fluorescenci chlorofylu mezi variantami pokusu.

## 7. Závěr

Nádobový pokus s rostlinami bérů (odrůda Ruberit) a čiroku (odrůdy Ruzrok a Red, genotypy 121 a 304) se uskutečnil ve skleníku s částečně řízenými podmínkami. U těchto rostlin se sledoval vliv vodního deficitu na rychlost fotosyntézy, transpirace, fluorescence chlorofylů a efektivitu využití vody. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

1. Nejnižší rychlost fotosyntézy vykazují rostliny rostoucí ve variantě SS v porovnání s variantou zavlažovanou.
2. Vyšších hodnot efektivitu využití vody (WUE) dosahují rostliny z varianty KS v porovnání s kontrolními rostlinami.
3. Rychlost fotosyntézy se pohybovala v rozmezí hodnot od  $14,08 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (genotyp 121, varianta SS, 16. den) do  $16,07 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (genotyp 304, varianta KK, 28. den).
4. Rychlost transpirace byla nejnižší u genotypu 304 v 2. dnu a variantě SK ( $0,03 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a naopak nejvyšší u genotypu 121 v 10. dnu a variantě KS ( $3,21 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).
5. Vypočtená hodnota WUE byla nejnižší u genotypu 121, ve variantě SS ( $9,95 (10^{-3})$ ) a naopak nejvyšší u odrůdy Ruzrok, ve variantě KS ( $15,73 (10^{-3})$ ).
6. Byl prokázán vliv genotypu na rychlost výměny plynů, neboť nejvyšší průměrnou rychlost fotosyntézy vykazoval genotyp 304 ( $15,79 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a naopak nejnižší bér ( $14,74 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).
7. Nejvyšší průměrná rychlost transpirace byla zjištěna u genotypu 121 ( $1,49 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a nejnižší u odrůdy Ruzrok ( $0,99 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).
8. Nejvyšší vypočtenou průměrnou efektivitu využití vody vykazovaly rostliny odrůdy Ruzrok ( $15,73 (10^{-3})$ ).
9. Nejnižší vypočtenou průměrnou efektivitu využití vody vykazovaly rostliny genotypu 121 ( $9,95 (10^{-3})$ ).

10. Z hodnot WUE vyplývá, že na vodní deficit citlivě reagoval genotyp 121 ( $9,95 (10^{-3})$ ) a naopak jako tolerantní se jeví bér ( $13,65 (10^{-3})$ ).
11. U béru byl zjištěn nejnížší rozdíl mezi kontrolou a stresem u parametru fluorescence chlorofylů, ujištěná jako poměr Fv/Fm (0,033).
12. Nevyšší rozdíl mezi variantami v hodnotách Fv/Fm vykazovaly rostliny genotypu 121 (0,053).
13. Rostliny béru se jeví jako nejodolnější vůči vodnímu deficitu. Naopak nejhůře snášel vodní deficit genotyp 121.

## 8. Seznam literatury

Aebersold R., Goodlett D.R. 2001. Mass spectrometry in proteomics. *Chem Rev* 101, s 269-295.

Agarwal, P., Dabi, M., More, P., Patel, K., Jana, K., Agarwal, K. P. (2016). Improved Shoot Regeneration, Salinity Tolerance and Reduced Fungal Susceptibility in Transgenic Tobacco Constitutively Expressing PR-10a Gene [online]. [cit. 2016-02-14]: Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2016.00217/full>

Angelova, Z., Georgiev, S., Roos, W. 2006. Elicitation of plants. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 20 (2). s 72-83.

Argueso, C. T., Hansen, M., Kieber, J. J. 2007. Regulation of ethylene biosynthesis. *Journal of Plant Growth Regulation*. 26 (2). s 92-105.

Ashraf, M., Foolad, MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59(2), s. 206 - 216. [online]. [cit. 2016-02-14]: Dostupné z: <http://wenku.baidu.com/view/3edae35077232f60ddcca1b1>

Asraf, M., Harris, P., Rahman, S., Humphreys, M. O., Humphreys, M. W., Vinh, N. T., Paterson, A. H., Kumar, D., Vanavichit, A., Tragoonrung, S., Toojinda, T., Ernst, W. H. O., Howarth, C., Revilla, P., Butrón, A., Cartea, M. E., Malvar, R. A., Ordás, A. 2005. Abiotic Stresses. *Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches. An Imprint of The Haworth Press. New York.* s 725. ISBN 1-56022-965-9.

Austin, D. 2006. Foxtail Miller (*Setaria*: Poaceae) – abandoned food in two hemispheres. *Economic Botany*, 60(2). s 143-158.

Beta, T., Corke, H., Tylor, J. R. N. 2000. Starch Properties of Barnard Red, a South African Red Sorghum Variety of Significance in Traditional African Brewing. *Starch*. s 467 - 470.



- Betrán, F. J., Ribaut, J. M., Beck, D., Gonzalez de León, D. 2003. Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and nonstress environments. *Crop Science*. 43 (3). s 797-806.
- Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*. 112 (2-3). s 119-123.
- Boyer, J. S., 1982. Plant productivity and environment. *Science*. 218. s 443-448.
- Bray, E. A. 1997. Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology*. 103. s 1035-1040.
- Brink, M. 2006. *Setaria italica* (L.) P.Beauv. PROTA (Plant Resources of Tropical Africa) [online]. [cit. 2016-02-11]: Dostupné z: [http://www.prota4u.org/protav8.asp?en=1&p=Setaria+italica+\(L.\)+P.Beauv.](http://www.prota4u.org/protav8.asp?en=1&p=Setaria+italica+(L.)+P.Beauv.)
- Brink, M., Belay, G. 2006. *Plant Resources of Tropical Africa 1. Cereals and pulses*. PROTA Foundation, Backhuys Publishers. Wageningen. 298 pp.
- Cao, P., Wang, X., Liu, F., Zhao, E., Han L. 2008. Dissipation and Residue of S-metolachlor in Maize and Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 80. s 391-394 [cit. 2014-3-08]. Dostupné z <http://link.springer.com/article/10.1007/s00128-008-9359-z#page-1>
- Cornic, G., Briantais, J. M. 1999. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> reduction in a C<sub>3</sub> leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO<sub>2</sub> concentrations and during drought stress [online]. [cit. 2014-3-07] Dostupné z <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00197786>
- Da Silva, J. M., & Arrabaca, M. C. 2004. Photosynthesis in the water-stressed C<sub>4</sub> grass *Setaria sphacelata* is mainly limited by stomata with both rapidly and slowly imposed water deficits. *Physiologia Plantarum*, 121 (3), s 409–420.
- Deng, X. P., Shan, L., Inanaga, S., Inoue, M. 2005. Water-saving approaches for improving wheat production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85. s 1379-1388.
- Doggett, H. 1995. *Sorghum*, 2nd Edition. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0-582-46345-5
- Dostál, J. 1989. *Nová květena ČSSR*. 2.díl. Academia. Praha. ISBN 80-200-0095-X.

- FAO [online]. [cit. 2016-02-14]: Dostupné z: <http://www.fao.org/ag/Agp/agpc/doc/Gbase/data/pf000314.htm>
- Farooq, M., Wahid, A., Fujita, K. D., Basra, S. M. A. 2009 Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for sustainable development*, Springer Verlag. 29 (1). s 185-212.
- Flowers, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. [online]. [cit. 2016-3-07] Dostupné z <http://jxb.oxfordjournals.org/content/55/396/307.short>
- Gale, J., Kohl, H. C. , Hagan, R. M. 1967. Changes in the Water Balance and Photosynthesis of Onion, Bean and Cotton Plants under Saline Conditions [online]. [cit. 2014-4-07] Dostupné z <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.1967.tb07181.x/abstract>
- Ghannoum, O. 2009. C4 photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*. 103 (4). 635-644.
- Gygi S.P., Rochon Y., Franza B.R., Aebersold R. 1999. Correlation between protein and mRNA abundance. *Molecular and Cellular Biology* 19, s 1720-1730.
- Hancock, J. F. 2012. *Plant Evolution and the Origin of Crop Species*. s 245. ISBN 978-1-84593-801-7.
- Heilmeyer, H., Sculze, E.-D., Fan, J., Hartung, W. 2007. General relations of stomatal response to xylem sap abscisic acid under stress in the rooting zone – a global perspective. *Flora* 202. s 624–636.
- Hermuth, J., 2010. Čirok – znovu vzkříšená plodina v ČR. *Agromanuál*, únor 2010, ročník 5, s. 62 – 65.
- Hermuth, J., Hýsek, J. 2010. Bér vlašský – plodina s multifunkčním potenciálem. *Úroda* 2, s. 30-32.
- Hermuth, J., Janovská, D., Prohasková, A. 2015. Bér vlašský *Setaria italica* (L.) Beauv. Plodina vhodná do měnícího se klimatu České republiky. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha – Ruzyně. 36. ISBN 978-80-7427-175-5.
- Hermuth, J., Janovská, D., Stražil, Z., Ust'ak, S., Hýsek, J. 2012. Čirok obecný *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH, možnosti využití v podmínkách České republiky. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha – Ruzyně. 47. ISBN 978-80-7427-093-2.
- Hirt, H. a Shinozaki, K. 2004. *Plant Responses to Abiotic Stress*. ISBN 978-3-540-20037-6

Hnilička F., Bláha L. 2006. Význam vlastností kořenů a semen pro odolnost rostlin vůči abiotickým stresorům. [online]. [cit. 2014-01-28] Dostupné z [http://mcm.yc.cz/skola/fnr/prednaska/stresory\\_2006.pdf#page=24](http://mcm.yc.cz/skola/fnr/prednaska/stresory_2006.pdf#page=24)

Hnilička, F., Petr, J. 2003. The effect of abiotic stresses on the rate of photosynthesis, transpiration and water use efficiency (WUE) in wheat plants during ontogeny [online]. [cit. 2014-4-07] Dostupné z [file:///C:/Users/Kikina/Downloads/file\\_40\\_part\\_300%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Kikina/Downloads/file_40_part_300%20(1).pdf)

Hniličková, H., Hnilička, F., Hejnák, V., Kořen, J. 2005. Vliv vodního deficitu na rychlost fotosyntézy a transpirace chmele. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin [online]. [cit. 2014-4-07] Dostupné z <http://www.vurv.cz/files/publications/ISBN80-86555-63-1.pdf>

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 (4). s 545-558.

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 (4). s 545-558.

Hopkins, W. H., Hüner, N. P. A. 2004. *Introduction to plant physiology*. John Willey & Sons. Ontario. 559 s. ISBN: 0471379174.

Horáková Kadasi, M., Kovár, M. 2006. Úloha osmotického prispôsobenia v tolerancii jačmeňa na sucho. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. ISBN 80 – 213 – 1484 - 2.

House, L. R., 1985. *A Guide to Sorghum Breeding*. ICRISAT. (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). Andhra Pradesh. [online]. [cit. 2016-02-11]: Dostupné z:

Hrkotová, K. 2014. Vliv půdního vodního deficitu na výměnu plynů rostlin kukuřice. Bakalářská práce.

Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Biology*. 24. s 519- 570.

<http://histaminovakasulka.com/2014/04/03/protizanetlivy-cirok-nepravem-opomijena-obilnina/>

<http://home.tiscali.cz/ps.humpolec/ber.htm>

[http://oar.icrisat.org/810/1/RA\\_00070.pdf](http://oar.icrisat.org/810/1/RA_00070.pdf)

[http://www.targetmap.com/ThumbnailsReports/17617\\_THUMB\\_IPAD.jpg](http://www.targetmap.com/ThumbnailsReports/17617_THUMB_IPAD.jpg)

<http://www.zernoexport.com/catalog/catalog1/sorgo>

<http://ageconomists.com/2014/09/08/a-sorghum-story-part-ii/>

Cheng R., Dong Z. 2010. Cereals in China. Breeding and production of foxtailmillet in China. CIMMYT. s 87-95

Chobotová M., Prokeš K. 2013. Čirok, plodina s budoucností. Profi Press. Praha. Farmář 19 (2). s 24 – 26.

Ibrahim, D. G., Gilbert, M. E., Ripley, B. S., Osborne, C. P. 2008. Seasonal differences in photosynthesis between the C3 and C4 subspecies of *Alloteropsis semialata* are offset by frost and drought. *Plant, cell and environment*, 31 (7), s 1038–1050.

Jenks, M. A., Hasegawa, P. M., 2013. *Plant Abiotic Stress* (2nd Edition). Wiley-Blackwell. Somerset. s 336. ISBN 978-1-118-41217-6

Jones, M. B., Jongen, M. 1996. Sensitivity of temperate grassland species to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and the interaction with temperature and water stress [online]. [cit. 2016-3-07] Dostupné z <http://ojs.tsv.fi/index.php/AFS/article/view/5523>

Kadukova, J., Kavulicova, J. 2010. *Phytoremediation and Stress: evaluation of heavy metal-induced stress in plants*. Nova. New York. ISBN 978-1-61122-108-4 [online]. [cit. 2015-12-07] Dostupné z

<http://site.ebrary.com/infozdroje.czu.cz/lib/czup/reader.action?docID=10661660>

Kang, G., Li, G., Xu, W., Peng, X., Han, Q., Zhu, Y., Guo, T. 2012. Proteomics Reveals the Effects of Salicylic Acid on Growth and tolerance to Subsequent Drought Stress in Wheat. *American Chemical Society* [online]. [cit. 2014-2-08] Dostupné z <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/pr300728y>

Kára, J., Stražil, Z., Hutla, P., Ust'ak, S., 2005. Energetické rostliny, technologie pro pěstování a využití. VÚZT Praha – Ruzyně, s 81.

- Kaur, N., Gupta, A. K. 2005. Signal transduction pathways under abiotic stresses in plants; *Current Science*, 88 (10). s 1771-1780.
- Leder, I. 2004. Sorghum and millets. *Cultivated Plants, Primarily as Food Sources*, [online]. [cit. 2016-02-11]: Dostupné z: <http://www.eolss.net/ebooks/sample%20chapters/c10/e5-02-01-04.pdf>
- Li, R., Guo, P., Baum, M., Grando, S., Ceccarelli, S. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*. 5 (10). 751-757.
- Lichtenthaler, H. 1998. The Stress Concept in Plants: An Introduction. In: *Stress of life from molecules to man*. Csermely P. (ed.) *Annals of the NY Academy of Science* 851. 187-198.
- Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C., Knapp, M. 2004. Measurement of chlorophyll fluorescence kinetics (Kautsky effect) and the chlorophyll fluorescence decrease ratio (RFd-values) with the PAM-Fluorometer. *Analytical Methods in Plant Stress Biology*, The Franciszek Gorski Institute of Plant Physiology of the Polish Academy of Sciences, s 93-111.
- Liu, M., Qi, H., Zhang, Z.P., Song, Z.W., Kou, T.J., Zhang, W.J., Yu, J.L. 2012. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence to drought stress in two maize cultivars. *Africal Journal of Agricultural Research* 7 (34). s 4751-4760.
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E., Navarizzo, F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology* 119. s 1091–1099.
- Lynch, J.P. 2012. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of Botany* [online]. [cit. 2014-01-30] Dostupné z: [www.aob.oxfordjournals.org](http://www.aob.oxfordjournals.org)
- Mahajan, S., Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview [online]. [cit. 2016-3-07] Dostupné z <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16309626>
- Mansfeld, R., 1952. Zur Systematicund Nomenklatur der Hirsens. *Der Züchter* 20.
- Martin, J. H., MacMasters, M. M., 1952. Industrialusesfor grain sorghum. *USDA Yearbook* 1950 – 51, s. 349 – 352,

Meng, Z., Liu, Z-g., Chen, J., Duan, A., Zhang J., LIU Z-d. 2006. Effects of different soil moisture treatments on physiological characteristics of summer maize leaves [online]. [cit. 2014-4-07] Dostupné z

[http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-GHDQ200601019.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-GHDQ200601019.htm)

Mohr, H., Schopfer, P. 1995. *Plant Physiology*. Springer-Verlag. Berlin. s 629. ISBN 3-540-58016-6 [online]. [cit. 2016-3-07] Dostupné z <http://link.springer.com/article/10.1007%2F02896680>

Morgan, P. W., Abeles, F. B., Saltveit, M. E. 1992. *Ethylene in Plant Biology*. Academic Press, San Diego. s 414. ISBN 0-12-041451-1.

Moudrý, J. *Alternativní plodiny: Obecná biologie. Mikrobiologie. Botanika. Mykologie. Ekologie. Genetika*. VÚRV, Praha, 2011, 142 s. ISBN 978-80- 86726-40-3.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*. 25 (2). 239-250.

Munns, R., Testr, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. [online]. [cit. 2016-3-07] Dostupné z <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18444910>

Mursec B., Vindis, P., Janzekovic, M., Brus, M., Cus, F. 2009. Analysis of different substrates for processing into biogas. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 37(2). s 652-659.

Narayana, I., Lalonde, S., Hargurdeep S. S. 1991. Water-stress-induced ethylene production in wheat. *Plant Physiology*. 96. s 406-410.

Naumann, J. C., Young, D. R., Anderson, J. E. 2007. Linking leaf chlorophyll fluorescence properties to physiological responses for detection of salt and drought stress in coastal plant species. *Physiologia plantarum*, 131 (3), s 422–433.

Nilsen, E. T., Orcutt, D. M., 1996. *The Physiology of Plants Under Stress*. s 704. ISBN 978-0-471-03152-9.

[npgsweb.ars-grin.gov](http://npgsweb.ars-grin.gov). 2016a [online]. [cit. 2016-04-01] Dostupné z <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/accessiondetail.aspx?id=1628766>

- npgsweb.ars-grin.gov. 2016b [online]. [cit. 2016-04-01] Dostupné z <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/accessiondetail.aspx?id=1196705>
- Ocutt, M. D., Nielson, E. T. 2000. Physiology of plants under stress: Soil and biotic faktors. John Wiley & Sons. Hoboken. s 687. ISBN 0-471-17008 -9.
- Ohsumi, A., Hamasaki, A., Nakagawa, H., Yoshida, H., Shiraiwa, T., Horie, T. 2007. A model explaining genotypic and ontogenetic variation of leaf photosynthetic rate in rice (*Oryza sativa*) based on leaf nitrogen content and stomatal conductance. *Annals of Botany*. 99. 265-273.
- Paknejad, F., Nasri, M., Moghadam, H. R. T., Zahedi, H., Alahmadi, M. J. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parametrs, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences*. 7 (6). s 841-847.
- Pavliš, J., Koblížek, J., Jelínek, P. 2002. Užitékové rostliny tropů a subtropů. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, s. 35.
- Pereira, J. S, Chaves M. M.1993. Plant water deficits in Mediterranean ecosystems. In: Smith JAC, Griffiths H, eds. Plant responses to water deficits-from cell to community. Oxford: BIOS Scientific Publishers Ltd, 237–251.
- Petr, J., Capouchová, I., Kalinová, J., 2008. Alternativní plodiny, pseudocereálie a produkty ekologického zemědělství. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí, s. 156-157.
- Pišťíněk, T., 2015. Zkušenosti s pěstováním čiroku z Brněnska. Úroda [online]. [cit. 2016-01-26]: Dostupné z: <http://uroda.cz/zkusenosti-s-pestovanim-ciroku-z-brnenska/>
- Qureshi, M.I., Qadir, S., Zolla, L. 2007. Proteomics-based dissection of stress-responsive pathways in plants. *Journal of Plant Physiology* , 164, s 1239-1260.
- Ripley, B., Frole, K., Gilbert, M. 2010. Differences in drought sensitivities and photosynthetic limitations between co-occurring C3 and C4 (NADP-ME) Panicoid grasses. *Annals of Botany*, mcp307, s 1–11.
- Rooney, W., 2007. Breeding sorghum. In. Acquaaah G. Principles of Plant Genetics and Breeding. Blackwell publishing.

- Ruf, M., Brunner, I. 2003. Vitality of tree fine roots: reevaluation of the tetrazolium test. *Tree Physiology*. roč. 23, č. 4. s. 257-263.
- 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. s 231-266.
- Shao, H.-B., Guo, Q.-J., Chu, L.-Y., Zhao, X.-N., Su, Z.-L., Hu, Y.-C., Cheng, J.-F. 2007. Understanding of molecular mechanism of higher plant The Science of the Total Environment, *International Journal of Biological Sciences*, plasticity under abiotic stress. 54, s 37-45.
- Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Lu, Z.-H., Kang, C.-M. 2008. Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells. 4, s 8-14.
- Schulze, E. D., Beck, E. Müller-Hohenstein, K. 2005. *Plant Ecology*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH. Heidelberg. s 702. ISBN 978-3-540-20833-4.
- Singh, T. N., Paleg, L. G., Aspinall, D. 1973. Stress metabolism III. Variations in response to water deficit in the barley plant. *Australian Journal of Biological Sciences*. 26. s 65-76.
- Sobeih, W.Y., Dodd, I.C., Bacon, M.A., Grierson, D., Davies, W.J. (2004) Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying. *Journal of Experimental Botany* 55. s 2353-2363.
- Souza, R. P., Machado, E. S., Silba, J. A. B., Lagoa, A.M.M.A., Silveira, J. A. G. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847203000595>
- Strašil, Z., 1999. Energetické rostliny - 2 - Čirok. *Biom*, 1999, č. 6, s. 8.
- Stuchlík, V. O čiroku cukrovém a jeho využití v průmyslové výrobě. Brázda, Praha, 1951, s 74.
- Šantrůček, J. 2003. *Vodní režim rostlin*. Academia. Praha. ISBN 80-200-0586-2.



Taulavuori, K., Prasad, M.N.V., Taulavuori, E., Laine, K. 2005. Metal stress consequences on frost hardiness of plants at northern high latitudes: a review and hypothesis. *Environmental Pollution*, 135, s 209-220.

Taylor, S. H., Ripley, B. S., Woodward, F. I., Osborne, C. P. 2011. Drought limitation of photosynthesis differs between C3 and C4 grass species in a comparative experiment. *Plant, Cell and Environment*, 34 (1), s 65–75.

Terragis.au. Soil Water Potential [online]. 2007. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z [http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS\\_soil/sp\\_water-soil\\_and\\_water.html](http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_water-soil_and_water.html)

Ust'ak, S., 2014. Má širok budoucnost jako energetická plodina - ano, nebo ne? *Úroda* [online]. [cit. 2016-02-14]: Dostupné z: <http://uroda.cz/ma-cirok-budoucnost-jako-energeticka-plodina-ano-nebo-ne/>

Valíček P. a kol. 2002. *Užitkové rostliny tropů a subtropů*. Praha, Akademie věd České republiky, 485 s.

Vavilov, N. R., 1926. *Studies in the origin of cultivated plants*. Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii 16 (2), Leningrad.

Vinocur, B., Altman, A. 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology*. 16. s 123-132.

Vítámvás, P., Kosová, K., Prášil, T. P. 2007. Proteome Analysis in Plant Stress Research. *Czech Journal Genetic Plant Breeding*. Crop Research Institute Prague-Ruzyně. Czech Republic. 43 (1). s 1–6. [online]. [cit. 2016-02-14]: Dostupné z: <http://81.0.228.28/publicFiles/00104.pdf>

Wang, Ch., Yang, A., Yin, H., Zhang, J. 2008. Influence of water stress on endogenous hormone contents and cell damage of maize seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*. 50 (4). s 427-434.

Wood, J.M., Wang, H.-K. (1985). Microbial Resistance to Heavy Metals. In *Environmental Inorganic Chemistry (Proceedings)*, VCH Publishers, Inc. Deerfield Beach, Florida, s 487-512.

www.chmi.cz. [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>

www.vuvr.cz. 2016 [online]. [cit. 2016-04-01] Dostupné z [http://www.vurv.cz/index.php?p=genova\\_bank&site=vyzkum](http://www.vurv.cz/index.php?p=genova_bank&site=vyzkum)

Xu, B., Li, F., Shan, L., Ma, Y., Ichizen, N., Huang, J. 2006. Gas exchange, biomass partition, and water relationships of three grass seedlings under water stress. *Weed biology and management*, 6 (2), s 79–88.

Yuan, Y. , Deng, X. 2004. Effect of deficit and rewatering on wheat photosynthesis and yield [online]. [cit. 2014-4-07] Dostupné z <http://europepmc.org/abstract/CBA/405515>

Zámečník, J. 2008. Hospodaři rostliny s vodou efektivně? [online]. [cit. 2014-3-08] Dostupné z [http://www.mcm.yc.cz/skola/fnr/prednaska/stresory\\_2008.pdf#page=66](http://www.mcm.yc.cz/skola/fnr/prednaska/stresory_2008.pdf#page=66)

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

Zhang, H., Chen, S., Lui, M., Pei, D., Sun, H. 2005. Improved Water Use Efficiency Associated with Cultivars and Agronomic Management in the North China Plain [online]. [cit. 2014-4-07] Dostupné z <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/97/3/0783>

Zhang, H., Shan, L., Deng, X., Turner, N. C. 2006. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China [online]. [cit. 2015-12-07] Dostupné z <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377405002866>

# 9. Samostatné přílohy

## 9.1 Obrázky

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1: Rostlina čiroku - odrůda Red .....                     | 10 |
| Obrázek 2: Čirok obecný .....                                     | 11 |
| Obrázek 3: semena čiroku - světlá .....                           | 12 |
| Obrázek 4: semena čiroku - tmavá .....                            | 12 |
| Obrázek 5: Rostlina béru .....                                    | 14 |
| Obrázek 6: Bér vlašský .....                                      | 15 |
| Obrázek 7: semena béru .....                                      | 16 |
| Obrázek 8: Mapa pěstování čiroku .....                            | 17 |
| Obrázek 9: Výnos čiroku v buschlech na akr .....                  | 18 |
| Obrázek 10: Světová produkce a vývoz čiroku v tunách .....        | 18 |
| Obrázek 11 - Stav nasycení půdy vodou k datu 16.8.2015 v ČR ..... | 27 |
| Obrázek 12: Založení pokusu .....                                 | 35 |
| Obrázek 13: Kontrolní varianta .....                              | 36 |
| Obrázek 14: Varianta KS .....                                     | 37 |
| Obrázek 15: Varianta SK .....                                     | 37 |
| Obrázek 16: Varianta SS .....                                     | 38 |
| Obrázek 17 - Přístroj LCpro+ .....                                | 39 |
| Obrázek 18: Retenční komůrka .....                                | 39 |
| Obrázek 19 - Měření fluorescence .....                            | 41 |
| Obrázek 20 - Klips na měření fluorescence .....                   | 41 |
| Obrázek 21 - Přístroj OS1 FL .....                                | 42 |

## 9.2 Grafy

|  |    |
|--|----|
| Graf 1. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin béru v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....                      | 43 |
| Graf 2. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku genotypu 121 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....       | 45 |
| Graf 3. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Ruzrok v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....      | 47 |
| Graf 4. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Red v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....         | 48 |
| Graf 5. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku genotypu 304 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....       | 50 |
| Graf 6. Změny rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku a béru v závislosti na variantě pokusu .....                                       | 51 |
| Graf 7. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin béru v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....                 | 52 |
| Graf 8. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku genotypu 121 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....  | 54 |
| Graf 9. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Ruzrok v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu ..... | 56 |
| Graf 10. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku odrůdy Red v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu .....   | 57 |
| Graf 11. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku genotypu 304 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu ..... | 59 |
| Graf 12. Změny rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) juvenilních rostlin čiroku a béru v závislosti na variantě pokusu .....                                 | 60 |
| Graf 13. Porovnání efektivity využití vody (WUE) juvenilních rostlin čiroku a béru v závislosti na variantě pokusu .....   | 62 |
| Graf 14. Porovnání průměrné fluorescence chlorofylů (Fv/Fm) jednotlivých rostlin čiroku a béru v závislosti na variantě .....  | 63 |