

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Vliv vodního deficitu na rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů juvenilních rostlin kukuřice.

Bakalářská práce

Autor práce: Martin Ludvík

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

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv vodního deficitu na rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů juvenilních rostlin kukuřice." jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17. 4. 2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Františkovi Hnilíčkoví, Ph.D. za ochotu, cenné rady a připomínky i odborné vedení mé bakalářské práce.

Vliv vodního deficitu na rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů juvenilních rostlin kukuřice.

Souhrn

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) je s výměrou 184 192 053 ha nejpěstovanější plodinou na světě. Díky svému využití se dnes pěstuje téměř všude, a to i na místech, která jsou ohrožená suchem. Proto je cílem bakalářské práce stanovit a vyhodnotit meziodrůdové rozdíly v rychlosti výměny plynů a fluorescenci chlorofylů vybraných odrůd kukuřice seté, které byly po dobu 28 dní vystaveny vodnímu stresu.

Rostliny kukuřice odrůd Ambrosini, Lars, LG 3252 a Ricardinio byly pěstovány v nádobách v částečně řízených skleníkových podmínkách. Schéma pokusu zahrnovalo 4 varianty: KK, SK, KS a SS. Varianta KK představuje kontrolní variantu, která byla zavlažována po celou dobu pokusu na úroveň 70 % VVK. Další tři varianty představují varianty stresované, kdy byl vodní deficit navozen metodou postupného vysychání substrátu. Varianta SK byla prvních 10 dnů vystavena vodnímu stresu a následně až po zbytek pokusu zavlažována. Varianta KS byla prvních 10 dnů zavlažována a po zbytek pokusu vystavena vodnímu stresu a varianta SS byla prvních 10 dnů vystavena vodnímu stresu, poté 4 dny zavlažována, následně dalších 10 dnů vystavena vodnímu stresu a poslední 4 dny pokusu opět zavlažována. U rostlin byla ve dvoudenních intervalech měřena rychlost výměny plynů infračerveným analyzátozem plynů LCpro+ a fluorescence chlorofylů přístrojem OS1-FL. Na základě naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy a transpirace byla vypočtena hodnota efektivita využití vody (WUE).

Nejcitlivěji na vodní stres reagovala odrůda Lars, která vykazovala nejnížší průměrnou efektivitu využití vody (WUE 11,43) a zároveň měla nejvyšší rozdíl mezi kontrolou a stresem u parametru fluorescence chlorofylů (interval hodnot 0,012 (KS) až 0,048 (SS)). Jako odolnější vůči vodnímu deficitu se jeví odrůda Ambrosini, která měla nejnížší rozdíl rychlosti fotosyntézy mezi kontrolní a stresovanou variantou v rozmezí od 0,206 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (KS) do 0,474 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SS) a nejnížší rozdíl fluorescence chlorofylů v rozmezí od 0,007 (KS) do 0,025 (SS). Dále se jako odolnější jeví také odrůda Ricardinio, která měla nejvyšší průměrnou efektivitu využití vody (WUE 12,4) a zároveň nejnížší rozdíl rychlosti transpirace mezi kontrolní a stresovanou variantou v rozmezí od 0,036 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (KS) do 0,074 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SS).

Klíčová slova: Kukuřice setá, vodní deficit, fotosyntéza, transpirace, fluorescence, WUE

Response of gas exchange and chlorophyll fluorescence to water deficit in juvenile maize plants.

Summary

With the acreage of 184 192 053 hectares, maize (*Zea mays*) is the most cultivated crop in the world. Because of its high utilization it is cultivated almost everywhere these days, even in places endangered by draught. The objective of this bachelor thesis is to determine and evaluate the inter-variety differences in gas exchange rate and chlorophyll fluorescence of selected maize varieties, which have been exposed to water stress for the period of 28 days.

Maize plants of the Ambrosini, Lars, LG 3252 and Ricardinio variety were grown in container in partly controlled greenhouse conditions. The scheme of the experiment involved 4 variants: KK, SK, KS a SS. Variant KK represents a control variant, which was irrigated for the whole time of the experiment to the level of 70% AWC. The other three variants represent the stressed variants, where water deficiency was induced by the method of gradual drying out of the substrate. Variant SK was exposed to water stress for the first 10 days and subsequently it was irrigated for the rest of the experiment. Variant KS was irrigated for the first 10 days and exposed to water stress for the rest of the experiment. Variant SS was exposed to water stress for the first 10 days, then it was irrigated for 4 days, then stressed for another 10 days and subsequently irrigated for the last 4 days of the experiment. In 2-day intervals the gas exchange rate was measured by infrared gas analyser LCpro+ and chlorophyll fluorescence by OS1-FL device. Based on the recorded figures of the rates of photosynthesis and transpiration the water usage effectiveness (WUE) value was calculated.

The most sensitive reaction to water stress was shown by the Lars variety, which had the lowest average water usage effectiveness (WUE 11,43) a simultaneously the highest difference between control and stress in the chlorophyll fluorescence parameter (interval of figures from 0,012 (KS) to 0,048 (SS)). The Ambrosini variety appears to be more resistant to water deficiency. It had the lowest difference of photosynthesis rate between the control and stressed variants, ranging from 0,206 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (KS) to 0,474 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SS), and the lowest difference of chlorophyll fluorescence ranging from 0,007 (KS) to 0,025 (SS). Further, the Ricarinio variety also appears to be more resistant. It had the highest average water usage effectiveness (WUE 12,4) and simultaneously the lowest difference of transpiration rate between the control and stressed variants, ranging from 0,036 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (KS) to 0,074 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SS).

Keywords: maize, water deficiency, photosynthesis, transpiration, fluorescence, WUE

Obsah

1 Úvod.....	7
2 Cíle práce.....	8
3 Hypotézy	8
4 Literární rešerše	9
4.1 Botanická charakteristika kukuřice	9
4.2 Historie, původ a rozšíření kukuřice seté.....	11
4.3 Nároky kukuřice na prostředí.....	14
4.4 Obecná koncepce stresu	16
4.5 Definice vodního deficitu.....	19
4.6 Vliv vodního deficitu na rostliny	21
5 Metodika	26
6 Výsledky	32
6.1 Rychlost fotosyntézy	32
6.2 Rychlost transpirace	40
6.3 Efektivita využití vody (WUE).....	48
6.4 Fluorescence chlorofylu.....	49
7 Diskuze	50
7.1 Rychlost fotosyntézy	50
7.2 Rychlost transpirace	51
7.3 Efektivita využití vody (WUE).....	52
7.4 Fluorescence chlorofylu.....	53
8 Závěr	54
9 Seznam literatury	55

1 Úvod

Sucho je klasifikováno jako jeden z nejvíce škodlivých faktorů v oblasti životního prostředí, které omezují rostlinnou výrobu, proto je právě nedostatek vody největším ekologickým problémem. Z globálního pohledu se v současnosti na Zemi vyskytuje přibližně 61 % zemského povrchu, kde je roční úhrn srážek menší než 500 mm.

V České republice se v současnosti pěstuje okolo 335 000 ha kukuřice na siláž a na zrno. Česká republika nepatří zdaleka k suchým regionům, i tak jsou u nás desítky tisíc hektarů zemědělské půdy ohroženy suchem. Podle některých zdrojů se však mohou do 20 let na východních hranicích ČR objevit velká sucha, což ohrožuje především jižní Moravu.

Vedle dlouhodobého nedostatku vody je dalším problémem nepravidelné rozdělení srážek v průběhu vegetačního období v jednotlivých oblastech Země a kvalita vodních zdrojů.

To se samozřejmě projevuje i na produkci kukuřice, která je dnes nejpěstovanější plodinou na celém světě, protože se díky svému širokému využití pěstuje téměř všude a to i na místech, která jsou ohrožená suchem. Podle světových organizací se navíc místa s nízkým ročním úhrnem srážek budou z důvodů klimatických změn nadále rozšiřovat. Proto se moderní šlechtitelství zabývá šlechtěním nových, odolnějších odrůd a vyvíjí se nové pěstelské metody, které by nabídly na stanovištích s horšími vláhovými podmínkami přijatelné kvalitativní i kvantitativní parametry kukuřice.

Při vodním deficitu dochází v rostlině k významným fyziologickým změnám. Mezi ně patří i změna v rychlosti výměny plynů a fluorescence chlorofylů. Právě měřením a vyhodnocením těchto jevů u čtyř vybraných odrůd kukuřice v různých úrovních vodního stresu se zabývá i tato bakalářská práce.

2 Cíle práce

Vodní deficit je jedním z hlavních faktorů, které limitují rostlinou produkci po celém světě, především omezením růstu a produktivity mnoha druhů plodin (Cha-um a kol., 2010). Mezi tyto plodiny se řadí také kukuřice setá.

Z uvedených literárních dat vychází cíle bakalářské práce. Navržené cíle práce jsou:

1. Stanovit a vyhodnotit meziodrůdové rozdíly v rychlosti výměny plynů v závislosti na působení vodního deficitu.
2. Stanovit a vyhodnotit vliv vodního deficitu na fluorescenci chlorofylů vybraných odrůd kukuřice seté.

3 Hypotézy

Na základě navržených cílů práce byly stanoveny následující hypotézy:

1. Existují genotypové rozdíly v reakci rostlin na vodní deficit?
2. Existují genotypové rozdíly v rychlosti výměny plynů a fluorescenci chlorofylů u vybraných odrůd kukuřice seté?

Kukuřice je v současnosti nejpěstovanější plodinou světa. Často je tak pěstována v místech, která jsou ohrožená suchem. Proto je velmi důležitá volba odolné odrůdy, která i v sušších regionech dosáhne dobrých, stabilních výnosů.

4 Literární rešerše

4.1 Botanická charakteristika kukuřice

Kukuřice setá (*Zea mays* L.), viz obr 1, patří do čeledi lipnicovitých – *Poaceae*. Jedná se o robustní jednoděložnou a jednoletou travu, která dorůstá průměrně výšky kolem 150-400 centimetrů. Při vhodných podmínkách může kukuřice růst až do výšky 600 cm (Dostál a kol., 1989).



Obr. 1.: Kukuřice setá (Krv.agrobiologie.cz, 2015)

Kořeny v půdě pronikají v průměru do hloubky 1,5 až 3 metry. Optimálně vyvinutá kořenová soustava však může pronikat i do hloubky větší než jsou 3 metry. Většina jemných kořínků je rozložena mělce v orniční vrstvě v hloubce okolo 20 cm (Zimolka a kol., 2008). Kořenový systém se při včasném výsevu rozkládá v okruhu 2,5 m, při pozdním výsevu je to však pouze okolo 0,3-0,45 m. Kukuřice má primární a sekundární kořenovou soustavu. Primární kořenová soustava je zakládána již v zárodku, sekundární pak vzniká v přeslenech okolo bazálních uzlů. Sekundární kořenová soustava je tvořena souborem stonkových kořenů, které vznikají ve spodní meristémové části jednotlivých článků a to ve vrstvě odpovídajícího pericyklu. Běžně se vytvoří pět až sedm bazálních uzlů (Šuk a kol., 1998). Po stranách vyrůstá nad půdou ještě několik opěrných sekundárních kořenů, které mohou vybíhat ze spodních tří až čtyř nadzemních kolének stébla (Zimolka a kol., 2008). Podle Šuka a kol. (1998) je jednou

z důležitých funkcí sekundárních nadzemních kořenů je chránit kukuřici před poléháním a polámaním silným větrem.

Stéblo kukuřice, které je vyplněno dřevinou, je vzpřímené a 20-70 mm silné (Strnadová, 2011). Tato autorka dále konstatuje, že v dolní části je stéblo silnější a válcovité. Počet nadzemních článků a kolének se pohybuje v rozmezí 8 až 40. Hybridy, které se pěstují u nás, jich mají většinou 14-20. Stéblo kukuřice se na celkovém výnosu sušiny podílí z 30-50 % (Šuk a kol., 1998). Janda a kol. (1982) uvádí, že se v sušině stébla nachází 0,7 % dusíku, 0,11 % fosforu, 0,1 % vápníku, 1,2 % draslíku a 0,09% hořčíku.

Podle Šuka a kol. (1998) rozeznáváme u kukuřice dva základní typy listů a to horizontálně postavené (planofilní) a vertikálně postavené (erektofilní). Dnešní hybridní odrůdy kukuřice mají nejčastěji vertikální postavení listů, protože lépe využívají dopadající sluneční záření v porostu. Z každého nadzemního uzlu vyrůstá jeden list s paralelními žilkami. Samotná listová čepel je podle Strnadové (2011) tenká, mělce zvlněná s vystouplou hlavní žilkou. Tvorba listových základů je později, během vegetace ukončena vznikem samčího květenství (Šuk a kol., 1998). Listy ze stébla vyrůstají ve dvou protilehlých řadách a jsou střídavě uspořádané. Počet listů souvisí s raností hybridů. Ranější hybridy vytvářejí méně listů, pozdní naopak více, jak uvádí Hanišová (1997). Šuk a kol. (1998) dále konstatují, že listy se podílí na sušině kukuřice z 10-20 %.

Květenství kukuřice se výrazně liší stavbou od jiných lipnicovitých druhů. Tvoří totiž květy jednopohlavní, jednodomé, sestavené po dvou do klásků (Zimolka a kol., 2008). Samčí květenství je tvořeno vrcholovou latou a prašníkovými klásky. Kvěst začíná lata podle Šuka a kol. (1998) od středu a pyl se z květu uvolňuje asi 4-5 dnů, za nepříznivých podmínek až 8 dní. Samičí květenství vzniká na téže rostlině v úžlabí listů a je tvořeno palicí. Z vnějšku je vřetenem palice obaleno listeny. Z obalových listenů palice se uvolňují nitkovité čnělky, které se prodlužují natolik, že vyčnívají a jsou schopny spolu s rozdvojenými bliznami zachytit pylová zrna (Zimolka a kol., 2008).

Šuk a kol. (1998) uvádí, že při průměrné teplotě 17-20 °C je schopnost opylení blizny až 25 dní, avšak životnost pylu se pohybuje v řádech několika hodin. Všeobecně platí, že čím jsou vyšší teploty a nižší vzdušná vlhkost, tím rychleji odumírají pylová zrna. Janda a kol. (1982) dále uvádí, že je kukuřice rostlina větrosnubná. To znamená, že se pylová zrna přenášejí prostřednictvím větru na blizny a obrvené čnělky, kde vyklíčí a prorůstají k vajíčkům. K opylení většinou dochází pylem z jiné rostliny, protože samčí a samičí květenství na stejné rostlině nevykvétají ve stejnou dobu (Kůst, 2013). Šuk a kol., (1998) uvádí, že samoopylených rostlin kukuřice v porostech s nižším počtem rostlin může

dosahovat až 15 %, naopak u porostů s větší plochou se samoopylení pohybuje asi jen okolo 1-5 %.

V každém klasu je od 60 po více než 1000 obilek. Zrno kukuřice se může dělit dle formy na několik typů a to na tvrdý typ, zubovitý typ a mezityp, který vzniká křížením základních dvou typů (Kůst, 2013). Obilka nemá podélnou rýhu. Hmotnost tisíce semen kukuřice je od 300 do 350 gramů. Podle Hanišové (1997) obilky kukuřice obsahují v průměru 14-15 % vody, 8-9 % stravitelných bílkovin, 3,5-4,5 % tuku, 65-70 % glycidů a asi 1,5% minerálních látek. Kukuřice dále obsahuje větší množství vitamínu E a u žlutozrných odrůd také vitamínu A. Endosperm kukuřičného zrna tvoří podle Jandy a kol. (1982) 80 až 84 % jeho celkové hmotnosti. Embryo pak zaujímá 10 až 14 % hmotnosti zrna.

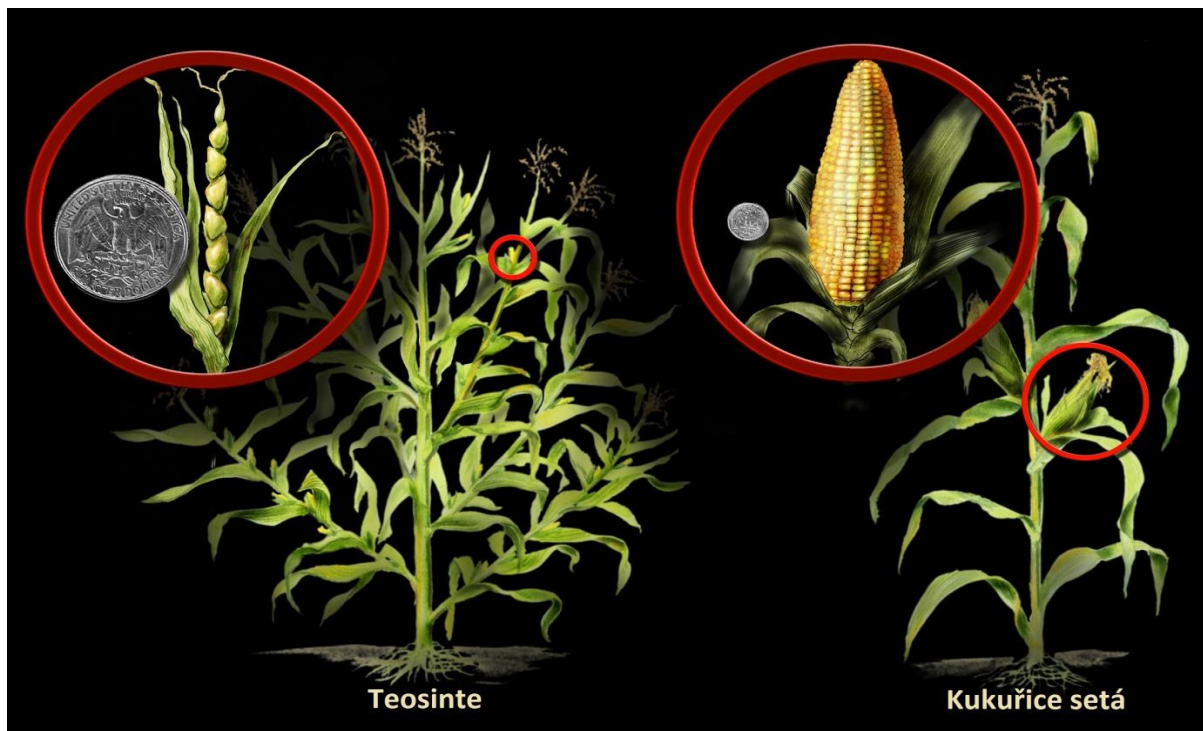
Kukuřici setá se podle Šuka a kol. (1998) dělí také v rámci druhu na osm poddruhů. Kukuřice obecná neboli tvrdá (*Zea mays* convar. *indurata*), kukuřice koňský zub (*Zea mays* convar. *identata*), kukuřice polozubovitá (*Zea mays* convar. *aorista*), kukuřice pukancová (*Zea mays* convar. *everta*), kukuřice cukrová (*Zea mays* convar. *saccharata*), kukuřice škrobnatá (*Zea mays* convar. *amylacea*), kukuřice vosková (*Zea mays* convar. *ceratina*) a kukuřice plevnatá (*Zea mays* convar. *tunicata*).

4.2 Historie, původ a rozšíření kukuřice seté

Dodnes je skutečný původ a stáří kukuřice pro botaniky z celého světa záhadou. Jedna z hlavních teorií praví, že předchůdcem dnešní kukuřice je planá, dávno vyhynulá prakukuřice s rozpadavým větvenem a s obilkami uzavřených v pluchách. Tato rostlina se vyskytovala ve vyšších polohách Jižní a Střední Ameriky, jak ve své práci uvádí Strnadová (2011).

Strnadová (2011) dále konstatuje, že další fází vývoje je dle vědců prokřížení s rostlinou *Tripsacum dactyloides*, které proběhlo nejspíše ve Střední Americe při zavedení prakukuřice do kulturní formy pěstování. Spontánním křížením těchto dvou primitivních rostlin vznikla tráva teosinte (*Euchleana mexicana*), která je na obrázku 2 v porovnání s moderní kukuřicí.

Podle Strnadové (2011) se během pěstování primitivní kukuřice indiánskými kmeny se spolu s trávou teosinte (*Euchleana mexicana*) opět mnohokrát spontánně prokřížili. Za několik tisíc let vlivem různých mutací, vlivem prostředí, ale také výběrem rostlin tehdejších pěstitelů vznikla kukuřice tak, jak ji známe dnes.



Obr. 2.: Tráva teosinte a kukuřice setá (Uoregon.edu, 2015)

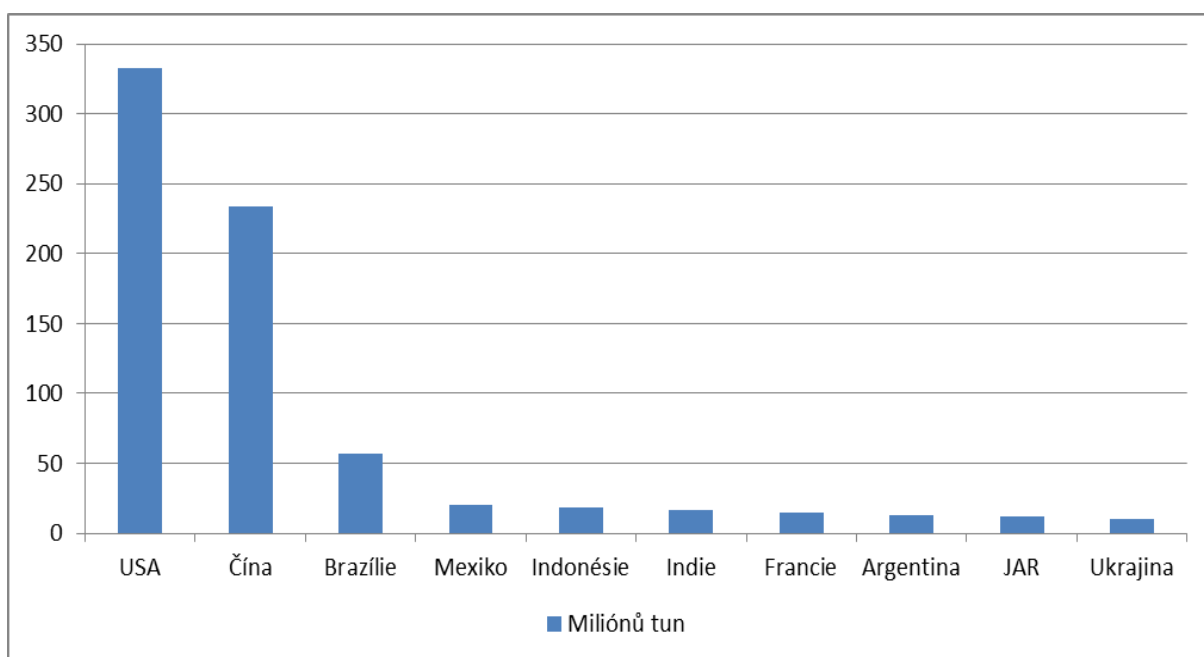
Analýza jednonukleotidových polymorfismů v genech 774 ukazuje, že u 2 až 4 % genů došlo k umělému výběru. Zbývající geny si zachovaly důkaz o zúžení populace spojené s domestikací. Posouzené vybrané geny s předpokládanou funkcí růstu jsou seskupeny poblíž kvantitativního znaku lokusů, které přispívají k fenotypovému rozdílu mezi kukuřicí a trávou teosinta. Domestikace kukuřice má za následek značně upravené květenství a architekturu rostlin. Dále vedla k znatelné změně výnosu, habitu rostliny, biochemického složení a dalších znaků (Wright a kol., 2005). Kůst (2013) uvádí, že se množení kukuřice od 16. století provádělo výhradně výběrem palic a teprve v roce 1930 se ve Spojených státech zahájil výzkum a šlechtění kukuřičných hybridů.

Hanišová (1997) konstatuje, že dle nálezů zbytků vřeten kukuřice v jeskynních původních obyvatel Ameriky, se kukuřice pěstuje nejméně 5500 let. Nejvíce se o vývoj kukuřice zasloužili civilizace Aztéků, Inků a Mayů, které měly založené hospodářství na pěstování právě této plodiny. Společně s kukuřicí se zde vyvíjely i nástroje pro jednodušší pěstitelský a sklízecí proces. Bylo zjištěno, že zásahy při šlechtění původních farmářů mělo větší dopad, než zásahy šlechtitelů současných (Kejnovský, 2012). Do Evropy se kukuřice dostala až díky cestám Kryštofa Kolumba, které podnikl v letech 1492 a 1494 (Strnadová, 2011). Ze Španělska se kukuřice počátkem 16. století rozšířila do Francie a Itálie, odkud se rozšířila dál do celé středomořské oblasti a později i na východ a na sever. Nejprve se v Evropě pěstovala jen v zahradách později, okolo 16 století, se však začala pěstovat i

v polních kulturách (Hanišová, 1997). Portugalci se zasloužili o dovoz kukuřice do jižní Afriky, která zde ve vhodných oblastech pro pěstování nahradila tradiční plodiny, jako čirok nebo proso. V roce 1516 se kukuřice rozšířila do Číny a odtud do Japonska, Polynésie a Lundských ostrovů. Největší rozšíření kukuřice v zemích starého kontinentu nastalo během 17 a 18 století, kdy se rozšířila téměř na celé jeho území. Některé prameny uvádějí, že se do Českých zemí kukuřice dostala v 17. století díky kočovným Romům z Turecka a Rumunska (Strnadová, 2011). V mnoha zemích kukuřici znali jako tureckou pšenici. Toto označení vzniklo z mylné představy, že kukuřice pochází z Přední Asie (Hanišová, 1997).

Dnes se kukuřice pěstuje na všech kontinentech kromě Antarktidy. Na severní polokouli se pěstuje až k 56 rovnoběžce v Kanadě a Rusku. Na jižní pak téměř všude s výjimkou jižního cípu Argentiny a Chile (Strnadová, 2011). Nejvíce se kukuřice pěstuje v Severní a Střední Americe, dále v Evropě a Jižní Americe. Méně rozšířená je pak v jižní Asii a v Africe (Hanišová, 1997).

Dle Českého statistického úřadu (Czso.cz, 2014a) byla kukuřice v roce 2014 zasetá celkem na 335 984 hektarech. Z toho na zrno bylo zaseto 100 453 ha, což je o 11 477 hektarů méně, než v roce 2013. Na zeleno a na siláž bylo zaseto celkem 235 531 ha, což je o 16 745 hektarů více, než v roce 2013 (Czso.cz, 2014b). Dle údajů organizace FAO (Faostat.fao.org. 2013) z roku 2013 byla celosvětově kukuřice na zrno zasetá na 184 192 053 hektarech. Největším producentem kukuřice v roce 2009 (viz obr. 3) bylo USA s 333 mil. tunami, na druhém místě v produkci byla Čína s 234 mil. tunami a třetím největším producentem byla s 57 mil. tunami Brazílie (Agricorner.com, 2011).



Obr. 3.: 10 největších producentů kukuřice 2009 (Agricorner.com, 2011).

4.3 Nároky kukuřice na prostředí

Kukuřice setá je rostlina, která pochází původně z oblasti Střední a Jižní Ameriky (Zimolka a kol., 2008). Jedná se tedy o rostlinu teplomilnou. Z toho důvodu nastává klíčení vyšlechtěných hybridů v době, kdy teplota půdy dosahuje 6-12 °C, obvykle však 8 °C (Janda a kol., 1982). Teplotní optimum pro klíčení se pohybuje podle Rileyho (1981) od 26 do 28 °C. Dolní hranice teplot pro tvorbu vegetativních orgánů je 10 °C a pro tvorbu reprodukčních orgánů a kvetení vyžaduje kukuřice minimálně 12-15 °C (Janda a kol., 1982). Pro kvetení je však optimální teplota až okolo 30 °C a pro dobrý rozvoj kořenů se udává teplota asi 24 °C (Hanišová, 1997). Rostlinám škodí nízké teploty již od -1 do -2 °C a to trvající déle než 3 nebo 4 hodiny, při kterých dochází k pomrznutí listů, či k zničení celé rostliny (Šuk a kol., 1998). Podle Hanišové (1997) kukuřici škodí také dlouho trvající teploty na hranici 7-10 °C, kdy dochází k zastavení aktivních procesů látkové výměny. Janda a kol. (1982), dále konstatuje, že u kukuřice při těchto teplotách dochází ke špatné přeměně cukrů na škrob a přerušuje se transport zásobních látek do palic. V letech, kdy od výsevu kukuřice do výšky rostlin 3-4 cm nastane chladnější počasí, je vývoj porostu opožděn a celkový výnos se pak stěží kompenzuje i za příznivého počasí na konci léta (Milbourn, 1975). Pro tvorbu sušiny jsou pak optimální teploty od 20 °C do 24°C (Janda a kol., 1982). Teplota ovlivňuje většinu životních projevů kukuřice. Samotnou teplotu prostředí (půdy a vzduchu) je podle Šuka a kol. (1998) možné ovlivnit jen minimálně a to agrotechnickými zákroky (kypřením půdy, mulčováním, závlahou, ochrannými pásy apod.) a volbou pozemku (druhem půdy, hladinou spodní vody atd.).

Dle ranosti hybridu se liší nároky na celkovou sumu teplot, která se pohybuje u nejranějších odrůd okolo 1700 °C a u odrůd nejpozdnějších v rozmezí od 3200 °C do 3500 °C (Hanišová, 1997). Tepelná suma udává součet průměrných denních teplot za vegetační období tj. od dubna do září. Ranost kukuřice určuje číslo FAO. Jde o číslo hybridu, které se počítá na základě středního obsahu sušiny v palici v době zralosti kukuřice na siláž ve srovnání s kontrolními hybridy. Platí, že rozdíl 10 čísel FAO je rozdíl ve zralosti 1-2 dny nebo rozdíl v sušině 1-2 %. V Evropské unii se FAO registrovaných odrůd pohybuje od 170 do 800 (Zimolka a kol., 2008).

Co se týká světla, patří kukuřice mezi plodiny, které ho přijímají velmi dobře. Na 1 ha půdy je kukuřice schopna vytvořit 20 000-60 000 m² asimilační plochy (LAI 2-6). Kukuřice má nároky jak na určitou intenzitu osvětlení, tak na délku osvětlení v dané vývojové fázi. Kratší den urychluje kvetení, ale také zmenšuje počet listů a výšku rostlin. Na využití

dopadajícího světla má vliv také hustota porostu. Pro lepší využití dopadajícího slunečního záření je lepší menší hustota s pravidelným rozmístěním rostlin. Hustotou porostu se dá tedy ovlivnit příjem a využití slunečního záření a tím zvýšit výnos sušiny a potřebných živin (Šuk a kol., 1998).

Kukuřice patří mezi rostliny, které mají nižší nároky na vodu. Její transpirační koeficient se pohybuje v hodnotách cca od 250 do 350. Díky dobře vyvinutému kořenovému systému je schopna překonávat i větší sucha. Přesto patří nedostatek vody k hlavním stresovým faktorům, který ovlivňuje vývoj a výnos rostliny (Černík, 2003).

Šuk a kol., (1998) uvádí, že potřeba vody pro jednu rostlinu se v praxi pohybuje okolo 200 litrů, což předpokládá asi 1600 mm srážek. Při klíčení potřebuje kukuřice dostatek půdní vody. Při teplotě 30 °C je pro růst kořínku potřeba 57 % vody v půdě. Při nižší teplotě např. okolo 12°C je již potřeba 75 % půdní vody (Šuk a kol., 1998). Pro dosažení vysokého výnosu zrna i celkové zelené hmoty potřebuje kukuřice dostatek přístupné vody, jejíž množství se mění v závislosti na růstové fázi. Z celkového vegetačního období kukuřice spotřebuje 30-40 % krátce před metáním a dále při kvetení až do začátku mléčné zralosti. Celkově pak tento úsek zaujímá 20 % z délky vegetačního období (Zimolka a kol., 2008). Naopak nadbytek vláhy a nedostatek vzduch v půdě se projevuje především světlým až žlutým zbarvením, nižším vzrůstem kukuřice a tvorbou zakrnělých palic (Šuk a kol., 1998). Podle Jandy a kol. (1982) má kukuřice v porovnání s jinými plodinami nízkou evaporační sumu. V teplejších a sušších vegetačních oblastech však vzrůstá spotřeba vody kukuřičným porostem ze 425 na 580 mm vody.

Pro kukuřici je významný především obsah vodních par. Při špatném uspořádání porostu, dochází především v suchých oblastech vlivem proudění vzduchu, k nadměrné transpiraci. S tím jsou spojené i poruchy rovnováhy mezi příjmem a výdejem vody (Šuk a kol., 1998).

V oblastech s méně vhodnými teplotními podmínkami je důležité věnovat zvýšenou pozornost výběru správného pozemku (Diviš a Longauerová, 1993). Pokud jde o kvalitu půdy je kukuřice nejnáročnější obilninou. K vysokým výnosům jsou potřeba středně těžké půdy s dostatečným obsahem organických frakcí, humusu a živin. Kořeny kukuřice vyžadují správný poměr vody a vzduchu a jejich prohřátí by mělo být co nejrychlejší. To je charakteristické pro hlinité typy půd. Nejlepší půdy pro kukuřici se vyznačují tím, že mají pH od 6,6 do 7,5. Toleruje však i půdy, které mají pH v rozmezí od 5,5 do 8 (Menyhért, 1985). Podle Šuka a kol. (1998) se kukuřici nedaří na půdách zamokřených, studených, a chudých na vápník. Dále se nedoporučuje kukuřici pěstovat na půdách značně kamenitých, rašelinných

půdách a sterilních pískách, půdách s nerozpustným podorničím a pozemkách v mrazových kotlinách. Při zakládání porostů kukuřice v méně příznivých podmínkách okrajových výrobních oblastí je kukuřici dobré přednostně zařazovat na pozemky s lehčí výhřevnější půdou, rovinaté buď s jižní, nebo k ní přilehlé expozici, která je chráněná před silnými severními větry. Vzhledem k odlišným půdním a klimatickým podmínkám musíme na různých stanovištích volit různé technologie zpracování půdy. Stále zatím převažují technologie, které vycházejí z konvenčního způsobu zpracování půdy a setí. Avšak i konvenční technologie se vyvíjí a uplatňují se v ní nové prvky (Šimon a kol., 1999).

Rostliny jsou velmi rozmanité především ve schopnosti růst, vyvíjet se a přežívat v širokém rozpětí vnějších podmínek. Pro každý rostlinný druh je charakteristické jiné rozpětí vnějších podmínek, které danému druhu vyhovuje (Kůdela a kol., 2013).

Podle Kůdely a kol. (2013) se v prostředí nacházejí faktory, které v určité míře negativně působí na rostlinu. Tyto faktory nazýváme jako stresové faktory neboli stresory. Problematice stresů u rostlin budou věnovány následující kapitoly.

4.4 Obecná koncepce stresu

Na to, aby rostlina překonala určitý stresový faktor, je podle Kůdely a kol. (2013) potřeba mobilizovat energetické zdroje a obranné nebo adaptivní či poplašné fyziologicko-biochemické reakce. Samotný stav, při kterém se organismus odlišuje od normálu, nebo ho nějakým způsobem abnormálně zatěžuje, se nazývá stres. Selye (1936) definoval stres jako nescifickou reakci těla na jakýkoliv jeho požadavek. Podle Larchera (1987) je stres stav, kdy rostoucí nároky rostliny vedou k počáteční destabilizaci funkcí, následuje normalizace a zvýšená odolnost. V případě, že je meze tolerance překročena a adaptivní kapacita přetížena, může dojít k trvalému poškození nebo dokonce smrti.

Lichtenthaler (1998) uvádí, že za stres mohou být považovány jakékoliv nepříznivé podmínky a látky, které ovlivňují nebo blokují rostlinný metabolismus, růst či vývoj. Lze rozlišovat stresy krátkodobé a dlouhodobé, jakož i stresy slabé, které mohou být částečně kompenzovány aklimatizací, adaptací a opravnými mechanismy a stresy silné nebo chronické, které způsobují značné škody a mohou vést až k buněčné nebo dokonce rostlinné smrti.

Projevem stresovaných rostlin může být zpomalování životních funkcí a k tomu patří nižší tvorba biomasy, či výskyt vývojových vad. Dále může docházet k poškození jednotlivých orgánů a v konečné fázi až k uhynutí celé rostliny (Kůdela a kol., 2013). Rostlina, jako přisedlý organismus, spoléhá na proteomickou plasticitu. Ta se dokáže přetvořit během období vývojových změn, snášet různé podmínky prostředí a reagovat na biotické a

abiotické stresy (Dreher a Callis, 2007). Adaptace rostlin na stres životního prostředí je také závislá na aktivaci kaskády molekulárních sítí zapojených do vnímání stresu, signální transdukcí 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).

S vlivem stresorů, při kterých dochází k rostlinným změnám, souvisejí dva pojmy – modifikace a mutace. První z pojmů, modifikace, je nedědičná fenotypická změna, která trvá až do vyznění příčiny, jež ji způsobuje. Například pod vlivem vnějších podmínek dojde ke změně habitu rostliny, avšak u potomstva je zachován původní tvar těla. Druhý z pojmů, mutace, je genetická trvalá změna, která se předává i na potomstvo. Mutaci může kromě řady různých příčin způsobit i vliv stresorů, kdy je tlak vnějšího prostředí takový, že dosavadní fyziologický stav rostliny je již nevýhodný pro dané prostředí (Bláha a kol., 2003).

Dalšími důležitými pojmy, které patří k rostlinnému stresu, jsou adaptace a aklimatizace. Adaptace je proces, při kterém organismus dosáhne příznivé úpravy pro životní prostředí, v kterém se právě nachází. Tato úprava může být buď dočasná, nebo trvalá a je získána prostřednictvím krátkodobých, či celoživotních procesů. Může zahrnovat fyziologické, strukturální, behaviorální, nebo kulturní změny zaměřené na zlepšení funkční výkonnosti organismu ve stresovém prostředí. Aklimatizace se vztahuje ke změnám, které jsou získané během vývoje organismu. Ty snižují nápor způsobený stresovým prostředím nebo komplexními vlivy okolního prostředí (Muehlenbein a kol., 2010).

Rostliny se v přírodě setkávají se dvěma základními skupinami stresových faktorů. Ty se dělí na:

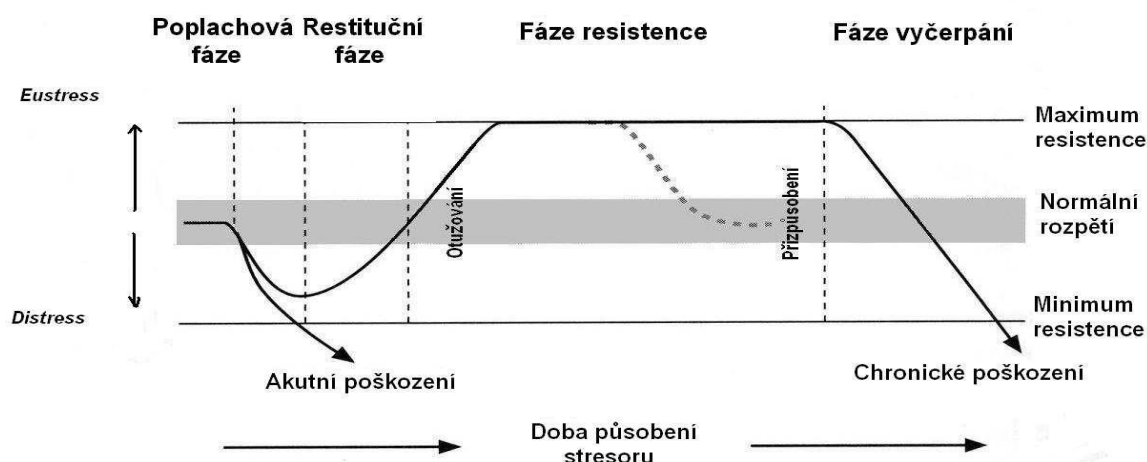
- Abiotické faktory:
- Fyzikální
 - mechanické účinky větru a těles,
 - nedostatek nebo nadbytek záření,
 - vysoké nebo nízké teploty,
 - Chemické
 - nedostatek nebo nadbytek vody,
 - nedostatek kyslíku,
 - nedostatek živin v půdě,
 - nadbytek iontů solí a vodíku v půdě,
 - toxické plyny a látky,
 - pesticidy (Kúdela a kol., 2013),
- Biotické faktory:
- herbivorní živočichové,
 - patogenní mikroorganismy (Flynn, 2003),
 - alelopatie, parazitismus (Ungar, 1998).

Faktory vnější abiotické se u rostliny mohou v různé délce a v různé intenzitě projevat po celou délku její vegetace. Čím je délka života rostliny delší, tím se zvyšuje možnost vystavení abiotickým stresům. Kromě přirozených půdních a podnebních změn je za poslední desetiletí viditelný nárůst abiotických změn, na kterých se podílí člověk (Kůdela a kol., 2013).

Pro rostliny je dále důležitá schopnost vyhnout se nebo tolerovat působení stresorů. Mechanismy vyhýbání se stresu jsou různé a závisí především na typu stresu. Vyhýbání se může uskutečnit na úrovni celé rostliny, orgánu nebo buňky. Tento obranný mechanismus umožňuje vyhnout se napadení tím, že vyloučí stresor nebo napětí, které produkuje, z rostlinného systému. Tolerance je pak schopnost udržet si rostlinné funkce v přítomnosti stresoru nebo napětí. Rostliny tolerují napětí zejména návratem do klidového režimu (Toriyama a kol, 2005). Působením stresorů dochází v rostlině ke spuštění řady změn, které dohromady tvoří stresovou reakci (Larcher, 1987).

Stresová reakce se dá rozdělit na tři fáze (viz obr. 4):

1. Poplachová fáze s nárůstem stresu, při které dochází k odchylce od normy funkcí, což má za následek snížení vitality rostliny.
2. Restituční fáze, při které dochází k mobilizaci kompenzačních mechanismů, pokud ovšem intenzita působení stresoru nepřekračuje letální úroveň.
3. Fáze rezistence s rozšířenou expozicí, při které je skrze adaptační procesy nejprve obnoveno normální chování rostliny a později je zvýšena její celková odolnost.
4. Fáze vyčerpání, která nastává při přetížení schopnosti se přizpůsobit. Je zapříčiněna příliš dlouhou expoziční dobou, přičemž dochází k chronické slabosti a případně i úmrtí celé rostliny (Larcher, 1987).



Obr. č. 4 Průběh stresové reakce (upraveno podle Larcher, 1987)

Stresová reakce nemusí vést vždy k zastavení vývoje, ale může být též pozitivní a vést k rozvoji vlastností organismů. Teprve nepřiměřeně dlouhé a intenzivní působení stresorů může vést k úpadku přirozených vlastností nebo dokonce k potlačení vývoje (Blažková a Hladký, 2008).

Samotná stresová rezistence však nemusí být produkována pouze abiotickými stresory, ale i stresory biotickými. Mohou ji totiž indukovat i elicitory, které právě patogenní organismy faktory produkují a to složkami případně fragmenty buněčných stěn, které vznikají jako produkt enzymatického rozkladu v důsledku patogeneze. Tyto produkty tedy slouží jako sekundární elicitory obranných reakcí. Indukovanou rezistenci lze vyvolat i jinými, než přirozenými elicitory (Angelova a kol., 2006). Podle Radmana a kol. (2003), jsou elicitory klasifikovány jako fyzikální nebo chemické, biotické nebo abiotické a komplexní nebo vymezené v závislosti na jejich původu a molekulární struktuře.

Pokud se jedná o hledisko obecně biologické, může stresor působit na různých úrovních rostliny a v různých časových dimenzích. Stresor může působit na úrovni organely. Aktivita jejich enzymů, které se řádově pohybují ve zlomcích sekund, stačí na podstatné ovlivnění funkcí celé organely. Dále stresor může působit na úrovni buňky či pletiva, kdy se jedná většinou o období hodiny až týdne. To je nezbytné pro podchycení a změření reakce rostliny. Na úrovni individuální rostliny je konečný efekt měřen obvykle po roce, životním cyklu, či po vegetačním období rostliny. Pokud působí stresor na úrovni celého společenstva, jedná se o záležitost, která je měřena a pozorována mnoho let. Při působení na úrovni celého ekosystému se změny prokáží řádově až i po několika staletích. Veškeré biologické regulace adaptací rostlin ve stresových podmínkách se provádí vždy pouze na molekulární úrovni (Bláha a kol., 2003).

4.5 Definice vodního deficitu

Vodní stres je jedním z nejvíce omezujících faktorů životního prostředí, co se týká produktivity rostlin na celém světě a může být způsoben jak půdním, tak atmosférickým vodním deficitem (Flexas a Madrano, 2002). Na celém světě se vyskytuje přibližně 61 % zemského povrchu, kde je roční úhrn srážek menší než 500 mm (Deng a kol., 2005).

Vodní deficit vzniká v důsledku zasolení, nízkých teplot a dehydratace a tím negativně ovlivňuje růst rostlin. Pro rostliny je tak naprosto nezbytné překonat takovéto situace v různých úrovních aklimatizace, či adaptace (Khurana a kol., 2009). Dle Penky (1985) je vodní deficit rozdíl mezi aktuálním obsahem vody v rostlině a obsahem vody při maximálním nasycení. Důležitým ukazatelem tolerance rostlinného stresu je relativní obsah vody (RWC),

(Virginia a kol., 2012). Relativní obsah vody může být přesně určený pomocí poměru čerstvé hmotnosti pletiva ke hmotnosti plně nasyceného pletiva. Relativní obsah vody se vyjadřuje v desetinné formě. Právě poměr hmotnosti mezi čerstvým a plně nasyceným pletivem bývá označován jako relativní hmotnost pletiva (Smart a Bingham, 1974).

Z pohledu prvovýroby je možné definovat nedostatek vody jako podmínky, kdy nedostačující půdní vlhkost není schopna zajistit potřebu jednotlivých pěstovaných plodin v průběhu času. Potřeba vody závisí, kromě druhu dané rostliny a stupni jeho vývoje, také na povětrnostních a půdních faktorech oblasti (Hnilička a kol., 2008). Z hlediska biologického můžeme rozlišit sucho na půdní a atmosférické. Atmosférické sucho se projevuje vysokou teplotou a relativně malou vlhkostí vzduchu pohybující se okolo 15 %. Sucho půdní se pak projevuje nízkým obsahem fyziologické vody v půdě (Cablík, 1951). Dle Českého hydrometeorologického ústavu (Chmi.cz, 2015) je sucho rozlišováno na půdní, klimatické a hydrologické. Sucho půdní lze definovat jako nedostatek vody v půdním profilu, kterým jsou způsobeny poruchy ve vodním režimu zemědělských plodin i volně rostoucích rostlin. Klimatické sucho je často definováno jako srovnání srážkových poměrů aktuálního období k období dlouhodobému. Vodní sucho je pak způsobeno následkem nedostatku srážek. Projevem vodního sucha je úbytek zdrojů podzemních a povrchových vod, které může být ovlivněno také lidským využíváním vody. Penka (1985) uvádí, že při dostatečně vlhké půdě nemusí být atmosférické sucho tak nebezpečné jako sucho půdní.

Vodní deficit se rozlišuje podle délky doby trvání pasivní vodní bilance na trvalý a přechodný. Příčinou trvalého vodního deficitu je nedostatečná absorpce vody a jiné příčiny (např. zastavení růstu kořenů při nedostatečné aeraci půdy, otravou kořenů aj.). Trvalý vodní deficit se může projevit i při dostatečné vlhkosti půdy v extrémních případech atmosférického sucha. Jedná se však o přechodný jev. Často bývá při suchu kombinován trvalý vodní deficit s deficitem denním přechodným (Penka, 1985).

Penka (1985) dále konstatuje, že přechodný denní vodní deficit je způsoben převažující transpirací nad absorpcí. Tento druh deficitu je během dne u většiny rostlin způsobován pasivní bilancí a během noci se téměř vždy vyrovnává a právě tím je dán chod denního vodního deficitu.

Kvantifikace indikátorů půdního sucha a poznání jejich prostorové variability jsou považovány za zásadní pro správné hydrologické dělení zemědělských půd, pokud jde o jevy spojené s vodou praktického významu, jako je riziko sucha, tvorba odtoků a eroze půdy. K těmto ukazatelům se řadí například vodní potenciál půdy, půdní hydrolimity nebo také bod trvalého vadnutí (Orfánus, 2005).

Údaj o tendenci pohybu půdní vody se vyjadřuje vodním potenciálem půdy (Ψ). Ten je definován jako práce, kterou je zapotřebí vložit na dodání čisté vody do výchozího místa v půdě. Jestliže jsou všechny póry v půdě zaplněné vodou (půda je plně nasycená) je nominální hodnota vodního potenciálu půdy rovna nule. Ve většině případů je však půdní potenciál menší než nula. To je indikováno záporným znaménkem hodnoty Ψ (Terragis.au, 2007).

Hydrolimity můžeme definovat jako určitou vlhkost půdy, které je dosaženo za domluvených přesně definovaných podmínek. Hydrolimity je možné využít při zjišťování vodní bilance v půdním profilu, obsahu vody přístupné pro rostliny, při výpočtu závlahového množství pro jednotlivé plodiny apod. Výpočet hydrolimitů lze provádět více způsoby, např. laboratorně, využitím vlhkostních retenčních křivek atd. (Štekauerová a kol., 2002)

Bod trvalého vadnutí je definován jako nejvyšší obsah vody v půdě, při kterém indikátorové rostliny, rostoucí v této půdě, nevratně vadnou. Nejčastěji je uváděno, že půda na bodu trvalého vadnutí má vodní potenciál -1,5 MPa. Bod trvalého vadnutí může být označován také jako produkt rostlin, půdy a atmosférických procesů (Stewart a Howell, 2003).

4.6 Vliv vodního deficitu na rostliny

Dle Chavese a kol. (2003) se reakce rostlin na vodní stres výrazně liší dle různých organizačních úrovní v závislosti na intenzitě a době trvání stresu (Hnilička a kol., 2008), jakož i na rostlinném druhu a jeho fázi vývoje. Obyčejně zastihuje sucho rostliny ve vývojových fázích, kdy je pro ně příjem vody nejvíce důležitý. V těchto termínech se rostlina nachází v takzvaném kritickém období. Půdní sucho nastává většinou koncem jara a během léta. V tomto období probíhá u většiny rostlin vývojová fáze rychlého růstu a fáze kvetení a zrání (Penka, 1985).

Bray (1993) uvádí, že vodní deficit vyvolává komplex reakcí začínající vnímáním stresu, které iniciuje signální transdukcí a projevuje se ve změnách na buněčné, fyziologické a vývojové úrovni. Soubor pozorovaných odpovědí závisí na závažnosti a trvání stresu, rostlinném genotypu, vývojové fázi a ekologických faktorech, které poskytují daný stres.

Při stresu suchem vykazují řadu fyziologických a biochemických reakcí také buňky. Sucho poškozuje buněčné membrány a narušuje aktivitu různých enzymů, zejména těch, které fixují CO_2 a syntetizují ATP. Buněčný růst je jedním z fyziologických procesů, který je velmi citlivý na sucho v důsledku snížení turgoru. Při velkém vodním deficitu může být prodlužování buněk vyšších rostlin inhibováno přerušením vodního proudu z xylému na

okolní prodlužující se buňky. Porucha mitózy, prodlužování buněk a expanze může mít v konečné fázi za následek nižší výšku rostlin a menší listovou plochu (Farooq a kol., 2008). Důležitý je také vodní potenciál rostliny, který slouží také jako indikátor vody v rostlině. Pokles vodního potenciálu se může negativně projevit na růstu a vývoji rostlin. Ovlivňuje například růst a tvorbu buněčné stěny, syntézu proteinů, citlivost průduchů a biochemické a fotochemické procesy ve fotosyntéze (Cary a Fisher, 1971).

Sucho negativně ovlivňuje téměř všechny aspekty metabolismu rostlin (Filippou a kol., 2011). Snižuje například asimilaci CO₂ v důsledku snížené vodivosti průduchů. Dále vyvolává snížení obsahu a aktivity enzymů fotosyntézy redukující uhlík, včetně klíčového enzymu ribuloso-1,5-bifosfát karboxylázy/oxygenázy (Reddy a kol., 2004). Při vodním deficitu klesá v buňkách turgor, což znamená, že buňka není plně nasycená vodou (Kůdela a kol., 2013). Když klesne obsah fyziologicky přístupné vody na minimum, je prakticky přerušena příjem vody, přitom transpirace vlivem vyšších teplot stále narůstá (Penka, 1985).

Sucho navozuje řadu změn na morfologické, fyziologické, biochemické a metabolické úrovni ve všech rostlinných orgánech. Proto je stále důležitějším aspektem, schopnost rostlin, přizpůsobit se suchu (Filippou a kol., 2011). Nejprve rostlina odebírá vodu z nejstarších orgánů, hlavně z listů. Stářím se u listů výrazně snižuje intenzita a reakční povrch koloidů (Penka, 1985). Jestliže se rostlina vyvíjí od počátku vegetace v suchu, je anatomicko-morfologicky lépe adaptována. Pokud se projeví stres v důsledku nedostatku vody až v průběhu vegetace, dochází k zřetelné redukci listové plochy a také k redukci uhlíkového přírůstku (Hnilička a kol., 2008). Při snižování turgoru během tvorby květenství se redukuje celkový počet květů a tím je ohrožena reprodukce rostliny. Pokud se nedostatek vody dostaví až během dozrávání plodů, vývoj, který probíhal doposud, nebude ovlivněn, pouze se sníží hmotnost semen a může se zvýšit celkový opad plodů. Pro zajištění reprodukčního potenciálu rostliny se omezuje tvorba semen a plodů. Semena jsou totiž často menší velikosti a mají nižší klíčivost se sníženým množstvím zásobních látek (Hnilička a kol., 2008). Při delším suchu rostliny vadnou a odumírají (Kůdela a kol., 2013).

Nejvíce se vodním stresem narušují růstové procesy, protože respirační pochody jsou vyšší než pochody anabolické (Penka, 1985). To se projevuje zpomalením nebo zastavením vývoje a růstu, rostliny jsou zakrnělé a jejich barva je bledě zelená až světle žlutá a mají menší množství malých a předčasně opadávajících listů. Při delším suchu rostliny vadnou, či dokonce dochází k jejich úhynu (Kůdela a kol., 2013).

V současnosti je při křížení a šlechtění rostlin kromě fyziologických odezev na vodní stres nutné poznat i jednotlivé geny. V prvopočátcích bylo šlechtění rostlin na stres způsobený

vodním deficitem spíše náhodné a zaměřovalo se především na zvýšení celkového výnosu. Později se však začalo rozvíjet výběrem různých fyziologických a vývojových parametrů, což byla kupříkladu schopnost vyrovnání se s dehydratací a efektivita využití vody. S tím, jak se rozvíjelo genové inženýrství, byly také objevovány geny, které jsou zodpovědné za zvýšenou tvorbu osmolytik, což jsou LEA proteiny, ROS a aquaporiny (Hnilička a kol., 2008). LEA (late embryogenesis abundant) jsou proteiny, které se hromadí při vývoji semen u rostlin. Později byly nalezeny ve vegetativních částech rostlin, které byly zatěžovány životním prostředím a také na bakteriích a bezobratlých živočiších tolerantních k vysychání. Obecně se předpokládá, že LEA proteiny hrají zásadní roli v toleranci k buněčné dehydrataci. Jejich fyziologické a biochemické funkce jsou do značné míry pořád neznámé (Hundertmark a Hinch, 2008).

Dehydriny představují odlišnou biochemickou skupinu LEA proteinů. Jsou charakterizované přítomností lysin-bohatých aminokyselin K-segmentu. Jsou vysoce hydrofilní, rozpustné a bohaté na glycin a polární aminokyseliny (Kosová a kol., 2007). Podle Hanina a kol. (2011) hrají dehydriny nebo skupina 2 LEA bílkovin zásadní úlohu v reakci a přizpůsobení rostlin abiotickým stresům. Hromadí se typicky ve zralých semenech nebo jsou indukované ve vegetativních pletivech po zasažení zasolením, dehydratací, chladem a mrazem. Předpokládá se, že hrají důležitou ochrannou úlohu při buněčné dehydrataci, ale jejich přesná funkce zůstává nejasná.

ROS (reactive oxygen species) - reaktivní formy kyslíku - jsou vedlejší produkty aerobních metabolických procesů, jako je dýchání a fotosyntéza. Tyto reaktivní formy kyslíku produkují mitochondrie, chloroplasty a peroxizomy. Společným znakem různých ROS druhů je schopnost způsobit oxidační poškození proteinů, DNA a lipidů. ROS také fungují jako signální molekuly v rostlinách, které jsou zapojeny do regulace rostlinného vývoje, obranných reakcí proti patogenům, programované buněčné smrti a do řízení průduchů. Proto se současná věda zabývá mechanismy výroby a odstraňování ROS v rostlinách během vývoje v abiotických a abiotických stresových podmínkách (Apel a Hirt, 2004).

Aquaporiny spolu s aquaglyceroporiny tvoří skupinu pórových proteinů. Ty umožňují účinný a selektivní tok malých rozpuštěných látek přes biologické membrány (Hub a Groot, 2007). Další oblastí jsou informace o genomech a proteomikách, kde se dá využít molekulově biologická technika (Hnilička a kol., 2008). K zlepšení výnosu odrůd v rámci vodního stresu se používá několik šlechtitelských technik, mezi které patří například konvenční šlechtění nebo šlechtění pomocí markery asistované selekce. Tyto metody jsou sice do značné míry

úspěšné, ale jsou také omezeny časem a dalšími potřebnými zdroji (Pellegrineschi a kol., 2004).

Odezvu rostlin na stres dokáží regulovat také regulátory růstu (Wang a kol., 2008). Problematika vlivu fytohormonů na vodní stres byla studována v práci Vaadia (1976). K tomuto účelu se využívají například hormony IAA (kyselina indol-3-octová), ABA (kyselina abscisová), GA (kyselina gibberelová) aj. (Koshita a kol., 1999). Například z výsledků Wanga a kol. (2008) je patrné, že vodní stres má významný vliv na hladinu kyseliny abscisové (ABA), gibberelinu (GA), zeatinu (ZT) a kyseliny indol-3-octové (IAA) v listech kukuřice. Výsledky naznačují, že došlo k přechodnému zvýšení obsahu IAA v průběhu počáteční fáze přizpůsobení vodnímu stresu v listech kukuřice, avšak v odezvě na vodní stres poté ihned klesla. Obsah ABA se po 24 hodinách vodního stresu dramaticky zvýšil a tato hladina byla zachována až do konce. Naopak hladina ZT a GA při vystavení vodnímu stresu rychle klesala. Je možné, že ZT a GA jsou účinné při ochraně mladých rostlin kukuřice vůči vodnímu stresu, což by bylo velmi dobré pro zlepšení tolerance k suchu v kukuřici pomocí genetické manipulace (Wang a kol., 2008). Kyselina abscisová hraje důležitou roli při zrání semen a klíčení, jakož i v přizpůsobení se abiotickým stresům prostředí. ABA dále podporuje uzavírání průduchů, tím, že rychle mění tok iontů ve svěracích buňkách. Další ABA reakce zahrnují například modifikaci exprese genů. Povaha ABA receptorů však zůstává stále neznámá (Leung a Giraudat, 1998). Podle Pospíšilové a kol. (2005) se koncentrace kyseliny abscisové při vodním deficitu výrazně zvyšuje, v některých případech až 40x.

Mezi fytohormony patří také etylen, který je již dlouhou dobu znám pro svou schopnost indukovat opad a právě opad je známá reakce vodního stresu u některých rostlin (Hsiao, 1973). Tento rostlinný hormon dále ovlivňuje rozmanité spektrum růstu rostlin a vývojových procesů včetně klíčení, stárnutí listů a květů, prodlužování buněk, zrání ovoce a reakce na širokou škálu stresů (Argueso a kol., 2007). Podle Narayana a kol. (1991) podporují odlišné druhy stresu produkci etylenu u různých rostlinných druhů v různých rostlinných pletivech. Mezi stresy, které zvyšují tvorbu etylenu, patří záplavy, mechanické poranění, napadení hmyzem, záření, chemické látky, zchlazování, zmrazování, vysoká teplota a právě již zmiňovaný vodní deficit.

Do skupiny fytohormonů patří také brassinosteroidy. Jsou to běžné látky, které produkují rostliny. Mohou působit jako regulátory růstu a jsou také přínosné svojí antioxidační schopností. Exogenní aplikace brassinosteroidů může ovlivnit řadu různých procesů růstu a vývoje rostlin. Kromě toho začíná být jasné, že brassinosteroidy ovlivňují jak negativně tak pozitivně další významné signální dráhy, včetně těch, které regulují auxin a

etylén (Behnamnia a kol., 2009). Nedávné studie ukázaly, že kromě zásadního ovlivňování růstu a vývoje rostlin mají brassinosteroidy také antistresový účinek (Singh a Shono, 2005).

Kompatibilní osmolyty jsou silnými osmoprotektanty a hrají roli v působení proti účinkům osmotického napětí. Prolin je jedním z nejčastějších kompatibilních osmolytů u rostlin postižených vodním stresem (Yoshida, 1997). Kromě prolinu se mezi osmolyty řadí také mannitol, fruktany, trehalóza, glycin betain nebo inositol. Úlohou těchto sloučenin je zprostředkovat osmotickou úpravu a ochranu subbuněčných struktur rostlin (Hare a kol., 1998). Hromadění této aminokyseliny může být součástí adaptace některých rodů v nepříznivých podmínkách prostředí (Delauney a Verma, 1993). Prolin se používá jako hodnotící parametr pro plánování závlahy a výběru odrůd odolných vůči vodnímu stresu, protože jeho množství v rostlině postižené vodním stresem se zvyšuje úměrně rychleji než u ostatních aminokyselin (Bates, 1973).

5 Metodika

Byl sledován vliv vodního deficitu na čtyři vybrané genotypy kukuřice (viz obr. č. 5). U pokusných rostlin kukuřice, v juvenilní fázi, byla sledována rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů.



Obr. č. 5.: Kukuřice ve stresované variantě KS (foto autor)

Pokusný rostlinný materiál

Sledované fyziologické charakteristiky byly hodnoceny u následujících 4 genotypů kukuřice:

Ambrosini

Tato odrůda byla registrována v roce 2009. Ambrosini je tříliniový velmi raný hybrid s číslem ranosti cca 220. Rostlina je středně vysoká až vysoká s palicemi nasazenými středně vysoko. Počet řad zrn je středně vysoký až vysoký a samotné zrno je pak tvrdého typu až mezitypu. Výnos celkové suché hmoty je vysoký a výnos celkové zelené hmoty je středně vysoký až vysoký. Ambrosini má také vysoký obsah škrobu. Ideální zemědělský výrobní typ je pro tuto odrůdu určenou na siláž řepařský, obilnářský a bramborářský (Eagri.cz, 2015).

Ricardinio

Tato odrůda byla registrována v roce 2010. Ricardinio je dvouliniový velmi raný hybrid s číslem ranosti cca 230. Rostlina je vysoká až velmi vysoká s palicemi nasazenými středně vysoko až vysoko. Počet řad zrn je středně vysoký až vysoký s typem zrna

charakterizovaného jako mezityp. Výnos zrna u této odrůdy je vysoký. Ideální zemědělský výrobní typ je pro tuto odrůdu určenou na zrno především řepařský (Eagri.cz, 2015).

Lars

Tato odrůda byla registrována v roce 2007. Lars je dvouliniový velmi raný hybrid s číslem ranosti 220 při využití na siláž a 230 při využití na zrno. Typ zrna spadá do kategorie mezityp. Lars je vynikající pro pěstování na siláž a LKS, což je směs hrubě pošrotovaných palic spolu s listeny a vřeteny (Osevauni.cz, 2008).

LG 3252

Tato odrůda byla registrována v roce 2007. LG 3252 je tříliniový hybrid s číslem ranosti 240. Vyznačuje se dobrým podílem zrna v siláži, stabilními výnosy a má vyvážený poměr škrobů a stravitelné vlákniny. Má vynikající hektarový výnos suché hmoty a energie (Lgseeds.de, 2014).

Založení pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku KBFR FAPPZ. Teplota byla nastavena 25°C ve dne a 18°C v noci, za přirozeného světelného režimu (14 hodin světla a 10 hodin tmy). Pokusné rostliny byly pěstovány v nádobách o velikosti 11x11 cm, ve směsi zahradnického substrátu Prima Flora a říčního písku. Poměr těchto složek činil 2:1. Prima Flora je klasický univerzální substrát, který má vysoký obsah organických látek pro pěstování květin na záhonech a ve sklenících (Agrocs.cz, 2008). 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, s podílem částic nad 25mm max. 5 %. Obsah živin byl následující: N: 80–120 mg l⁻¹, P₂O₅: 50–100 mg l⁻¹, K₂O: 100–150 mg l⁻¹. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg kg⁻¹ sušiny. Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200. Rostliny byly vysévány metodou postupných výsevů, což znamená, že po dobu 15 dnů se vždy vysévá část potřebného rostlinného materiálu. Metoda postupného výsevu zajišťuje působení stresu u rostlin ve stejné vývojové fázi. Rostliny byly zavlažovány na úroveň 70 % VVK, což představuje cca 150 ml vody na jednu nádobu a hodnotu vodivosti 857 mV.

Působení vodního deficitu

Rostliny ve fázi 6. listů (BBCH 16) byly rozděleny dle schématu pokusu do 4 skupin, vždy při zachování 5 opakování od každého genotypu a varianty pokusu. Schéma pokusu zahrnovalo 4 varianty: KK, SS, KS a SK, jak dokládá tab. XX. Rostliny kontrolní byly po celou dobu pokusu zavlažovány na 70 % VVK a obdobně byly zavlažovány rostliny stresované při obnovení zálivky (rehydratace). Vodní stres byl navozen metodou postupného, přirozeného vysychání substrátu.

Tab. XX.: Schéma pokusu

Varianta	Forma stresu (počet dnů)			
KK kontrolní	Zavlažováno (28)			
SS stresovaná	Nezavlažováno (10)	Zavlaž. (4)	Nezavlaž. (10)	Zavlaž. (4)
KS stresovaná	Zavlažováno (10)	Nezavlažováno (18)		
SK stresovaná	Nezavlažováno (10)	Zavlažováno (18)		

Změny obsahu vody v půdě u stresovaných a kontrolních rostlin byl sledován přístrojem AT Theta Kit (Delta - T Device, Velká Británie). Hodnoty obsahu vody v půdě byly přepočteny na základě změn vodivosti půdního substrátu, viz tab. XXX. Odběr rostlin se uskutečnil vždy ve dvoudenních intervalech. Počet odběrů byl 15.

Tab. XXX.: Změna vodivosti (mS) půdy v rámci pokusných variant

Den pokusu	varianta			
	KK	KS	SK	SS
0	853	853	853	853
2	854	855	797	797
4	856	857	752	758
6	857	859	684	698
8	853	850	649	634
10	855	851	551	592
12	850	768	566	602
14	857	754	580	629
16	850	674	599	667
18	856	652	601	669
20	857	546	615	598
22	853	456	625	556
24	857	406	651	506
26	850	303	698	418
28	856	291	769	303

Metody měření sledovaných charakteristik

Stanovení rychlosti výměny plynů.

U juvenilních rostlin kukuřice byla sledována rychlost výměny plynů infračerveným analyzátozem plynů LCpro+ (ADC BioScientific LTd., Hoddesdon, Velká Británie). LCpro+ (viz obr. č. 6 a 7) je gazometrický přenosný přístroj pro měření fyziologických parametrů. Měří např. rychlost fotosyntézy a transpirace, substomatální CO₂ a stomatální vodivost.

K záznamu dat používá přístroj paměťovou kartu typu SD. Měřicí hlavice je pak schopna regulovat teploty +/- 14 °C od teploty okolí (Ekotechnika.cz, 2014). PAR je naměřeno za pomoci čidla, které je na bázi křemíku. Teplota komory je naměřena pomocí přesného termistoru, který se nachází na listové komůrce. Teplota listu je pak měřena miniaturním termistorem. Ten je umístěn na pružině, která se stlačuje proti listu. Může být měřena také externím termistorem, který je umístěn v rukojeti. Průtok plynu do komůrky je měřen přesným čidlem průtoku a řízen na přednastavenou hodnotu. Hodnotu si také může nastavit sám uživatel (Adc.co.uk, 2015).

Fyziologické charakteristiky byly měřeny při konstantním osvětlení $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a teplotě 20 °C, vždy v dopoledních hodinách (Holá a kol., 2010), od výsadby po sklizeň v 2 – 3 denním intervalu.



Obr. č. 6.: Měřicí hlavice přístroje LCpro+ (foto autor)



Obr. č. 7.: Přístroj LCpro+ (foto autor)

Stanovení fluorescence chlorofylů.

U juvenilních rostlin kukuřice byla sledována fluorescence chlorofylů přístrojem OS1-FL (Opti-Sciences, Velká Británie). OS1-FL (viz obr. č. 8 a 9) je přenosný chlorofyl fluorometr ideální pro rychlé měření a hodnocení stresu (Optisci.com, 2005).

Stanovení fluorescence chlorofylů se vykonávalo přímo ve skleníku KBFR FAPPZ. Po rozmístění klipů na listy rostlin kukuřice se po 30 minutách provádělo měření. Do každého klipu se posvítilo OS1-FL přístrojem, který následně vyhodnotil právě fluorescenci chlorofylů a následně data uložil. Při měření bylo měřeno vždy 5 listů od každé odrůdy ve všech čtyřech variantách.

Rozšíření fotoinhibice vyvolané stresem v jakémkoliv prostředí, může být dle Hopkinse (2004) rychle hodnocena měřením poklesu optimálního kvantového výtěžku, který se vypočítá jako:

$$(F_M - F_0)/F_M = F_V/F_M \text{ (Hopkins a kol., 2004).}$$



Obr č. 8.: Přístroj OS1-FL (foto autor)

Obr č. 9.: Klip k přístroji OS1-FL (foto autor)

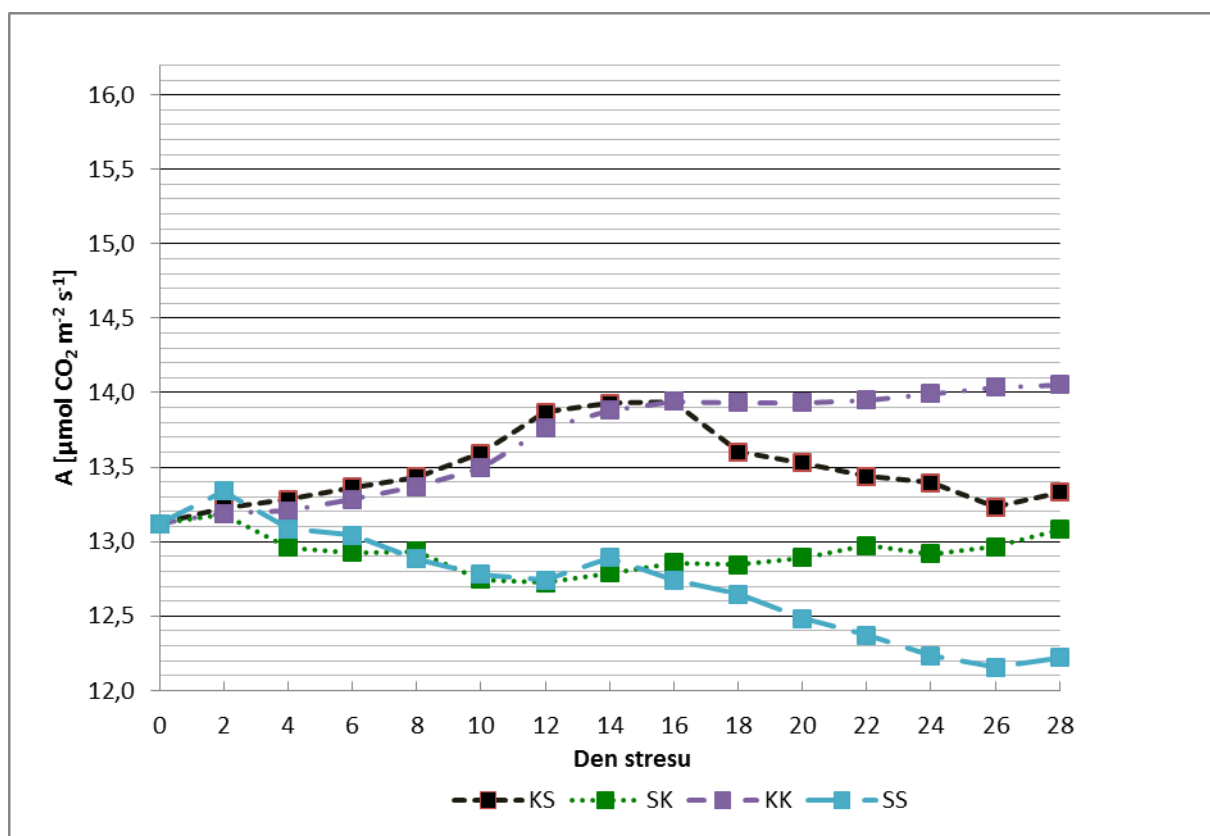
6 Výsledky

6.1 Rychlost fotosyntézy

Z grafu 1 vyplývá vliv varianty pokusu na rychlost fotosyntézy (A) odrůdy Lars. Z uvedeného grafu je zřejmé, že naměřený interval hodnot rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice odrůdy Lars byl od $12,154 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (26. den, varianta SS) do $14,053 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den, varianta KK). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti fotosyntézy byl $1,899 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

U kontrolní varianty KK byla nejvyšší hodnota naměřena v 28. den měření ($14,053 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána na počátku měření 0. den ($13,121 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Z grafu 1 je dále patrné, že rychlost fotosyntézy u kontrolních rostlin odrůdy Lars vykazuje postupný trend v nárůstu naměřených hodnot fotosyntézy.

Graf 1. Změny rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) odrůdy Lars v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu.



U rostlin rostoucích ve variantě KS byla maximální rychlost fotosyntézy naměřena 2. den měření, kdy rychlost fotosyntézy byla $13,943 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naopak nejnižší

hodnota fotosyntézy byla naměřena v 0. dni měření, kdy rychlost fotosyntézy byla $13,121 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. V období zálivky se rychlost fotosyntézy pohybovala v intervalu hodnot $13,121 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) až $13,591 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po navození vodního deficitu se rychlost fotosyntézy nejprve zvýšila na hodnotu $13,943 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (16. den) a poté vlivem postupného vysychání substrátu se rychlost fotosyntézy snižovala z hodnoty $13,603 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (18. den) až do konce sledovaného období. Na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši $13,331 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, je uvedena v grafu 1. Z něho je patrné, že naměřené hodnoty fotosyntézy byly v rozpětí hodnot $12,723 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) až $13,185 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den). V průběhu působení 10 denního vodního deficitu se rychlost fotosyntézy snižovala z hodnoty $13,185 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den) na hodnotu $12,746 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po obnovení zálivky byla rychlost fotosyntézy $12,723 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a vlivem postupné rehydratace narůstala fotosyntéza až do konce sledovaného období, kdy poslední den měření byla rychlost fotosyntézy $13,080 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, viz graf 1.

Z grafu 1 dále vyplývá, že rychlost fotosyntézy u varianty SS byla ovlivněna působením vodního deficitu. Na počátku pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši $13,121 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, poté ale dochází k prudkému poklesu hodnot fotosyntézy na minimum $12,778 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). K navýšení došlo pouze 2. den ($13,340 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Tento trend byl zaznamenán v průběhu působení stresu. Po rehydrataci dochází ke zvýšení rychlosti fotosyntézy až na hodnotu $12,894 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den). Tato rehydratace byla opět vystřídána vodním deficitem. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu dochází k poklesu rychlosti fotosyntézy z hodnoty $12,894 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den) na hodnotu $12,154 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (26. den). Tento pokles byl opět vystřídán zvýšením na hodnotu $12,219 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den) v důsledku opětovného obnovení zálivky.

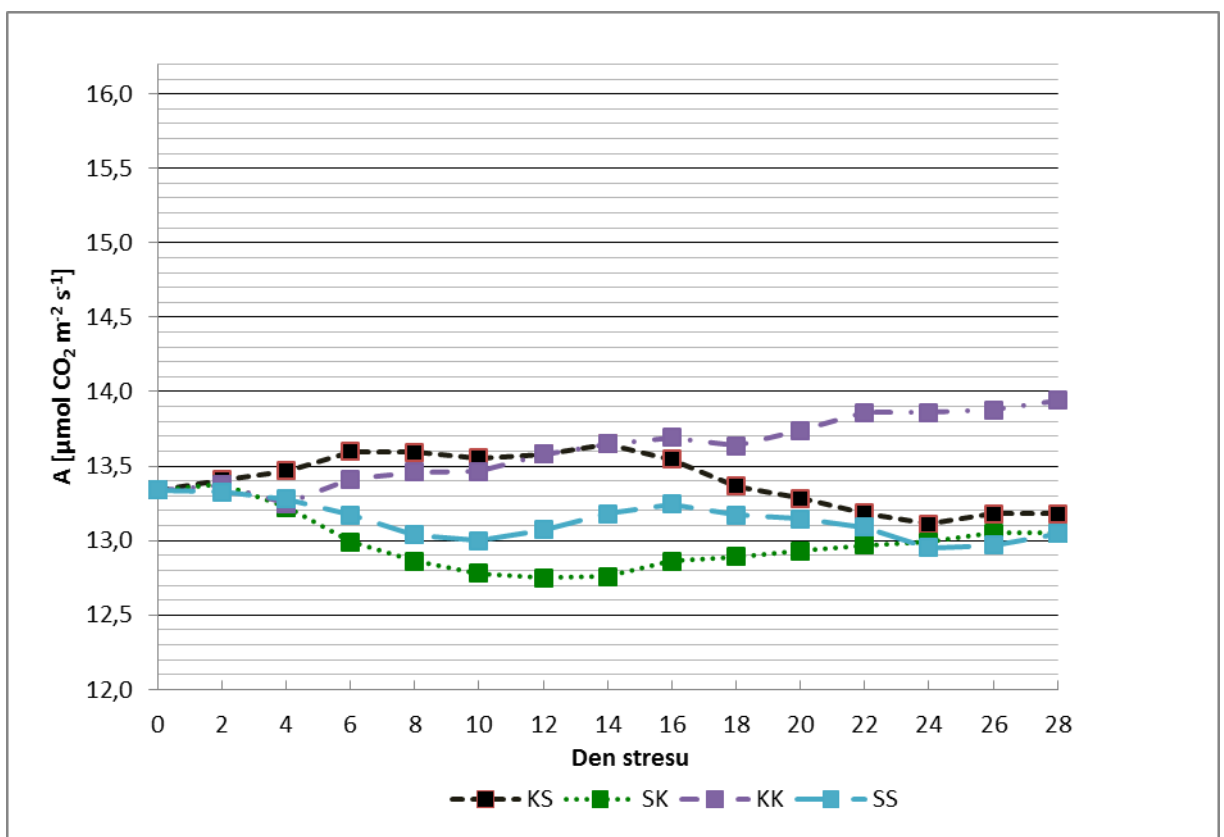
Graf 2 znázorňuje změny rychlosti fotosyntézy odrůdy Ambrosini v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu. Z naměřených dat je patrné, že interval hodnot rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice odrůdy Ambrosini byl od $12,750 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den, varianta SK) do $13,940 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den, varianta KK). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti fotosyntézy byl $1,19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

U kontrolní varianty KK byla nejvyšší hodnota naměřena ve 28. den měření ($13,940 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána 4. den

(13,250 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Z grafu 2 je dále patrné, že rychlost fotosyntézy u kontrolních rostlin odrůdy Ambrosini má stoupající tendenci naměřených hodnot.

U rostlin rostoucích ve variantě KS byla maximální rychlost fotosyntézy naměřena 14. den měření, kdy rychlost fotosyntézy byla 13,651 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naopak nejnižší hodnota fotosyntézy byla naměřena ve 24. dni měření, kdy rychlost fotosyntézy byla 13,111 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. V období závlivky se rychlost fotosyntézy pohybovala v intervalu hodnot 13,339 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) až 13,598 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (6. den). Po navození vodního deficitu se rychlost fotosyntézy nejprve zvýšila na hodnotu 13,651 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den) a poté vlivem postupného vysychání substrátu se rychlost fotosyntézy snižovala až do konce sledovaného období. Na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy rostlin z varianty KS ve výši 13,180 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Graf 2. Změny rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) odrůdy Ambrosini v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu.



Rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, je uvedena v grafu 2. Z něho je patrné, že naměřené hodnoty fotosyntézy byly v rozpětí hodnot od 12,750 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) do 13,379 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den). V průběhu

působení 10 denního vodního deficitu se rychlost fotosyntézy snižovala z hodnoty 13,379 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den) na hodnotu 12,780 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po obnovení závlivky byla rychlost fotosyntézy 12,750 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) a vlivem postupné rehydratace narůstala až do konce sledovaného období, kdy poslední den měření dosáhla fotosyntéza výše 13,053 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Z grafu 2 dále vyplývá, že rychlost fotosyntézy u varianty SS byla od 1. do 10. dne ovlivněna působením vodního deficitu. Na počátku pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši 13,339 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, poté ale dochází k prudkému poklesu hodnot fotosyntézy na minimum 13,000 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po rehydrataci dochází ke zvýšení rychlosti fotosyntézy až na hodnotu 13,182 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den). Tato rehydratace byla opět vystřídána vodním deficitem. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu dochází k poklesu rychlosti fotosyntézy z hodnoty 13,247 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (16. den) na hodnotu 12,971 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (26. den). Tento pokles byl opět vystřídán zvýšením na hodnotu 13,047 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den) v důsledku opětovného obnovení závlivky.

Z grafu 3 je patrné, že naměřený interval hodnot rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice odrůdy Ricardinio byl od 13,312 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (24. den, varianta SS) do 15,107 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den, varianta KK). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti fotosyntézy byl 1,795 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

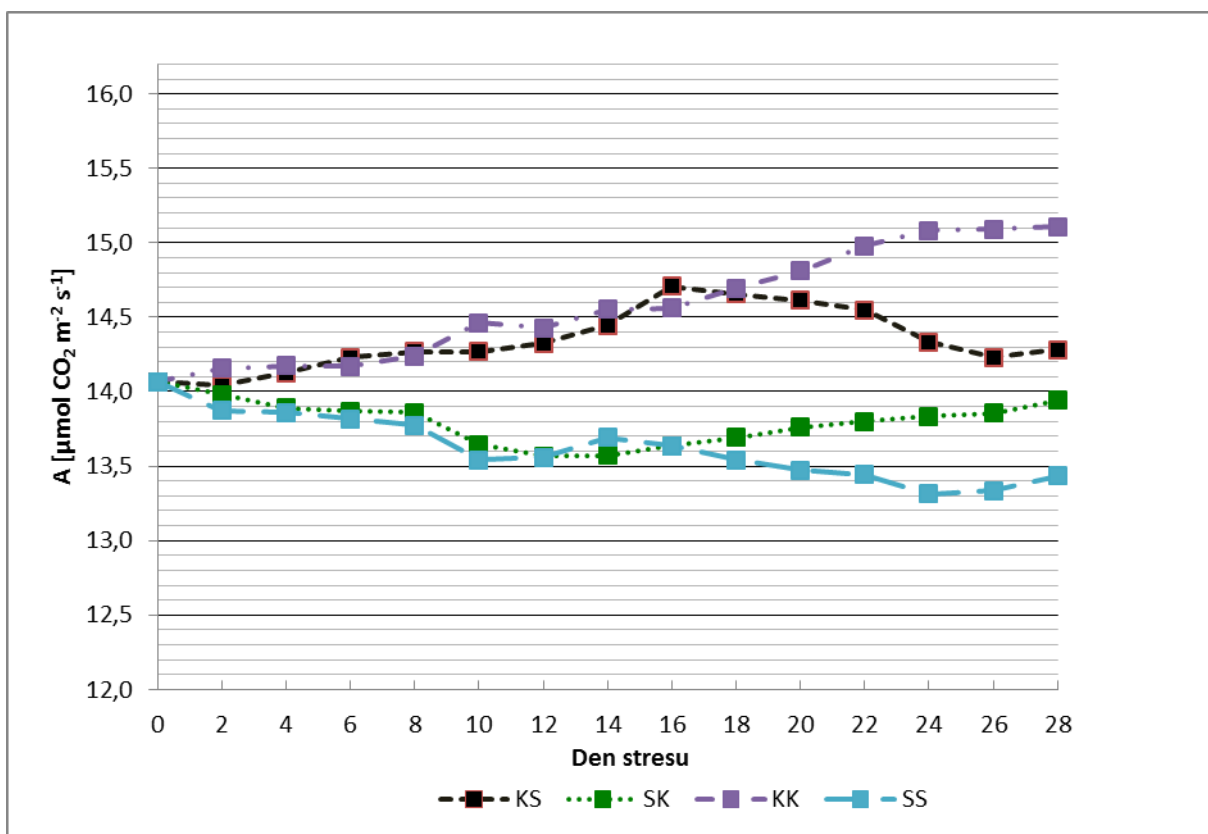
U kontrolní varianty KK byla nejvyšší hodnota naměřena v 28. den měření (15,107 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána na počátku měření 0. den (14,067 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Stejně jako u grafu 2 je i u grafu 3 patrné, že rychlost fotosyntézy u kontrolních rostlin vykazuje trend v nárůstu naměřených hodnot.

U rostlin rostoucích ve variantě KS byla nejvyšší rychlost fotosyntézy naměřena 16. den měření, kdy rychlost fotosyntézy byla 14,706 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naopak nejnižší hodnota fotosyntézy byla naměřena ve 2. dni měření (14,040 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). V období závlivky se rychlost fotosyntézy pohybovala v rozpětí hodnot od 14,040 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den) do 14,271 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (8. den). Po navození vodního deficitu se rychlost fotosyntézy nejprve zvýšila na hodnotu 14,706 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (16. den), ale poté vlivem postupného vysychání substrátu se rychlost fotosyntézy začala pozvolně snižovat až do konce sledovaného období. (14,280 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, je uvedena v grafu 3. Z něho je patrné, že naměřené hodnoty fotosyntézy byly v rozpětí hodnot 13,566 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) až 14,067 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den). V průběhu působení 10

denního vodního deficitu se rychlost fotosyntézy snižovala z hodnoty $14,067 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) na hodnotu $13,643 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po obnovení zálivky byla rychlost fotosyntézy $13,566 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a vlivem postupné rehydratace narůstala až do konce sledovaného období, kdy rychlost fotosyntézy byla $13,941 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, jak je patrné z grafu 3.

Graf 3. Změny rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) odrůdy Ricardinio v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu.

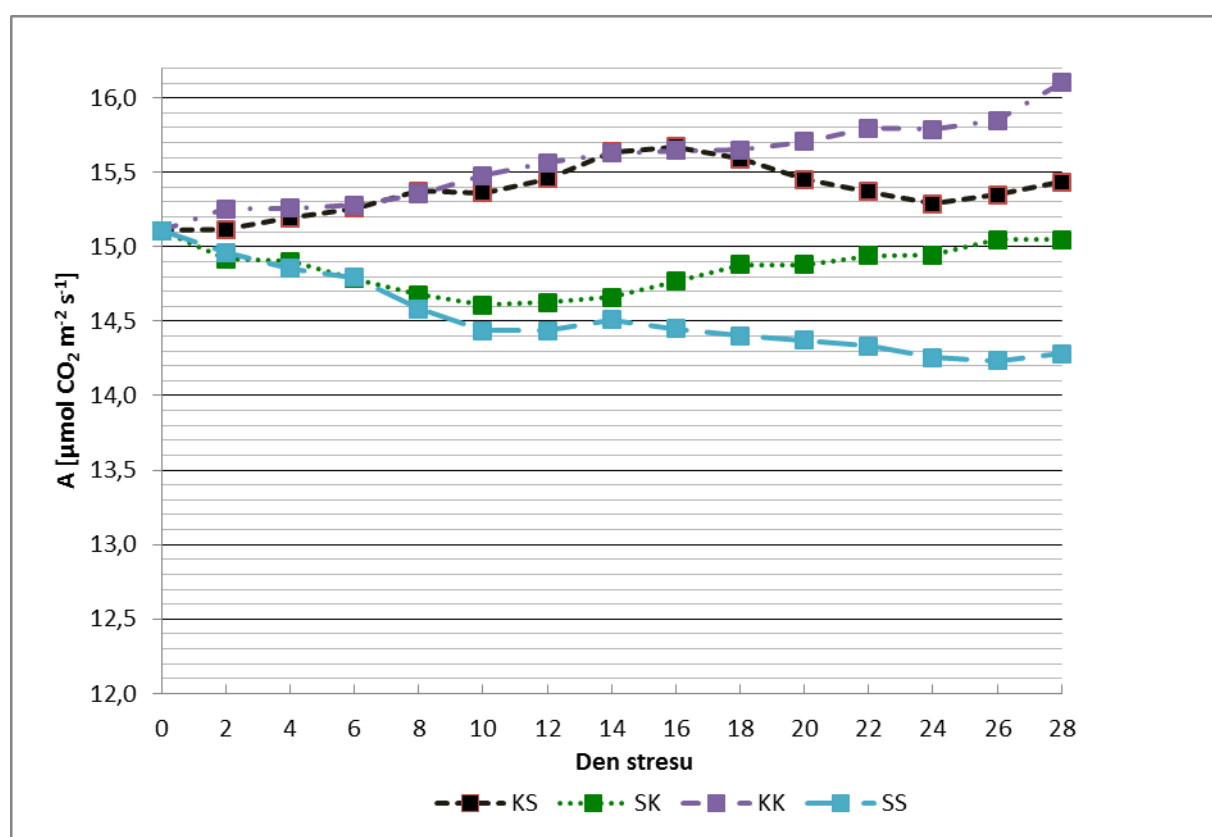


Z grafu 3 dále vyplývá, že rychlost fotosyntézy u varianty SS byla ovlivněna působením vodního deficitu. Na počátku pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši $14,067 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, poté ale dochází k průkaznému poklesu hodnot fotosyntézy na minimum $13,543 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po rehydrataci dochází nejprve ke zvýšení rychlosti fotosyntézy až na hodnotu $13,691 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den), které bylo vystřídáno opět poklesem fotosyntézy v důsledku opětovného navození vodního deficitu. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu dochází k poklesu rychlosti fotosyntézy z hodnoty $13,691 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den) na hodnotu $13,312 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (24. den). Tento

pokles byl opět vystřídán zvýšením fotosyntézy na hodnotu $13,432 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den) vlivem rehydratace.

Z grafu 4 je patrný vliv varianty pokusu na změnu rychlosti fotosyntézy u odrůdy LG 3252. Z uvedeného grafu je zřejmé, že naměřený interval hodnot rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice odrůdy LG 3252 byl od $14,236 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (26. den, varianta SS) do $16,101 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den, varianta KK). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti fotosyntézy byl $1,865 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Graf 4. Změny rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) odrůdy LG 3252 v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu.



Z grafu 4 je mimo jiné patrné, že rychlost fotosyntézy u kontrolních rostlin odrůdy LG 3252 vykazuje trend pozvolného nárůstu naměřených hodnot, shodný s předcházejícími odrůdami. Rychlost fotosyntézy rostlin z této varianty byla nejnižší 0. den ($15,109 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejvyšší 28. den ($16,101 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

U rostlin rostoucích ve variantě KS byla maximální rychlost fotosyntézy naměřena 16. den měření, kdy rychlost fotosyntézy byla $15,671 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a nejnižší hodnota fotosyntézy byla naměřena v 0. dni měření ($15,109 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). V období závlivky se

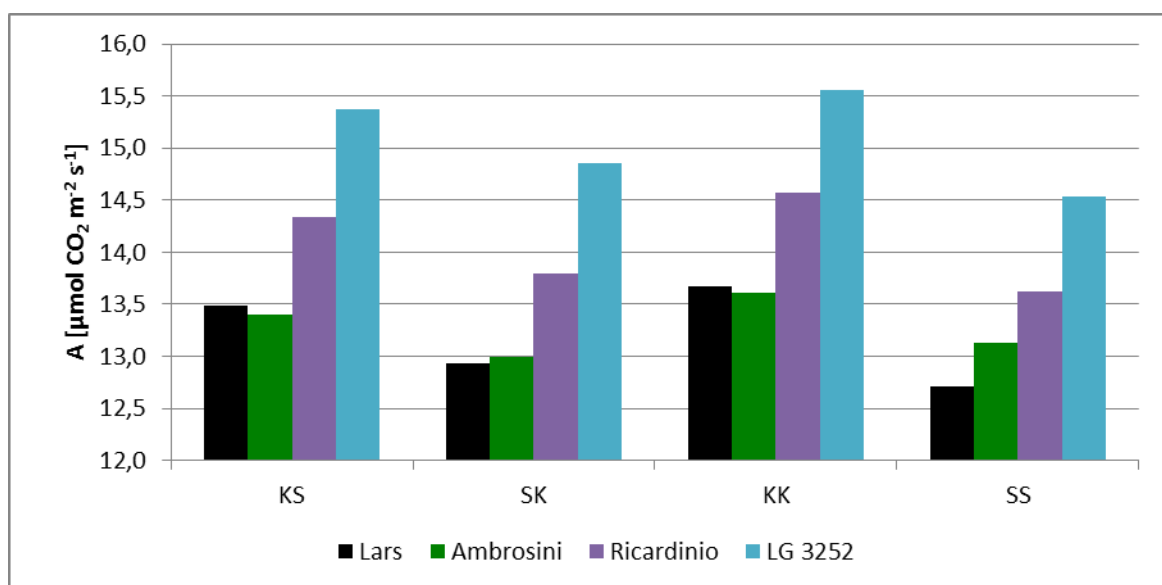
rychlost fotosyntézy pohybovala v intervalu hodnot 15,109 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) až 15,376 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (8. den). Po navození vodního deficitu se rychlost fotosyntézy nejprve zvýšila na hodnotu 15,671 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (16. den) a poté vlivem postupného vysychání substrátu se rychlost fotosyntézy snižovala až do konce sledovaného období, kdy dosáhla hodnoty 15,436 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, je uvedena v grafu 4. Z něho je patrné, že naměřené hodnoty fotosyntézy byly v rozpětí hodnot 14,608 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) až 15,109 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den). V průběhu působení 10 denního vodního deficitu se rychlost fotosyntézy snižovala z hodnoty 15,109 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) na hodnotu 14,608 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po obnovení závlivky byla rychlost fotosyntézy 14,628 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) a vlivem postupné rehydratace narůstala až do konce sledovaného období, kdy poslední den měření dosáhla fotosyntéza výše 15,047 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Z grafu 4 dále vyplývá, že rychlost fotosyntézy u rostlin pěstovaných ve variantě SS byla ovlivněna působením vodního deficitu. Na počátku pokusu byla rychlost fotosyntézy ve výši 15,109 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, poté ale dochází k průkaznému poklesu hodnot fotosyntézy z hodnoty 14,961 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den) na 14,437 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po rehydrataci dochází ke zvýšení rychlosti fotosyntézy až na hodnotu 14,510 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den). Tato rehydratace byla opět vystřídána vodním deficitem. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu byl opět zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy z hodnoty 14,510 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den) na hodnotu 14,236 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (6. den). Tento pokles byl opět vystřídán zvýšením na hodnotu 14,281 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den) v důsledku opětovného obnovení závlivky.

Vliv jednotlivých odrůd na rychlost fotosyntézy sledovaných variant kukuřice je uveden v grafu 5. Z něho vyplývá, že rychlost fotosyntézy v rámci varianty kontrolní (KK) byla nejnižší u odrůdy Ambrosini ($13,609 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a nejvyšší u odrůdy LG 3252 ($15,564 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). U varianty KS byla rychlost fotosyntézy v intervalu hodnot od $13,403 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Ambrosini) do $15,378 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (LG 3252).

Graf 5. Porovnání průměrné rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě kukuřice.



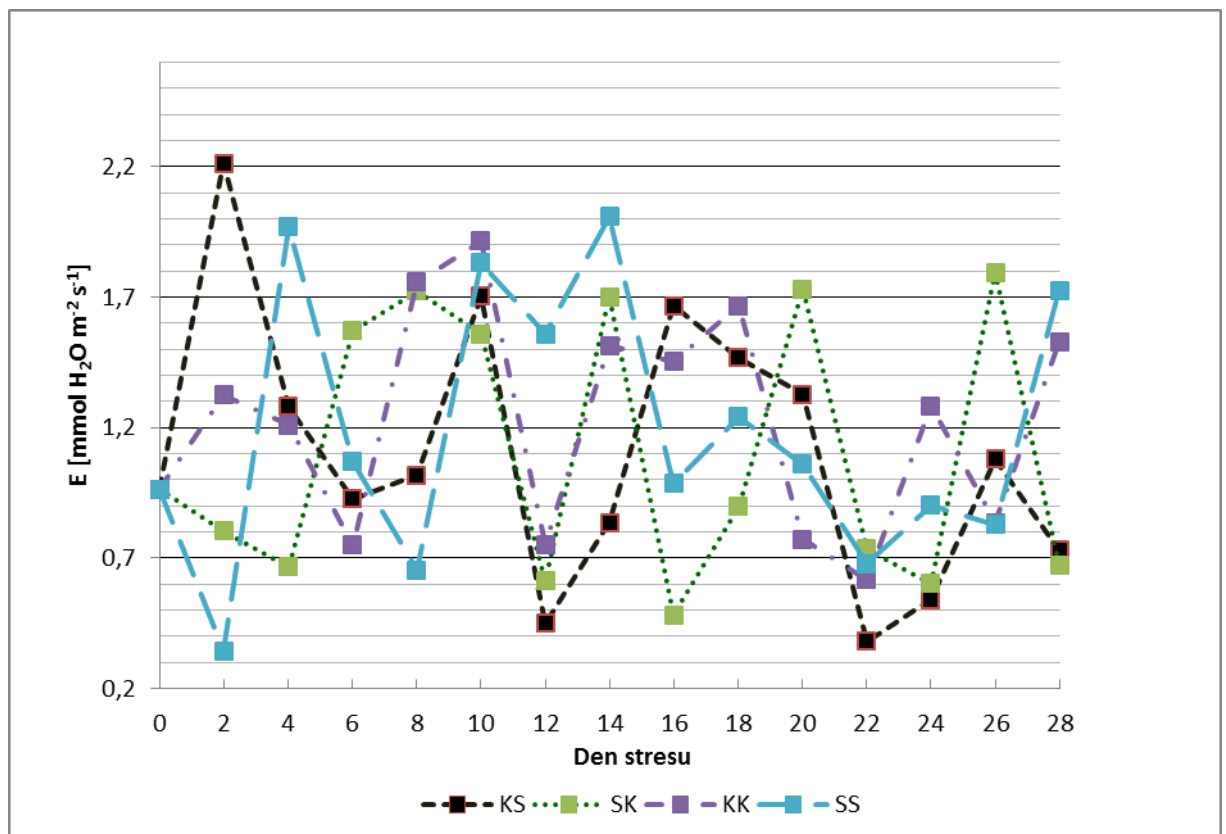
V případě varianty SK je možné konstatovat, že nejnižší průměrnou fotosyntézu vykazují rostliny odrůdy Lars ($12,928 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a na straně druhé nejvyšší u odrůdy LG 3252 ($14,853 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Rychlost fotosyntézy rostlin kukuřice pěstovaných ve variantě SS byla v rozpětí hodnot $12,715 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Lars) až $14,534 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (LG 3252). Z uvedeného grafu je dále patrné, že na vodní deficit citlivěji reagují rostliny odrůdy Ricardinio u níž rozdíl mezi kontrolními a stresovanými rostlinami byl v intervalu $0,229 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (varianta KS) až $0,948 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (varianta SS). Podobné výsledky byly zaznamenány i u odrůd LG 3252 a Lars. Jako tolerantní se pak vůči vodnímu deficitu jeví Ambrosini, protože u této odrůdy byly rozdíly mezi kontrolou a stresem v rozmezí od $0,206 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (KS) do $0,474 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SS). Ze získaných výsledků je dále patrné, že rostliny citlivěji reagují na variantu SS v porovnání s variantami KS a SK.

6.2 Rychlost transpirace

Z grafu 6 vyplývá vliv varianty pokusu na rychlost transpirace odrůdy Lars. Z uvedeného grafu je patrné, že naměřený interval hodnot rychlosti transpirace juvenilních rostlin kukuřice odrůdy Lars byl od 0,342 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (2. den, varianta KS) do 2,213 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (2. den, varianta SS). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti transpirace byl 1,871 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

U kontrolní varianty KK byla nejvyšší hodnota naměřena v 10. dni měření (1,915 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a naopak nejnižší hodnota byla 22. den (0,616 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Z grafu 6 je dále patrné, že rychlost transpirace u kontrolních rostlin nevykazuje trend v nárůstu či poklesu naměřených hodnot, neboť zvýšení transpirace je vždy vystřídáno jejím poklesem.

Graf 6. Změny rychlosti transpirace (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) odrůdy Lars v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu.



U rostlin rostoucích ve variantě KS byla maximální rychlost transpirace naměřena 2. den měření, kdy rychlost transpirace byla 2,213 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Tato hodnota byla zároveň nejvyšší hodnotou transpirace u této odrůdy. Naopak nejnižší hodnota transpirace byla naměřena ve 22. dni měření, kdy rychlost transpirace byla 0,381 mmol H₂O m⁻² s⁻¹.

V období zálivky se rychlost transpirace pohybovala v intervalu hodnot $0,927 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (6. den) až $2,213 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den). Po navození vodního deficitu se rychlost transpirace nejprve snížila na hodnotu $0,450 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a poté vlivem postupného vysychání substrátu se rychlost transpirace nejprve zvyšovala na hodnotu $1,078 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (26. den) a následně opět snižovala až do konce sledovaného období, kdy hodnota transpirace byla $0,729 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Rychlost transpirace juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, je uvedena v grafu 6. Z něho je patrné, že naměřené hodnoty transpirace byly v rozpětí hodnot od $0,48 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (16. den) do $1,794 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (26. den). V průběhu působení 10 denního vodního deficitu se rychlost transpirace zvyšovala z hodnoty $0,664 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (4. den) na hodnotu $1,758 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (8. den). Po obnovení zálivky byla rychlost transpirace $0,61 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a vlivem postupné rehydratace narůstala až do konce sledovaného období, kdy dosáhla výše $0,671 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, viz graf 6.

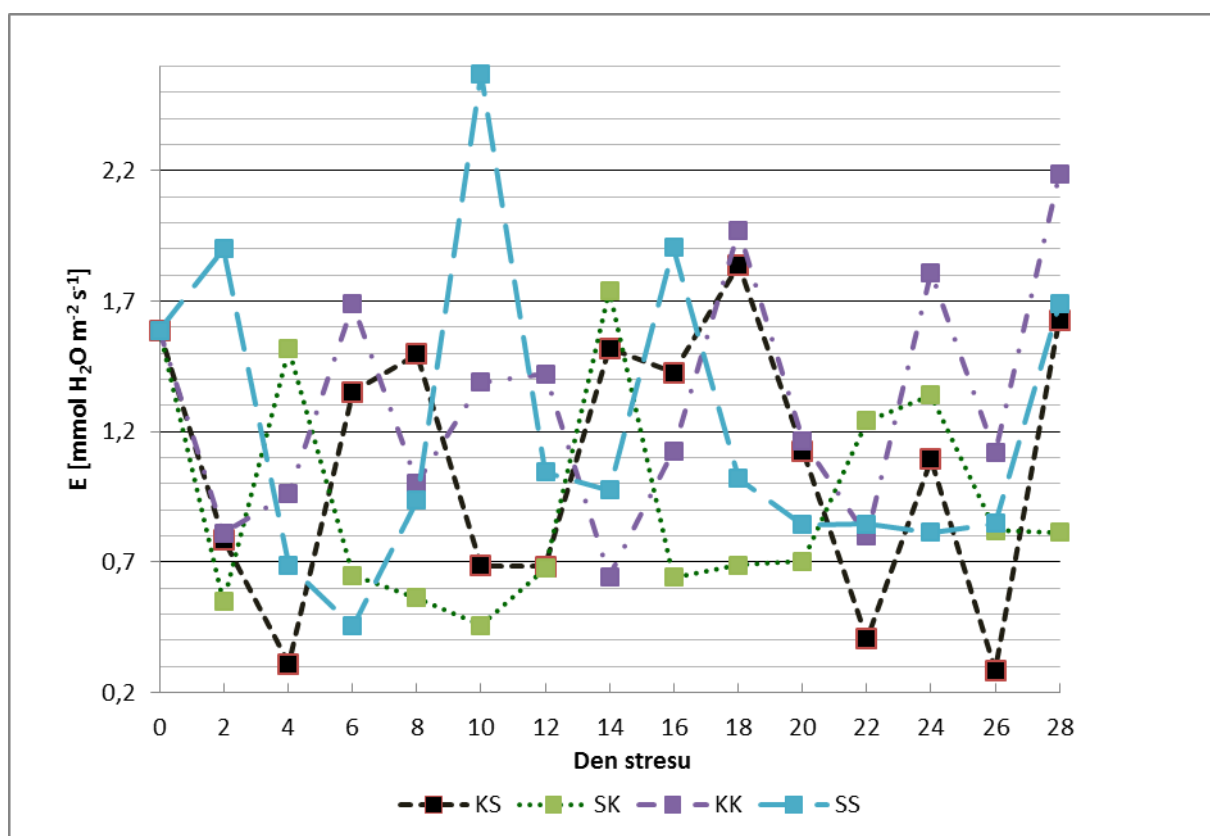
Z grafu 6 dále vyplývá, že rychlost transpirace u varianty SS byla ovlivněna působením vodního deficitu. Na počátku pokusu byla rychlost transpirace ve výši $0,964 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, poté ale dochází k průkaznému poklesu hodnot transpirace na $0,342 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den). Tato hodnota byla zároveň hodnotou minimální. K průkaznému navýšení došlo 4. den ($1,968 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a na konci působení stresu (10. den) byla transpirace ve výši $1,832 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. V průběhu čtyř denní rehydratace dochází ke zvýšení rychlosti transpirace až na hodnotu $2,008 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den). Tato rehydratace byla opět vystřídána vodním deficitem. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu dochází k poklesu rychlosti transpirace z hodnoty $1,241 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (18. den) na hodnotu $0,678 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (22. den). Tento pokles byl opět vystřídán zvýšením na hodnotu $1,726 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (28. den) v důsledku opětovného obnovení zálivky.

Z grafu 7 je patrné, že naměřený interval hodnot rychlosti transpirace juvenilních rostlin kukuřice odrůdy Ambrosini byl od $0,285 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (26. den, varianta KS) do $2,571 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (10. den, varianta SS). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti transpirace byl $2,286 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

U kontrolní varianty KK byla nejvyšší hodnota transpirace naměřena 28. den ($2,186 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána 14. den ($0,644 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Stejně jako u grafu 7 je i u grafu 6 patrné, že rychlost transpirace u kontrolních rostlin nevykazuje trend v nárůstu či poklesu naměřených hodnot.

U rostlin rostoucích ve variantě KS byla maximální rychlost transpirace naměřena 18. den měření, kdy rychlost transpirace dosáhla $1,971 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naopak nejnižší hodnota transpirace byla naměřena ve 26. dni, kdy rychlost transpirace byla $0,285 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, což je zároveň nejnižší hodnota transpirace naměřená u této odrůdy. V období zálivky se rychlost transpirace pohybovala v intervalu hodnot od $0,309 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (4. den) do $1,496 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (8. den). Po navození vodního deficitu se rychlost transpirace nejprve snížila na hodnotu $0,683 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) a poté vlivem postupujícího vodního deficitu se rychlost transpirace střídavě zvyšovala a snižovala až do konce sledovaného období. Na konci pokusu byla rychlost transpirace ve výši $1,627 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

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



Rychlost transpirace juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, byla v rozpětí hodnot $0,457 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den) až $1,739 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den). V průběhu působení 10 denního vodního deficitu se rychlost transpirace snižovala z naměřené hodnoty rychlosti transpirace $0,586 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) na hodnotu

0,457 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (10. den). Po obnovení závlivky byla rychlost transpirace 0,675 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (12. den) a vlivem postupné rehydratace narůstala až do konce sledovaného období, (0,813 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), viz graf 7.

Z grafu 7 dále vyplývá, že rychlost transpirace u varianty SS byla ovlivněna působením vodního deficitu. Na počátku pokusu byla rychlost transpirace ve výši 1,586 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, poté již dochází k poklesu hodnot transpirace do 6. dne (0,453 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) působení vodního deficitu. V 10. dnu vodního deficitu se hodnota transpirace navýšila na 2,571 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, což představuje maximální hodnotu transpirace. Po rehydrataci dochází u odrůdy Ambrosini ke snížení rychlosti transpirace až na hodnotu 0,975 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Tato rehydratace byla opět vystřídána vodním deficitem. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu dochází k nárůstu rychlosti transpirace z hodnoty 0,975 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (14. den) až na hodnotu 1,905 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (16. den). Po tomto nárůstu byl zaznamenán pokles rychlosti transpirace, který byl zjištěn 24. den 0,813 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Tento pokles byl opět vystřídán zvýšením transpirace na konci pokusu (1,688 mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

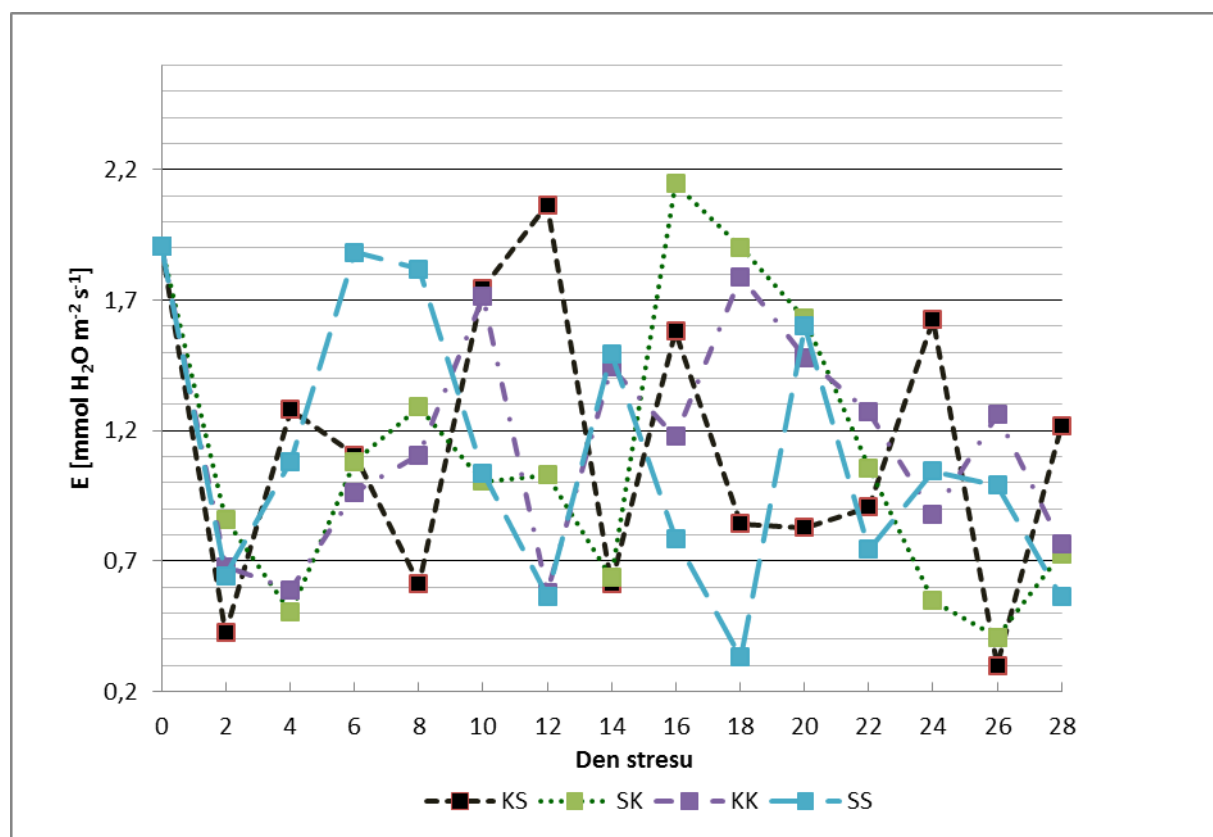
Z grafu 8 je uveden vliv varianty pokusu na rychlost transpirace odrůdy kukuřice seté Ricardinio. Naměřený interval hodnot rychlosti transpirace juvenilních rostlin kukuřice odrůdy Ricardinio byl od 0,298 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (26. den, varianta KS) do 2,146 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (16. den, varianta SK). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti transpirace byl 1,848 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

U kontrolní varianty KK byla nejvyšší hodnota transpirace naměřena v 18. den měření (1,790 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána 4. den (0,589 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Z grafu 8 je patrné, že rychlost transpirace u kontrolních rostlin není průkazně ovlivněna ontogenetickým vývojem rostlin.

U rostlin kukuřice rostoucích ve variantě KS byla maximální rychlost transpirace naměřena 12. den (2,065 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a naopak nejnižší transpirace byla naměřena ve 26. dni (0,298 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Tato hodnota byla zároveň nejnižší hodnotou transpirace naměřenou u této odrůdy. V období závlivky se rychlost transpirace pohybovala v intervalu hodnot 0,423 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (2. den) až 1,714 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (10. den). Po navození vodního deficitu se rychlost transpirace nejprve zvýšila na hodnotu 2,065 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (12. den) a poté vlivem postupného vysychání substrátu, tedy navození půdního sucha, se rychlost transpirace snížila na konci pokusu, kdy dosáhla hladiny 1,217 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Obdobně jako u kontrolních rostlin, nebyl u rostlin v rámci vodního stresu prokázán vliv ontogenetického vývoje.

Rychlost transpirace juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, je uvedena v grafu 8. Z něho je patrné, že naměřené hodnoty transpirace byly v rozpětí hodnot od $0,406 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (26. den) do $2,146 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (16. den). V průběhu působení 10 denního vodního deficitu se rychlost transpirace snižovala z hodnoty $1,907 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) na hodnotu $0,503 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (4. den). Přičemž na konci působení stresu byla transpirace $1,004 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Po obnovení závlivky byla rychlost transpirace $1,030 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) a vlivem postupné rehydratace od 16. dne ($2,146 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) průkazně klesala až do konce sledovaného období, kdy dosáhla výše $0,763 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Graf 8. Změny rychlosti transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) odrůdy Ricardinio v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu.



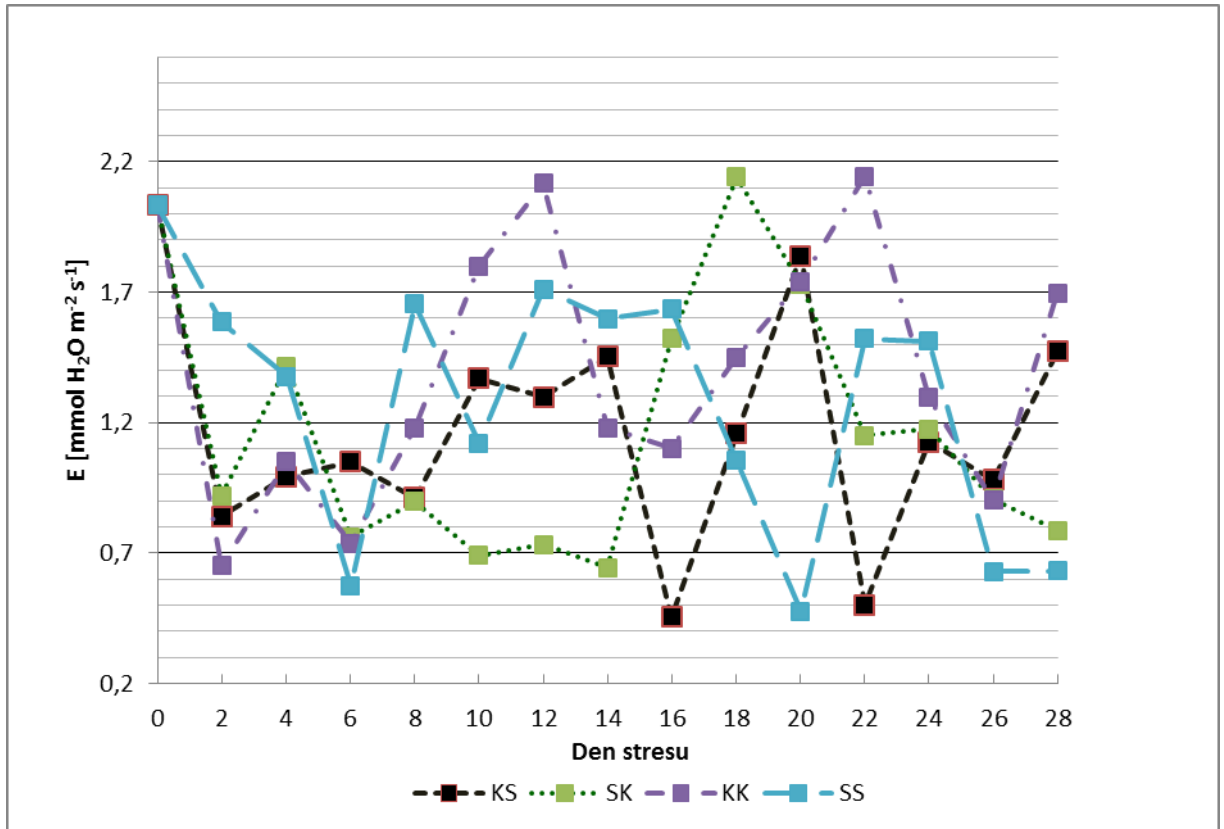
Z grafu 8 dále vyplývá, že rychlost transpirace u varianty SS byla ovlivněna působením vodního deficitu. Na počátku pokusu byla rychlost transpirace ve výši $1,907 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, poté již dochází k poklesu hodnot transpirace do 2. dne ($0,644 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). V 10. dnu vodního deficitu se hodnota transpirace navýšila na $1,036 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Po rehydrataci dochází u odrůdy Ricardinio ke zvýšení rychlosti

transpirace na hodnotu $1,493 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den). Tato rehydratace byla opět vystřídána vodním deficitem. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu dochází k snížení rychlosti na hodnotu $0,301 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (18. den) a následně k průkaznému nárůstu rychlosti transpirace 20. den ($1,600 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Tento pokles byl opět vystřídán zvýšením transpirace na $1,044 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (24. den) v důsledku opětovného obnovení zálivky.

Z grafu 9 je patrné, že naměřený interval hodnot rychlosti transpirace juvenilních rostlin kukuřice odrůdy LG 3252 byl od $0,455 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (16. den, varianta KS) do $2,143 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (22. den, varianta KK). Rozdíl mezi maximem a minimem rychlosti transpirace byl $1,688 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

U kontrolní varianty KK byla nejvyšší hodnota transpirace naměřena 22. den ($2,143 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána 2. den ($0,650 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) obdobně, jako u předcházejících odrůd, nebyl prokázán vliv ontogenetického vývoje na rychlost transpirace.

Graf 9. Změny rychlosti transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) odrůdy LG 3252 v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu.



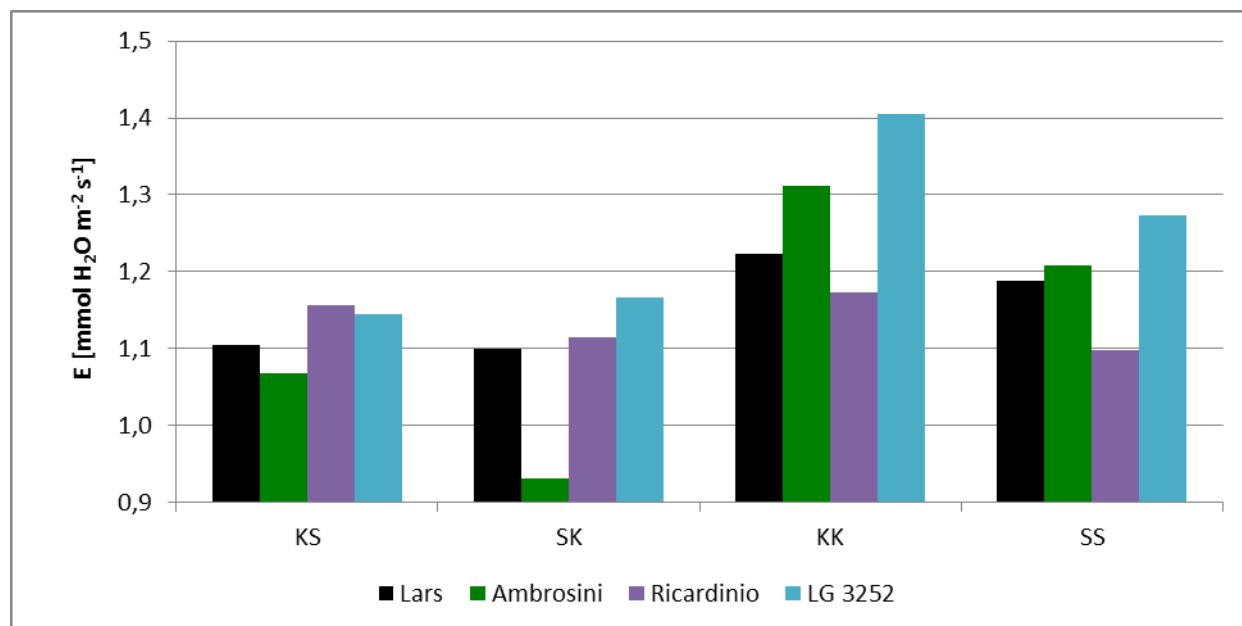
U rostlin rostoucích ve variantě KS byla maximální rychlost transpirace naměřena 0. den ($2,032 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a na straně druhé nejnižší hodnota transpirace byla stanovena ve 22. dni ($0,501 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). V období zálivky se rychlost transpirace pohybovala v rozpětí hodnot od $0,650 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2. den) do $1,369 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po navození vodního deficitu se rychlost transpirace nejprve snížila na hodnotu $1,298 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a na konci pokusu byla rychlost transpirace ve výši $1,697 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Rychlost transpirace juvenilních rostlin kukuřice, rostoucích ve variantě SK, je uvedena v grafu 9. Z něho je patrné, že naměřené hodnoty transpirace byly v rozpětí hodnot od $0,643 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (14. den) do $2,142 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (18. den). V průběhu působení 10 denního vodního deficitu se rychlost transpirace snižovala z hodnoty $2,032 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (0. den) na hodnotu $0,689 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (10. den). Po obnovení zálivky byla rychlost transpirace $0,733 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den) a vlivem postupné rehydratace od 18. dne ($2,142 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) klesala až do konce sledovaného období, kdy dosáhla výše $0,785 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, viz graf 9. Tento trend byl zaznamenán také u odrůdy Riccardinio.

Rychlost transpirace u varianty SS byla ovlivněna působením vodního deficitu, kdy na počátku pokusu byla rychlost transpirace ve výši $2,032 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, poté již dochází k poklesu hodnot transpirace do 6. dne ($0,574 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) vlivem působení vodního deficitu. V 10. dnu vodního deficitu se hodnota transpirace navýšila na $1,121 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Po rehydrataci dochází u odrůdy LG 3252 ke zvýšení rychlosti transpirace na hodnotu $1,711 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12. den). Po čtyřdenní rehydrataci byl opět navozen vodní deficit. V rámci tohoto opětovného působení vodního deficitu dochází k snížení rychlosti transpirace na hodnotu $0,476 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (20. den) z hodnoty $1,635 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (16. den). Statisticky průkazné zvýšení transpirace bylo zaznamenáno 22. den ($1,522 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Po obnovení zálivky byla hodnota transpirace ve výši $1,512 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (den. 24) viz graf 9.

Vliv jednotlivých odrůd na rychlost transpirace sledovaných variant kukuřice je uveden v grafu 10. Z něho vyplývá, že rychlost transpirace v rámci varianty kontrolní byla nejnižší u odrůdy Ricardinio ($1,173 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a nejvyšší u odrůdy LG 3252 ($1,404 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). U varianty KS byla rychlost transpirace v intervalu hodnot od $1,081 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Ambrosini) do $1,165 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (LG 3252). V případě varianty SK je možné konstatovat, že nejnižší průměrnou transpiraci vykazují rostliny odrůdy Ambrosini ($0,932 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a na straně druhé nejvyšší u odrůdy LG 3252 ($1,167 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Graf 10. Porovnání průměrné rychlosti transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě kukuřice.



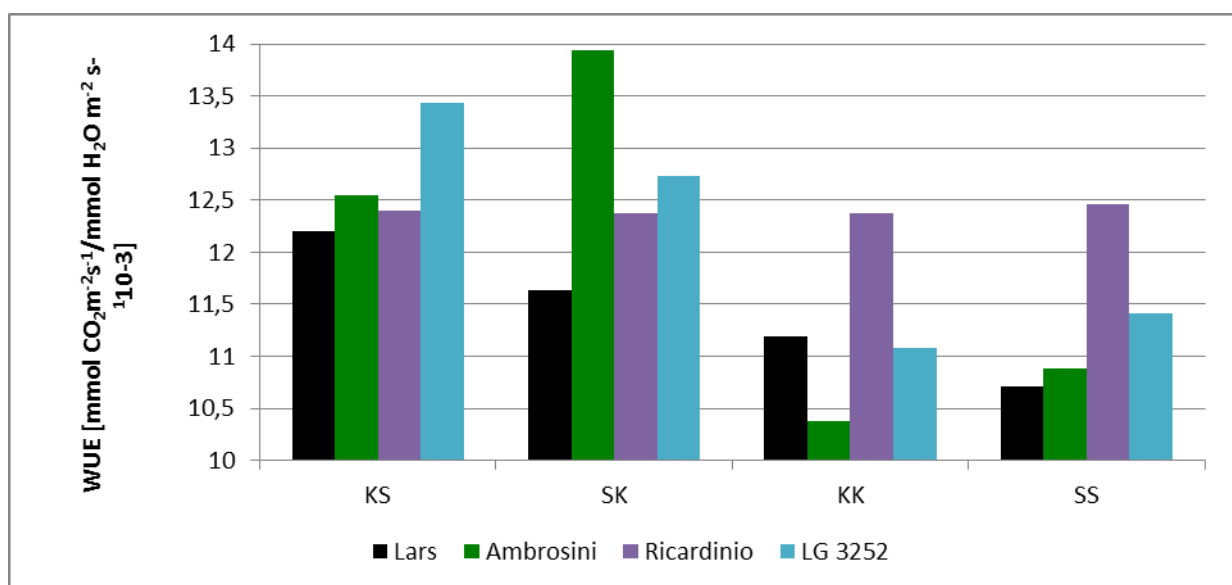
Rychlost transpirace rostlin kukuřice pěstovaných ve variantě SS byla v rozpětí hodnot $1,099 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Ricardinio) až $1,274 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (LG 3252). Z uvedeného grafu je dále patrné, že na vodní deficit citlivěji reagují rostliny odrůdy Ambrosini, u níž rozdíl mezi kontrolními a stresovanými rostlinami byl v intervalu $0,104 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (varianta SS) až $0,380 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (varianta SK). Jako tolerantní se vůči vodnímu deficitu jeví Ricardinio, protože u této odrůdy byly rozdíly mezi kontrolou a stresem v rozmezí od $0,036 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (KS) do $0,074 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SS). Ze získaných výsledků je dále patrné, že rostliny citlivěji reagují na variantu SK v porovnání s variantami KS a SS.

6.3 Efektivita využití vody (WUE)

Z grafu 11 je patrné, že v průměru nejvyšší efektivitu využití vody u odrůdy Lars dosahovala stresovaná varianta KS s průměrnou hodnotou 12,203. Dále následuje varianta SK (11,753). Nejnížší hodnoty WUE vykazují rostliny z varianty SS. U této varianty byla hodnota efektivity využití vody ve výši 10,709, což je o 0,48 méně v porovnání s kontrolou.

U odrůdy Ambrosini shodně s odrůdou Lars dosahovala nejvyšší průměrné efektivitu využití vody (WUE) varianta SK s hodnotou 13,942, což je více o 3,56 v porovnání s kontrolou. Ze sledovaných variant pokusu nejnižší WUE bylo dosaženo u rostlin z varianty KK (10,379). Oproti tomu u variant SS a KS byly hodnoty WUE ve srovnání s kontrolou vyšší o 0,5 a 2,02, jak dokumentuje graf 11.

Graf 11. Porovnání efektivity využití vody (WUE) u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě kukuřice.



Z uvedeného grafu je dále patrné, že nejvyšší průměrné efektivitu využití vody (WUE) v případě odrůdy Ricardinio bylo dosaženo u varianty KS s hodnotou 12,622. Dosahovala tedy o 0,2 vyšší efektivitu využití vody v porovnání s kontrolou (12,42). Nejnižší hodnotu z měřených variant měla varianta SK s efektivitou využití vody 12,38. Varianty SS a SK měl v porovnání s kontrolou nižší efektivitu využití vody a to o 0,025 a 0,048.

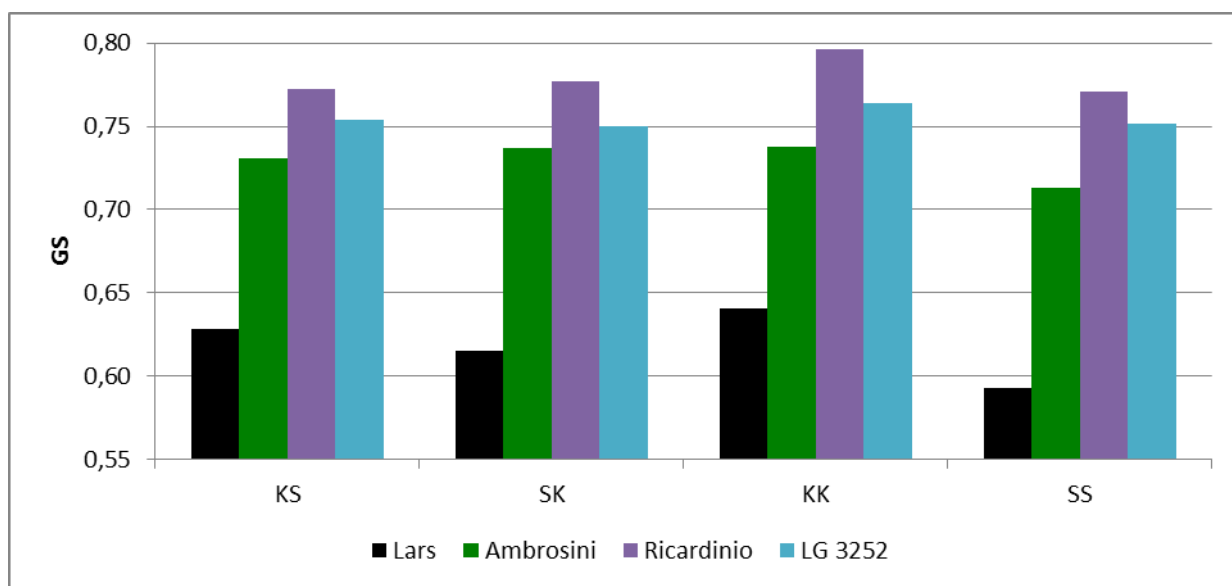
Obdobně jako v případě odrůd Lars a Ambrosini, tak i v případě odrůdy LG 3252 vykazují rostliny kontrolní nejnižší WUE (11,099) v porovnání s ostatními variantami pokusu. Naopak nejvyšší hodnoty WUE byly zjištěny u varianty KS, u ní byla hodnota

efektivitu využití vody 13,205. Ve srovnání s variantou KS vykazují rostliny z varianty SK pokles efektivity využití vody o 0,472 a u varianty SS dokonce až o 1,793, viz graf 11.

6.4 Fluorescence chlorofylu

Graf 12 porovnává průměrnou fluorescenci chlorofylů u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě kukuřice. Je patrné, že nejnižší hodnota fluorescence chlorofylů u kontrolní varianty byla naměřena u odrůdy Lars (0,641) a nejvyšší pak u odrůdy Ricardinio (0,796). U varianty KS byla naměřena nejnižší průměrná hodnota u odrůdy Lars (0,628) a nejvyšší pak u odrůdy Ricardinio (0,773). V případě varianty SK je možné konstatovat, že nejnižší průměrnou hodnotu fluorescence chlorofylů vykazují rostliny odrůdy Lars (0,615) a nejvyšší pak rostliny odrůdy Ricardinio (0,777).

Graf 12. Porovnání průměrné fluorescence chlorofylů (GS) u jednotlivých variant pokusu v závislosti na odrůdě kukuřice.



Podobná situace je také u rostlin pěstovaných ve variantě SS, kde nejnižších hodnot dosahuje odrůda Lars (0,593) a nejvyšších pak opět odrůda Ricardinio s hodnotou 0,771. Z grafu 16 je dále patrné, že na vodní deficit citlivěji reagují rostliny odrůdy Lars, u níž rozdíl mezi kontrolními a stresovanými rostlinami byl v intervalu 0,012 (varianta KS) až 0,048 (varianta SS). Jako tolerantní se pak vůči vodnímu deficitu jeví odrůda Ambrosini, protože u této odrůdy byly rozdíly mezi kontrolou a stresem v rozmezí od 0,007 (KS) do 0,025 (SS). Ze získaných výsledků je dále patrné, že rostliny citlivěji reagují na variantu SS v porovnání s variantami KS a SK.

7 Diskuze

U čtyř genotypů kukuřice seté: Ambrosini, Lars, LG 3252 a Ricardinio, byl sledován vliv vodního deficitu a následné rehydratace na rychlost výměny plynů, efektivitu využití vody a fluorescenci chlorofylů.

7.1 Rychlost fotosyntézy

Ze získaných výsledků vyplynulo, že rychlost fotosyntézy byla v porovnání s kontrolou nižší u variant s vodním deficitem, přičemž nejnižších hodnot dosahovala varianta SS. Získané výsledky jsou v souladu s prací Osakabeho a kol. (2014), kteří konstatují, že vodní stres nepříznivě ovlivňuje mnohé aspekty fyziologie rostlin, včetně snížené schopnosti růstu. To potvrzuje také Yordanov a kol. (2003), který konstatuje, že sucho vyvolává v rostlině řadu nepříznivých změn, které vedou k inhibici růstu. Snížení rychlosti fotosyntézy ve své práci u rostlin rostoucích v podmínkách vodního deficitu potvrzují ve svých pracích např. Flexas a kol. (2004); Lawlor a Tezara (2009).

Měřením bylo prokázáno, že sucho více, či méně snižuje fotosyntézu kukuřice seté u všech 4 odrůd, ve všech stresovaných variantách. Výsledky měření potvrzuje Ghannoum (2008), podle kterého je fotosyntéza všech C4 rostlin vysoce citlivá na vodní stres. Podle měření Holé a kol. (2010) je průměrná rychlost fotosyntézy u 15 vybraných genotypů kukuřice, která není zasažená vodním deficitem při 25 °C v průměru 5,58 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ až 11,94 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Kontrolní rostliny kukuřice rostoucí v našem pokusu při teplotě 25 °C v průměru hodnoty fotosyntézy od 13,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ do 15,564 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. U kukuřice zasažené vodním deficitem pak Holá a kol. (2010) naměřila průměrnou rychlost fotosyntézy od 2,39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ do 12,08 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Stresované varianty v pokusu měly průměrnou rychlost fotosyntézy od 12,715 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ do 15,378 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy kukuřice je dán s největší pravděpodobností odlišnými genotypy měřené kukuřice. Toto tvrzení je ve shodě se Sanchézem a kol. (1983), který konstatuje, že mezi genotypy kukuřice jsou značné rozdíly v úrovních fotosyntézy, chlorofylu, a v rychlosti zotavení se po působení stresu. Genotypové rozdíly v rychlosti fotosyntézy potvrzují ve své práci např. Ohsumi a kol. (2007), kteří rozdílnou rychlost fotosyntézy zkoumali na odlišných genotypech rýže či Hnilička a kol. (2005) u pšenice.

Po rehydrataci bylo u všech sledovaných odrůd zaznamenáno zvýšení rychlosti fotosyntézy. Uvedený závěr potvrzují např. (Takele a Farrant, 2013), kteří po rehydrataci také

zaznamenali zvýšení rychlosti fotosyntézy u kukuřice seté. Z výsledků je dále patrné, že rostliny kukuřice seté reagovaly odlišně na varianty pokusu, kdy nejvyšší rozdíly v rychlosti fotosyntézy v rámci varianty pokusu byly zaznamenány u odrůdy Ricardinio a naopak nejnižší u genotypu Ambrosini. Obdobné závěry ve své práci uvádí také Singh a kol. (1972), kde různé odrůdy ječmene reagovaly odlišně na varianty vodního deficitu. Shodný závěr potvrzují také v případě pšenic např. Sharkey a Seeman (1989); Munns (2002) a Flexas a kol. (2004).

7.2 Rychlost transpirace

Z výsledků pokusu je dále patrné, že vodní deficit snižuje rychlost transpirace u rostlin kukuřice rostoucích ve všech stresovaných variantách. To dokládá i publikovaný článek Jabeena a kol. (2008), kde je uvedeno, že vodní deficit omezuje růst rostlin kukuřice redukcí listové plochy, snížením rychlosti asimilace CO₂, uzavřením průduchů, nižší fluorescencí chlorofylů a právě sníženou rychlostí transpirace. Snížení transpirace v rámci vodního deficitu uvádí také Sairam a kol. (1990); Ahmadi a Siosemardeh (2005); Shan (2006) a Meng a kol. (2006).

Kang a kol., (1998) naměřil v několika úrovních vodního stresu kukuřice (řízené sušení půdy na 65 %, 55 %, 45 % polní vodní kapacity) průměrnou rychlost transpirace v intervalu od 0,45 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ do 0,70 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Naproti tomu stresované varianty kukuřice v našem pokusu vykazovaly průměrně vyšší rychlost transpirace a to v hodnotách od 0,93 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ do 1,404 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Rozdíl je nejspíš způsoben odlišnou úrovní stresu rostlin, jelikož v našem pokusu byl stres způsobený přirozeným vysycháním substrátu. Stejně tak může být rozdíl způsoben rozdílným genotypem pokusných rostlin v obou měřeních. Obdobné závěry ve své práci uvádí také Choundhary a kol. (2013), kteří měřili rozdílnou transpiraci u 20 genotypů čiroku a Hnilička a kol.(2005) u pšenice.

Z výsledků Holé a kol. (2010) je patrné, že kontrolní rostliny kukuřice měly průměrnou rychlost transpirace od 0,83 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ do 1,50 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹, což jsou obdobné hodnoty jako u kontrolní varianty (1,173 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ až 1,404 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) v námi založeném pokusu. U stresovaných variant je pak nejnižší průměrná rychlost transpirace z pokusů Holé a kol. (2010) v porovnání s výsledky této práce o 0,65 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ nižší a nejvyšší průměrná rychlost transpirace pak o 0,47 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ vyšší.

Po rehydrataci bylo u všech sledovaných odrůd zaznamenáno zvýšení rychlosti transpirace. Výsledky měření potvrzuje také Vomáčka a Pospíšilová (2003), kteří měřili rychlost transpirace u řepy cukrové. Rychlost transpirace se v uvedeném pokusu zvýšila téměř dvojnásobně a to z 1,47 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ na rychlost transpirace 3,85 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹.

7.3 Efektivita využití vody (WUE)

Podle Gea a kol. (2012), způsobuje větší vodní deficit u kukuřice (35% polní vodní kapacity) velké snížení efektivity využití vody (WUE) ve vegetativní a reprodukční fázi, zatímco mírný vodní deficit (55% polní vodní kapacity) způsobuje nárůst WUE ve střední a rané fázi, ale významně snížil WUE v pozdních stádiích.

V pokusech, které obsahuje tato práce, se u stresovaných variant juvenilních rostlin kukuřice projevil vodní deficit nejčastěji zvýšením efektivity využití vody, která oproti kontrole vzrostla u odrůdy Ambrosini ve variantě SK až o hodnotu 3,6. Nejnížší námi zaznamenaná hodnota byla u kontrolní varianty 10,379 (Ambrosini) a nejvyšší pak 12,373 (Ricardinio). U stresovaných variant byla nejnížší naměřená hodnota 10,709 (varianta SS, Lars) a nejvyšší pak 13,942 (varianta SK, Ambrosini). Uvedené závěry jsou v souladu s pracemi Zhang a kol. (2005); Meng a kol. (2006) a Zhang a kol. (2006), kteří konstatují, že hodnoty WUE při působení vodního deficitu stoupají. Naopak podle Shana a kol. (2000); Franca a kol., (2006), se vlivem stresu efektivita využití vody snižuje. Tento závěr nebyl potvrzen, protože se rychlost fotosyntézy u stresovaných rostlin kukuřice i přes mírný pokles pohybovala v poměrně vysokých hodnotách a rychlost transpirace měla u stresovaných rostlin spíše sestupnou tendenci. Změny v hodnotách WUE jsou podle Farquhar a kol. (1982); Larcher (2003); Blum (2009) dány změnami v rychlosti výměny plynů, což bylo našimi výsledky potvrzeno.

Z výsledků Holé a kol. (2010) je patrné, že kontrolní varianta má hodnoty v intervalu 6,02 až 8,67. Při navození vodního stresu byla naměřena nejnížší hodnota 6,40 a nejvyšší pak 12,19. Při porovnání našich výsledků s výsledky Holé a kol. (2010) bylo zjištěno, že efektivita využití vody byla vyšší u odrůd, které byly měřeny v této bakalářské práci a to jak u kontrolních, tak i u stresovaných variant. Rozdíl je nejspíš způsoben vyšší fotosyntézou, která byla naměřena u odrůd Lars, Ambrosini, Ricardinio a LG 3252.

Při porovnání efektivity využití vody zavlažované kukuřice se zavlažovaným čírokem z pokusu Jianlina a kol. (2008) zjistíme, že čírok dosahuje vyšší efektivity využití vody, než kukuřice odrůdy Ricardinio s nejvyšší efektivitou využití vody z kontrolní varianty (12,37). Rozdíl je způsoben nejspíš odlišným druhem rostliny a jinými podmínkami pěstování.

Obdobné závěry ve své práci uvádí také Danalatos a kol. (2009), kteří se zabývali analýzou kukuřice a čiroku.

7.4 Fluorescence chlorofylu

Liu a kol. (2012) konstatuje, že sucho způsobuje nižší fluorescenci chlorofylů u kukuřice seté, což potvrzují i výsledky této bakalářské práce, kde byly ve všech stresovaných variantách zaznamenány nižší hodnoty fluorescence chlorofylů oproti rostlinám, které rostly v kontrolní, zavlažované variantě. Obdobné závěry uvádí např. pro kukuřici Betrán a kol. (2003); O'Neil a kol. (2006), ječmen Li a kol. (2006), pšenici Paknejad a kol. (2007), Olivares-Villegas a kol. (2007).

Podle Liu a kol. (2012) byla fluorescence chlorofylů dvou různých genotypů kukuřice (JD28 a JD261) v kontrolní variantě 0,994 a 0,997, což je vyšší hodnota než u odrůd, které byly porovnávány v této bakalářské práci, kde nejnižší naměřená hodnota u kontrolní varianty byla 0,641 (Lars) a nejvyšší pak 0,796 (Ricardinio). Při navození vodního deficitu zaznamenal Liu a kol. (2012) nepatrné snížení fluorescence chlorofylů, které bylo u obou měřených odrůd téměř totožné. U odrůdy JD 28 byla naměřena fluorescence chlorofylů 0,989 a u odrůdy JD 261 pak 0,988. Pokud porovnáme fluorescenci těchto dvou stresovaných odrůd s odrůdami Lars, Ambrosini, Ricardinio a LG 3252, u kterých byla ve stresovaných variantách naměřena fluorescence v intervalu 0,593 (Lars) až 0,777 (Ricardinio), zjistíme, že průměrné hodnoty jsou u odrůd JD 28 a JD 261 o 0,396 až 0,212 vyšší. Rozdíl může být opět způsoben odlišným genotypem odrůd kukuřice a různými podmínkami, v kterých je kukuřice pěstována.

Z výsledků je dále patrné, že rostliny kukuřice seté reagovaly odlišně na varianty pokusu, kdy nejvyšší rozdíly ve fluorescenci chlorofylů v rámci varianty pokusu byly zaznamenány u odrůdy Lars a jako tolerantní byla dle nejnižšího rozdílu vyhodnocena odrůda Ambrosini. Toto tvrzení je ve shodě s Khayatnezhadem a Gholaminem (2012), kteří u šesti různých genotypů kukuřice zaznamenali rozdílné hodnoty chlorofylu u varianty vodního stresu. Obdobně genotypové rozdíly ve výši aktivity fotosystému II (PS II) v rámci působení vodního stresu potvrzují u kukuřice Holá a kol. (2010).

8 Závěr

U juvenilních rostlin kukuřice seté odrůd Ambrosini, Lars, LG 3252, Ricardinio byl sledován vliv vodního deficitu ve čtyřech variantách pokusu na rychlost výměny plynů, efektivitu využití vody (WUE) a fluorescence chlorofylů. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

- 1) Vodní deficit snížil rychlost výměny plynů, fluorescenci chlorofylů a WUE juvenilních rostlin kukuřice.
- 2) Byl prokázán vliv genotypu na sledované charakteristiky a reakci na vodní deficit.
- 3) Nejvyšší rozdíl v rychlosti fotosyntézy mezi kontrolní variantou ($14,57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a stresem ($13,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) byl zjištěn u odrůdy Ricardinio.
4. Nejnižší rozdíl v rychlosti fotosyntézy byl zjištěn u odrůdy Ambrosini, kdy průměrná rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin byla $13,61 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a stresovaných $13,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.
5. U odrůdy Ambrosini byl zjištěn nejvyšší rozdíl v transpiraci mezi kontrolními rostlinami ($1,31 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a stresovanými rostlinami ($1,07 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).
6. Naopak nejnižší rozdíl v rychlosti transpirace mezi kontrolou ($1,17 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a stresem ($1,12 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) byl zjištěn u odrůdy Ricardinio.
7. Nejnižší efektivitu využití vody vykazovaly rostliny odrůdy Lars (11,43) a naopak nejvyšší odrůda Ricardinio (12,40).
8. U odrůdy Ambrosini byl zjištěn nejnižší rozdíl mezi kontrolou a stresem u parametru fluorescence chlorofylů, zjišťovaná jako poměr mezi Fv/Fm (0,011),
9. Nejvyšší rozdíl mezi variantami v hodnotách poměru FV/Fm vykazovala odrůda Lars (0,029).
10. Nejnižší hodnoty rychlosti fotosyntézy, fluorescence chlorofylů a WUE byly zjištěny u všech odrůd v rámci varianty SS.
11. Rychlost transpirace všech sledovaných genotypů kukuřice byla nejnižší u varianty KS.
12. Byla potvrzena hypotéza o rozdílech mezi genotypy v reakci na působení vodního deficitu, kdy jako citlivým se jeví genotyp Lars a naopak jako odolnější vůči vodnímu deficitu odrůda Ambrosini a odrůda Ricardinio.

9 Seznam literatury

- Adc.co.uk. LCpro-SD Advanced Photosynthesis Measurement System [online]. 2015. [cit. 2015-04-09].]. Dostupné z <<http://www.adc.co.uk/products/lcpro-sd-advanced-photosynthesis-measurement-system/>>.
- Agricorner.com. World Top Ten Corn Producers 2009 [online]. 2011. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z <<http://www.agricorner.com/world-top-ten-corn-producers-2009/>>.
- Agrocs.cz. Substráty primaflora [online]. 2008. [cit. 2015-02-18]. Dostupné z <<http://www.agrocs.cz/OLD/sk/zahradna-divizia/produkty/substraty-primaflora/>>.
- Ahmadi, A., Siosemardeh, A. 2005. Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. *International Journal of Agriculture and Biology*. 7 (5). 807-811.
- Angelova, Z., Georgiev, S., Roos, W. 2006. Elicitation of plants. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 20 (2). 72-83.
- Apel, K., Hirt, H. 2004. Reactive oxygen Species: metabolism, oxidative stress, and signal Transduction. *Annual Review of Plant Biology*. 55. 373-379.
- Argueso, C. T., Hansen, M., Kieber, J. J. 2007. Regulation of ethylene biosynthesis. *Journal of Plant Growth Regulation*. 26 (2). 92-105.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39. 205-207.
- Behnamnia, M., Kalantari, K. M., Ziaie, J. 2009. The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress. *Turkish Journal of Botany*. 33. 417-428.
- 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). 797-806.
- Bláha, L. (eds.). 2003. Rostlina a stres. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 156 s. ISBN: 8086555321.
- Blažková, V., Hladký, A. 2008. Prevence a zvládnutí stresu. Bezpečný podnik. Výzkumný ústav bezpečnosti práce. Praha. 42 s. ISBN: 9788086973999.
- 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). 119-123.
- Bray, E. A. 1993. Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology*. 103. 1035-1040.
- Cablík, J. 1951. Ochrana zemědělství před klimatickým suchem. Brázda. Praha. 137 s.

- Cary, J. W., Fisher, H. D. 1971. Plant water potential gradients measured in the field by freezing point. *Physiologia Plantarum*. 24. 397-402.
- Czso.cz. Struktura ploch osevů zemědělských plodin, list 1. [online]. 2014a. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z <[http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/t/0F0044057E/\\$File/2701431403.pdf](http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/t/0F0044057E/$File/2701431403.pdf)>.
- Czso.cz. Struktura ploch osevů zemědělských plodin, list 2. [online]. 2014b. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z <[http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/t/0F00440585/\\$File/2701431404.pdf](http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/t/0F00440585/$File/2701431404.pdf)>.
- Černík, V. 2013. Silážování kukuřice postižené suchem. *Zemědělec*. 20. 34.
- Danalatos, N. G., Archontoulis, S. V., Tsiboukas, K. 2009. Comparative analysis of sorghum vs corn growing under optimum and under water/nitrogen limited conditions in central Greece. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June-3 July 2009, Hamburg, Germany. 538-544
- Delauney, A. J., Verma, D. P. S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The Plant Journal*. 4 (2). 215-223.
- 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. 1379-1388.
- Diviš, J., Longauerová, J. 1993. Pěstování silážní kukuřice v teplotně méně příznivých podmínkách. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 23 s. ISSN: 02319470.
- Dostál, J., Hejný, S. 1989 Nová květena ČSSR 2. díl. Academia. Praha. 1548 s. ISBN: 802000095X.
- Dreher, C., Callis, J. 2007. Ubiquitin, hormones and biotic stress in plants. *Annals of Botany*. 99 (5). 787-822.
- Eagri.cz. Databáze odrůd [online]. 2015. [cit. 2015-04-02].]. Dostupné z <<http://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouQF.do>>.
- Elektrotechnika.cz. Fotosyntéza [online]. 2014. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z <<http://www.ekotechnika.cz/lcpro-sd-gazomericky-pristroj-pro-mereni-prubehu-fotosyntezy>>.
- Faostat.fao.org. Crops production [online]. 2014. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>.
- 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). 185-212.
- Farquhar, G. D., O'leary, M. H., Berry, J. A. 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*. 9. 121-137.

- Filippou, P., Antoniou, Ch., Fotopoulos, V. 2011. Effect of drought and rewatering on the cellular status and antioxidant response of *Medicago truncatula* plants. *Plant Signaling & Behavior*. 6 (2). 270-277.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., Sharkey, T. D. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*. 6 (3). 269-279.
- Flexas, J., Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*. 89. 183-189.
- Flynn, P. 2003. Biotic vs. abiotic - distinguishing disease problems from environmental stresses. *Department of Plant Pathology*. 22. 489.
- Franco, J. A., Martinez-Sanchez, J. J., Fernandez, J. A., Banon, S. 2006. Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 81 (1). 3-17.
- Ge, T., Sui, F., Bai, L., Tong, Ch., Sun, N. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. 34 (3). 1043-1053.
- Ghannoum, O. 2009. C₄ photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*. 103 (4). 635-644.
- Hanin, M., Brini, F., Ebel, Ch., Toda, Y., Takeda, S., Masmoudi, K. 2011. Plant dehydrins and stress tolerance, versatile proteins for complex mechanisms. 6 (10). 1503-1509.
- Hanišová, E. 1998. Z historie pěstování kukuřice. *Zemědělec*. 5 (50). 4-5.
- Hare, P. D., Cress, W. A., Van Staden, J. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant, Cell and Environment*. 535-553.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Kočová, M., Rothová, O. 2008. Vliv sucha na rychlost fotosyntézy a transpirace juvenilních rostlin kukuřice. *Úroda*. 8. 48-49.
- Hnilička, F., Petr, J., Hniličková, H., Bláha, L. 2005. The effect of abiotic stresses on rate of photosynthesis and formation of dry matter in winter wheat plants. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 36. 1-9.
- 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). 545-558.
- Hopkins, W. H., Hüner, N. P. A. 2004. *Introduction to plant physiology*. John Willey & Sons. Ontario. 559 s. ISBN: 0471379174.
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Biology*. 24. 519-570.

- Hub, J. S., de Groot, B. L. 2008. Mechanism of selectivity in aquaporins and aquaglyceroporins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 105 (4). 1198-1203.
- Hundertmark, M., Hinch, D. K. 2008. LEA (Late Embryogenesis Abundant) proteins and their encoding genes in *Arabidopsis thaliana*. *BMC Genomics*. 9. 118. *Hydromechanics*. 53 (3). 164-176.
- Cha-Um, S., Yooyongwech, S., Supaibulwatana, K. 2010. Water deficit stress in the reproductive stage of four indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Botany*. 42 (5). 3387-3398.
- Chaves, M. M., Maroco J. P., Pereira, J. S. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*. 30. 239-264.
- Chmi.cz. Sucho [online]. 2015. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P10_0_Aktualni_sit uace/P10_4_SUCHO&last=false>.
- Choudhary, S., Sinclair, T. R. 2013. Hydraulic conductance differences among sorghum genotypes to explain variation in restricted transpiration rates. *Functional Plant Biology*. 41 (3). 270-275.
- Jabeen, F., Shahbaz, M., Ashraf, M. 2008. Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. *Pakistan Journal of Botany*. 40 (6). 2329-2343.
- Janda, J. 1982. *Kukurica. Příroda*. Bratislava. 402 s.
- Jianlin, W., Guirui, Y., Quanyao, F., Defeng, J., Hua, Q., Qiufeng, W. 2008. Responses of water use efficiency of 9 plant species to light and CO₂ and their modeling. *Acta Ecologica Sinica*. 28 (2). 525-533.
- Kang, S., Liang, K., Hu, W., Zhang, J. 1998. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. *Agricultural water management*. 38. 69-76.
- Kejnovský, E., 2012. Genom kukuřice vydává svá tajemství. *Vesmír*. 91. 623.
- Khaytnezhad, M., Gholamin, R. 2012. The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). 6 (12). 2844-2848.
- Khurana, P., Vishnudasan, D., Chhibbar, A. K. 2008. Genetic approaches towards overcoming water deficit in plants – special emphasis on LEAs. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 14 (4). 277-298.
- Koshita, Y., Takahara, T., Ogata, T., Goto, A. 1999. Involvement of endogenous plant hormones (IAA, ABA, GAs) in leaves and flower bud formation of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia Horticulturae*. 79. 185-194.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T. 2007. The role of dehydrins in plant response to cold. *Biologia Plantarum*. 51 (4). 601-617.

- Krv.agrobiologie.cz. Katalog plodin [online]. 2015. [cit. 2015-02-11]. Dostupné z <<http://krv.agrobiologie.cz/atlas/katalog/plodiny>>.
- Kůdela, V. (eds.). 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia. Praha. 566 s. ISBN: 9788020022622.
- Kůst., F. 2013. Známa neznámá kukuřice. Krmivářství. 17 (1). 36-41.
- Larcher, W. 1987. Stress bei Pflanzen. Naturwissenschaften. 74 (4). 158-167.
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology. 4th edn. Springer. Berlin. 513 s. ISBN: 9783540435167.
- Lawlor, W. D., Tezara, W., 2009. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. Annals of Botany. 103 (4). 561-579.
- Leung, J., Giraudat, J. 1998. Abscisic acid signal transduction. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 49. 199-222.
- Lgseeds.de. LG 32.52 [online]. 2014. [cit. 2015-03-21].]. Dostupné z <<http://www.lgseeds.de/mais/lg-3252>>.
- 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. K. 1998. The Stress Concept in Plants: An Introduction. Annals of the New York Academy of Sciences. 851. 187-198.
- Liu, M., 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. African Journal of Agricultural Research. 7 (34). 4751-4760.
- Meng, Z. J., Bian, X. M., Liu, A. N., Pang, H. B., Wang, H. Z. 2006. Effect of regulated deficit irrigation on physiological and photosynthetic characteristics of winter wheat and its optimized combination with agronomic techniques. Journal of Triticeae Crops. 26 (2). 86-92.
- Menyhért, Z. 1985. In: Nagy, J. 2006. Maize production. Akadémiai Kiadó. Budapest. 391 s. ISBN: 9789630586368.
- Milbourn, M. G. 1975. Maize growers' Handbook, 3rd edition. Home-grown cereals authority. London. 60 s.
- Muehlenbein, M. P. 2010. Human evolutionary biology. Cambridge University Press. New York. 623 s. ISBN: 9780521879484.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell & Environment. 25 (2). 239-250.

- Narayana, I., Lalonde, S., Hargurdeep S. S. 1991. Water-stress-induced ethylene production in wheat. *Plant Physiology*. 96. 406-410.
- O'Neill, P. M., Shanahan, J. F., Schepers, J. S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Science*. 46 (2). 681-687
- 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.
- Olivares-Villegas, J. J., Reynolds, M. P., McDonald, G. K. 2007. Drought-adaptive attributes in the Seri/Babax hexaploid wheat population. *Functional Plant Biology*. 34 (3). 189-203.
- Optisci.com. OS1-FL Chlorophyll Fluorometer [online]. 2005. [cit. 2015-02-01]. Dostupné z <<http://www.optisci.com/datasheet/os1-fl.pdf>>.
- Orfánus, T. 2005. Spatial Assessment of soil drought indicators at regional scale: hydrolimits and soil water storage capacity in Záhorská Nížina Lowland. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 53 (3). 164-176.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L. S. P. 2014. Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*. 5. 1-8.
- Osevauni.cz. Nabídka osiv jaro 2009 [online]. 2008. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z <http://www.osevauni.cz/osiva/pdf/Oseva_Uni_jaro_2009.pdf>.
- Paknejad, F., Nasri, M., Moghadam, H. R. T., Zahedi, H., Alahmadi, M. J. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences*. 7 (6). 841-847.
- Pellegrineschi, A., Reynolds, M., Pacheco, M., Brito, R. M., Almeray, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Hoisington, D. 2004. Stress-induced expression in wheat of the *Arabidopsis thaliana* DREB1A gene delays water stress symptoms under greenhouse conditions. *Genome*. 47. 493-500.
- Penka, M. 1985. *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. Academia. Praha. 256 s.
- Pospíšilová, J., Vágner, M., Malbeck, J., Trávníčková, A., Bařková, P. 2005. Interactions between abscisic acid and cytokinins during water stress and subsequent rehydration. *Biologia Plantarum*. 49 (4). 533-540.
- Radman, R., Saez, T., Bucke, C., Keshavart, T. 2003. Elicitation of plants and microbial cell systems. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 37 (1). 91-102.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., Vivekanadan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161 (11). 1189-1202.

- Riley, G. J. P. 1981. Effects of high temperature on the germination of maize (*Zea mays* L.). *Planta*. 151 (1). 68-74.
- 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. 231-266.
- Sanchez, R. A., Hall, A. J., Trapani, N., Cohen de Hunau, R. 1983. Effects of water stress on the chlorophyll content, nitrogen level and photosynthesis of leaves of two maize genotypes. *Photosynthesis Research*. 4 (1). 35-47.
- Selye, H. 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature*. 138. 32.
- Shan, L., Pei, S., Likun, G., Wangou, L. 2000. The response of different crops to drying wetting cycle in field. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*. 20 (2). 164-170.
- Shan, L., Xu, B., Li, F., Ma, Y., Ichizen, N., Huang, J. 2006. Gas exchange, biomass partition, and water relationships of three grass seedlings under water stress. 6 (2). 79-88.
- Sharkey, T. D., Seemann, J. R. 1989. Mild water stress effects on carbon-reduction-cycle intermediates, ribulose bisphosphate carboxylase activity, and spatial homogeneity of photosynthesis in intact leaves. *Plant Physiology*. 89. 1060-1065.
- Singh, I., Shono, M. 2005. Physiological and molecular effects of 24-Epibrassinolide, a brassinosteroid on thermotolerance of tomato. 47 (2-3). 111-119.
- 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. 65-76.
- Smart, R. E., Bingham, G. E. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*. 53. 258-260.
- Stewart, B. A., Howell T. 2003. encyclopedia of water science. Taylor & Francis. New York. 1104 s. ISBN: 9780824709488
- Strnadová, D. 2011. Kukuřice – dar Nového světa. Národní zemědělské muzeum Praha. Praha. 36 s. ISBN: 9788086874333.
- Šimon, J., Škoda, V., Hůla, J. 1999. Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi. *Agrospoj*. Praha. 78 s. ISBN: 9788023942408.
- Štekauerová, V., Skalová J., Šútor, J., 2002. Using of pedotransfer functions for assessment of hydrolimits. *Rostlinná výroba*. 48 (9). 407-412.
- Šuk, J., Balík, J., Jakobe, P., Jambor, V., Kohout, V., Loučka, R., Táborský, V., Vrzal, J. 1998. Kukuřice. *VP AGRO*. Kněžves. 131 s. ISBN: 8086153991.
- Takele, A., Farrant, J. 2013 Water relations, gas exchange characteristics and water use efficiency in maize and sorghum after exposure to and recovery from pre and post-flowering dehydration. *African Journal of Agricultural Research*. 8 (49). 6468-6478.

- Terragis.au. Soil Water Potential [online]. 2007. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z <http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_water-soil_and_water.html>.
- Toriyama, K., Heong, K. L., Hardy, B. 2005. Rice is life: scientific perspectives for the 21st century. International Rice Research Institute. Manila. 590 s. ISBN: 9712202046.
- Ungar, I. A., 1998. Are biotic factors significant in influencing the distribution of halophytes in saline habitats?. The Botanical Review. 64 (2). 176-199.
- Uoregon.edu. Teosinte [online]. 2015. [cit. 2015-03-19]. Dostupné z <<http://whp.uoregon.edu/>>.
- Vaadia, Y. 1976. Plant hormones and water stress. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 273. 513-522.
- Vinocur, B., Altman, A. 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. Current Opinion in Biotechnology. 16. 123-132.
- Virginia, S., Pagan, M., Cooper, M., Kantartzi, S. K., Lightfoot, D. A., Meksem, K., Kassem, M. A. 2012. Genetic analysis of relative water content (RWC) in two recombinant inbred line populations of soybean [*Glycine max (L.) Merr.*]. Journal of Plant Genome Sciences. 1 (2). 46-53.
- Vomáčka, L., Pospíšilová, J. 2003. Rehydration of sugar beet plants after water stress: Effect of cytokinins. Biologia Plantarum. 46 (1). 57-62.
- 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). 427-434
- Wright, E. I. (eds.). 2005. The effects of artificial selection on the maize genome. Science. 308. 1310.
- Yordanov, I., Velikova, V., Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology. Special Issue. 187-206.
- Yoshida, Y., Kiyosue, T., Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water. Plant and Cell Physiology. 38 (10). 1095-1102.
- Zhang, X. Y., Sun, H. Y., Liu, Ch. M., Shen, Y. J., Zhang, Y. Q. 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. 85 (1-2). 211-218.
- Zhang, X., Chen, S., Liu, M., Pei, D., Sun, H. 2005. Improved water use efficiency associated with cultivars and agronomic management in the North China Plain. Agronomy Journal. 97. 783-790.
- Zimolka, J. (eds.). 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profí Press. Praha. 200 s. ISBN: 9788086726311.