

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv postupné dehydratace a rehydratace na fyziologické  
charakteristiky kukuřice seté**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. František Hnilička, Ph.D.

**Vypracoval:**

Jaroslav Štěrba

**Rok odevzdání:**

2012

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že tato bakalářská práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

V Praze dne 16. 4. 2012

.....  
Jaroslav Štěřba

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Františkovi Hnilčkoví, Ph.D. za výbornou spolupráci, ochotné poskytnutí rad a připomínek při vedení mé bakalářské práce, dále za soustavnou pozornost a trpělivost po dobu celé práce. Dále bych chtěl poděkovat mým nejbližším za psychickou podporu.

## Souhrn

Cílem bakalářské práce je zjištění fyziologických vlastností kukuřice (*Zea mays* L.), která se nachází pod vlivem abiotického stresoru, tedy vodního deficitu. Práce řeší problematiku efektivitu výměny plynů, efektivitu využití vody v různých fázích vývoje testované rostliny. Pokusné varianty se snaží vycházet z přirozených podmínek, které se při pěstování kukuřice v polních podmínkách mohou vyskytovat. Pod vlivem fyzikálního stresu (sucha a nastavené zálivky) jsou u každé varianty zjišťovány změny fyziologických charakteristik.

Hybridní linie kukuřice (CE 704 a 2023) byly pěstovány v přirozeně řízených světelných podmínkách a za částečně řízených teplotních podmínek ve fyziologickém skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Teplota byla nastavena na 25 °C ve dne a 18 °C v noci. Rostliny kukuřice byly pěstovány v nádobách o rozměrech 11×11 cm. Rostliny byly kultivovány ve směsi zahradního substrátu A a říčního křemičitého písku v poměru 2:1. Každý sledovaný genotyp byl pěstován ve 4 variantách: Kontrolní (KK) – tato varianta byla zalévána po celou dobu experimentu. Kontrolní s přerušovanou zálivkou (KS) – (14 dnů zálivka, 10 dnů omezená zálivka, 4 dny rehydratace); (SK) – stresovaná 1 (omezená zálivka po dobu 10 dnů a poté 20 dnů rehydratace); (SS) – stresovaná 2 (omezená zálivka po dobu 10 dnů, rehydratace 4 dny, poté 10 dnů stres s následnou čtyřdenní rehydratací). Pro měření CO<sub>2</sub> byl využit přístroj LCpro +, který pracuje principu nerozptýleného infračerveného záření (NDIR). Ten je založen na skutečnosti, že CO<sub>2</sub> absorbuje záření v infračervené oblasti v poměru ke koncentraci plynu.

Z naměřených údajů jsou patrné rozdíly v rychlosti výměny plynů v průběhu ontogeneze u obou rodičovských genotypů. Rychlost fotosyntézy byla u všech variant vyšší ve prospěch genotypu CE 704. U tohoto samého genotypu byla vyšší rychlost transpirace patrná u všech variant kromě varianty s opakovaným stresem. U varianty s opakovaným stresem (SS) nejlépe využil vodu genotyp CE 704. U varianty s dlouhodobějším stresem (SK) využil lépe vodu genotyp 2023. Rodičovský genotyp CE 704 je vhodnější do podmínek zatížené střídáním vodního deficitu. Rodičovský genotyp 2023 je naopak vhodnější do prostředí zatížené dlouhotrvajícím vodním stresem.

Klíčová slova: kukuřice (*Zea mays* L.), transpirace, fotosyntéza, efektivní využití vody, vodní deficit

## Summary

The aim of this work is to identify physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.), which is under the influence of abiotic stressor, i.e. water deficit. The work deals with the issue of efficiency of gas exchange, water use efficiency in various stages of development test plants. Experimental variations are attempting to simulate natural conditions that can occur during a growing process of maize in field conditions. Changes of physiological characteristics are found in each variant of measurement when affected by such physical stress as drought and set watering.

Hybrid corn lines (CE 704 and 2023) were grown in the greenhouse of physiological Department of Botany and Plant Physiology FAPPZ CULS under naturally controlled lighting conditions and partly controlled temperature conditions. The temperature was set at 25 ° C during the daytime and 18 ° C at night. Maize plants were grown in containers with dimensions of 11x11 cm. Plants were grown in a mixture of garden substrate A and river silicic sand in the ratio 2:1. Each monitored genotype was grown in 4 variants: controlled (KK) - this version was watered throughout the experiment; controlled with discontinuous watering (KS) (14 days irrigation, limited irrigation 10 days, 4 days rehydration); stressed 1 (SK) (limited watering for 10 days and 20 days after rehydration); stressed 2 (SS) - (limited watering for 10 days, 4 day rehydration, than 10 days stress, followed by four-day rehydration). The LCpro + device which operates on the principle of non-dispersive infrared (NDIR) was used for measuring of CO<sub>2</sub>. It is based on the fact that CO<sub>2</sub> absorbs infrared radiation in rate of gas concentration.

Differences are apparent from the measured data in the exchange rate of gas during ontogeny in the two parental genotypes. Photosynthetic rate was higher in all variants for benefit of genotype CE 704. Very high transpiration rate was seen in the same genotype for all variants except variant with repeated stress. Genotype CE 704 used water the best for variant SS. Genotyp 2023 used water the best for variant with long-term stress (SK). Parental genotype CE 704 is preferable for environments with changing conditions of water deficit. Parental genotype 2023 is preferable for environments with prolonged water stress.

Keywords: corn (*Zea mays* L.), photosynthesis rate, transpiration rate, water use efficiency, water deficit

## Obsah

1 Úvod.....	3
2 Cíl práce.....	4
2.1 Hypotéza .....	4
3 Literární rešerše .....	5
3.1 Význam, historie, vznik a původ kukuřice .....	5
3.2 Botanické rozdělení .....	6
3.3 Morfologická charakteristika .....	8
3.3.1 Zárodek .....	8
3.3.3 Kořeny .....	8
3.3.4 Stéblo .....	9
3.3.5 Listy .....	10
3.3.6 Květy a květenství .....	10
3.4 Šlechtění.....	12
3.5 (GMO) Geneticky modifikovaný organismus .....	12
3.6 Pěstování kukuřice .....	13
3.7 Fyziologické charakteristiky .....	14
3.7.1 Fotosyntéza .....	14
3.7.2 Vodní bilance rostlin.....	15
3.7.3 Evapotranspirace.....	15
3.7.4 Transpirace.....	15
3.8 Stres .....	16
3.8.1 Stresor .....	17
3.8.2 Stresová reakce .....	17
3.8.3 Sucho .....	18
4 Metodika .....	20
4.1 Charakteristika rostlinného materiálu .....	20

4.2 Metodika pokusu.....	20
4.3 Měření fyziologických charakteristik .....	23
4.3.1 Metody stanovení výměny plynů dle (Hejnák, 2005): .....	23
4.3.2 Rozsah a metoda měření: .....	24
4.3.3 Stanovení rychlosti transpirace .....	24
4.3.4 Výpočet WUE, dle Bláhy a kol., (2008).....	24
4.4 Statistické hodnocení .....	25
5 Výsledky .....	26
5.1 Rychlost fotosyntézy.....	26
5.2 Rychlost transpirace.....	33
5.3 Efektivní využití vody (WUE).....	39
6 Diskuse.....	41
6.1 Fotosyntéza .....	41
6.2 Transpirace.....	42
6.3 Efektivní využití vody (WUE).....	42
7 Závěr .....	44
8 Seznam literatury .....	45

# 1 Úvod

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) je kosmopolitní plodinou, neboť se pěstuje na všech kontinentech, vyjma Antarktidy. Na evropský kontinent se tato plodina dostala díky zámořským objevům v polovině 15. století. Jedná se o velmi starou plodinu, neboť byla pěstována v kultuře již před 5600 lety. V dnešní době má tato plodina vyšší hektarové výnosy ve srovnání s obilninami první skupiny. Kukuřice je zároveň plodinou pro všestranné použití nejenom jako krmivo pro hospodářská zvířata, ale také jako potravina pro přímý lidský konzum. Další možnost jejího využití je v různých průmyslových odvětvích, jako např.: potravinářský, chemický, kosmetický, stavební, farmaceutický, aj. V současné době je největší využití kukuřice jako energetická plodina na výrobu bioplynu. Díky této významné vlastnosti se kukuřice stala jednou z nejvýznamnějších komodit ze zemědělského sektoru.

Tím, že kukuřice patří mezi plodiny s  $C_4$  cyklem, řadí se mezi rostliny s vyšším nárokem jak na teplotu vzduchu, tak i na teplotu půdy. Jedna z hlavních potřeb k správnému růstu patří dostatek vláhy. Rychlost růstu kukuřice je závislá na dostatečném příjmu vody. Správná teplota a vláha udává dobu opylování. Jakmile nastane sucho, tj. při nedostatku vláhy, vývoj a růst kukuřice je zpomalen. Nejkritičtější období ontogeneze má kukuřice ve fázi klíčení, kdy absorbuje velké množství vody a v období juvenilního stadia, kdy je voda potřebná na vývoj rostliny. Při působení vodního deficitu se zhoršují fyziologické procesy, které jsou důležité pro růst a vývoj rostliny. Horší zásobení vodou také způsobuje ztrátu turgoru. Pro maximální využití fotosyntézy je nutné, aby byla rostlina plně nasycena vodou.

Cílem této bakalářské práce je zjištění fyziologických vlastností kukuřice, která se nachází pod vlivem abiotického stresoru, tedy vodního deficitu. Práce řeší problematiku efektivity výměny plynů, efektivity využití vody v různých fázích vývoje testované rostliny. Modelové rostliny jsou rozděleny do několika variant, které se snaží vycházet z přirozených podmínek, které se při pěstování kukuřice v polních podmínkách mohou vyskytovat. Pod vlivem fyzikálního stresu – sucha a nastavenou závlivkou u každé varianty jsou zjišťovány změny fyziologických charakteristik.

Získané výsledky mohou být využity při šlechtění odolnějších genotypů této plodiny k abiotickým stresorům. Použitá fyziologická metoda – gazometrické stanovení rychlosti výměny plynů, je možné na základě získaných výsledků využít jako screeningovou metodu pro výběr vhodných genotypů.



## 2 Cíl práce

Kukuřice je plodinou kosmopolitní, která se pěstuje v různých ekologických podmínkách, tedy i v oblastech s relativním nedostatkem vody. Na nedostatek vody kukuřice velmi citlivě reaguje především ve fázi klíčení a v období vegetačního růstu. Z tohoto pohledu je proto věnována pozornost výběru odrůd, hybridů odolných vůči vodnímu stresu.

Z výše uvedeného vychází cíle práce:

1. Stanovení rozdílů rychlosti výměny plynů u dvou vybraných genotypů.
2. Stanovit u vybraných genotypů jejich odolnost/citlivost vůči vodnímu deficitu.
3. Stanovit u vybraných genotypů kukuřice rozdíly v rychlosti výměny plynů v reakci na rehydrataci.

### 2.1 Hypotéza

Z navržených cílů byly stanoveny následující hypotézy:

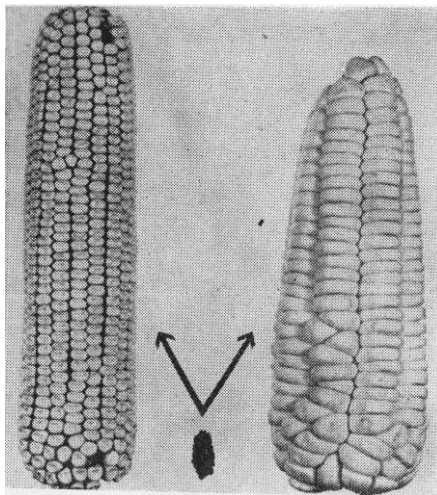
1. Existují genotypové rozdíly v rychlosti výměny plynů kukuřice v průběhu ontogeneze a pod vlivem vodního stresu?
2. Existují genotypové rozdíly odolnosti kukuřice vůči vodnímu deficitu?
3. Existují genotypové rozdíly v rychlosti výměny plynů juvenilních rostlin kukuřice po následné rehydrataci?

Jako modelové rostliny byly použity vybrané genotypy kukuřice seté, jelikož se jedná o jednu z nejdůležitějších světových plodin. Kukuřice patří mezi významné C<sub>4</sub> rostliny. Z hlediska náročnosti na vláhu patří kukuřice mezi suchovzdorné rostliny.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Význam, historie, vznik a původ kukuřice

Vznik a původ kulturní kukuřice ještě nejsou zdaleka vysvětleny. Dle Šmída (2002) je slovo mays indiánské pojmenování kukuřice v Peru. Dostál (1989) uvádí původ kukuřice v Mexiku. Dosavadní archeologické nálezy částí kukuřice, vymezení oblasti původu a jejího postupného rozšiřování, pokud jde o místo a čas, ukazují na dvě zeměpisné oblasti – středoamerickou a jihoamerickou (Harshberg, 1893). Na základě evidence z Holocénu byl *Tripsacinae*, patrně jeden z planých předků kukuřice, pevně zařazen do Nového světa přesněji specifikováno do Mexika (Francis, 1990). Schwanitz (1969) také dokazuje nalezení kulturní kukuřice v jeskyni Bet-cave v Novém Mexiku. Podle určení s použitím radioaktivního uhlíku se datují nálezy na stáří 5930. Jedná se o značně primitivní formu, s velmi malými palicemi, jak dokumentuje obr. 1. Z něho jsou patrné výrazné změny ve vývoji velikosti klasu kukuřice. Jedna z teorií o původu kukuřice dle Elzebroeka (2008) uvádí její odvození lidmi, výběrem z divoké trávy teosinte (*Zea mexicana*). Teosinte je divoká tráva, která roste v Mexiku a na severu střední Ameriky. Kukuřice patří podle Jugenheimerové (1976) k rostlinám, u kterých není dosud známá divoká forma. Jak uvádí, hypotéz o jejím vzniku a vývoji je několik. Podle těchto autorů se jedná o rostlinu, u které není znám původní druh.



Obr. 1 uprostřed nález kukuřice v porovnání s kukuřicí koňského zubu vlevo a kukuřicí škrobnatou vpravo, dle Mangelsdorfa (1958)

Dle (Vrzala, 1995) je kukuřice plodinou, která se pěstuje, přes její tropický původ, v rozmanitých klimatických podmínkách. Tato skutečnost byla umožněna rozvojem šlechtění, jehož výsledkem je skutečnost, že se dnes používá výhradně hybridní osivo. Kukuřice se šířila v zemích starého kontinentu velmi rychle a na velké vzdálenosti jako žádná jiná plodina, přestože v Evropě byly jejím velkým konkurentem brambory, v ostatních světadílech dobře adaptované obilniny a luskoviny, v Asii zejména rýže a sója, jak uvádí Zimolka a kol. (2008).

U nás se pěstování kukuřice více rozšířilo začátkem 20. století, zvláště se zaváděním hybridního osiva (Zimolka a kol., 2008). Dnešní český název pochází z rumunského cucu-ruza. Kukuřice má základní dvojí upotřebení: jako krmná obilnina, hlavně v jižních teplejších oblastech, a jako silážní krmivo v oblastech chladnějších (Šlechtová, 1960). Kromě těchto hlavních užitkových směrů se i u nás rozvíjejí další alternativní formy zpracování produkce kukuřice. Jedná se zvláště o využití zrna v potravinářském průmyslu na výrobu škrobu, izoglukózy, tuků a olejů, nových mlýnských a pekárenských produktů. Po průmyslovém zpracování slouží kukuřice jako surovina pro výrobu stavebních hmot, papíru a lepenky, lepidel, bioplastů, dále v chemickém, kosmetickém a farmaceutickém průmyslu, nejnověji pro výrobu obnovitelných zdrojů energie (bioetanol, bioplyn, biomasa) (Zimolka a kol., 2008). V poslední době podle Vrzala (1995) vzrůstá význam kukuřice pro přímou lidskou výživu. Rozšiřuje se význam pukancové kukuřice. Ve světě jsou běžné kukuřičné lupínky, kukuřičná krupice se vyznačuje vysokým obsahem vlákniny. Kromě toho se kukuřičná mouka používá k zahušťování polévek.

### 3.2 Botanické rozdělení

V botanickém systému je kukuřice (*Zea mays* L.) zařazena dle Zimolky kol., (2008) jako jednoletá rostlina, jednodomá, různopohlavní, typu rostlin diklinických s prašnickovými (samčími) a pestíkovými (samičími) květy, uspořádanými do oddělených květenství (laty a palice). Dle Mártonfiho (2006) patří kukuřice mezi monotypické rostliny. Je cizosprašná. Patří do podtřídy jednoděložných (*Monokotyledonae*), řádu lipnicokvětých (*Poales*). *Poales* je dle Mártonfiho (2006) monofyletickou skupinou, která je podporována na základě morfologických a DNA znaků. Další začlenění je dle Zimolky a kol. (2008) do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Tato čeleď dle Mártonfiho (2006) obsahuje byliny, často s oddenkami, s adventivními kořeny a někdy s mykorhizou. Dle Judda (2008) patří do této čeledě i stromy v tropech (bambusy). Podčeleď *Panicoidea* je dle dlouho taxonomicky uznávanou skupinou

díky výrazným kláskům. Do této skupiny patří také již dříve zmíněné rody *Euchlaena* – teosinta (se dvěma druhy) a *Tripsacum* (s devíti druhy). Elzebroek (2008) uvádí, že druhy kukuřice se liší ve velikosti, vše záleží na kultivarech a podmínkách růstu. Uvedenou problematikou se zabývali např. Zimolka a kol. (2008) a Šuk (1998), kteří uvádí následující třídění kukuřice:

**Kukuřice obecná, tvrdá** (*Zea mays* convar. *indurata* Sturt, syn. *Z. m.* convar. *vulgaris* Körn.). Je velmi polymorfní a patří k nejstarším. Zrno má tvrdé, okrouhlé, lesklé, s moučnatým a sklovitým endospermem.

**Kukuřice koňský zub** (*Zea mays* convar. *indentata* Sturt, syn. *Z. m.* convar. *dentiformis* Körn.). Zrno se vyznačuje nižší tvrdostí oproti kukuřici obecné. Má však nápadný tvar a strukturu. Má obvyčejně klínovitý tvar a strukturu. Zrno má tvar zubu.

**Kukuřice polozubovitá** (*Zea mays* convar. *aorista* Grebencsc., syn. *Z. m.* convar. *semidentata* Kulesh.) vznikla křížením koňského zubu a k. obecné a představuje přechodnou formu mezi těmito dvěma varietami. Má menší jamku než u koňského zubu a endosperm je naopak sklovitější.

**Kukuřice pukancová – praskavá** (*Zea mays* convar. *evarta* Sturt., syn. *Z. m.* convar. *microsperma* Körn., Grebencsc.) tvoří velmi drobné zrno (HTS 90 až 130 g). Moučnatý endosperm se vyskytuje jen zřídka, a to v blízkosti klíčku. Většinou obsahuje hodně bílkovin a má velkou výživovou hodnotu.

**Kukuřice cukrová** (*Zea mays* convar. *saccharata* Sturt.), se po dozrání vyznačuje svaštělým endospermem sklovitého vzhledu, který je složen převážně z vodorozpustných glycidů (amylodextrin). Zrno je na lomu lesklé a obsahuje málo škrobu.

**Kukuřice vosková** (*Zea mays* convar. *ceratina* Grebencsc. Kulesh.) má zrno vzhledem i tvrdostí velmi podobné zrnu kukuřice tvrdé, od něhož se liší matným povrchem. Její využití je pro technické účely.

**Kukuřice škrobnatá** (*Zea mays* convar. *amylacea* Sturt., Mont., Grebensc., syn. *Z. m.* convar. *macrosperma* Klobsch.). Zrno má nízký obsah bílkovin, naopak vysoký obsah škrobu, je tedy typickou kukuřicí škrobářenskou, případně vhodnou k výrobě lihu.

**Kukuřice plevnatá** (*Zea mays* var. *tunicata* St. Hill, syn. *cryptosperma* Bonaf, syn. *glumacea* Larranaga). Nemá hospodářský význam. Zrno má uzavřené v plevách.

### 3.3 Morfologická charakteristika

Některé znaky jsou u kukuřice společné s jinými druhy čeledi lipnicovitých, ale jsou znaky, ve kterých se od nich výrazně liší (Zimolka a kol., 2008). Kukuřice je podle Dostála (1998) statná bylina. Elzebroek (2008) uvádí kukuřici jako velkou roční travu.

#### 3.3.1 Zárodek

Zimolka a kol. (2008) uvádí, že zárodek (embryo) představuje základ nové rostliny. U zralého zrna je zárodek zřetelně vyvinutý a vysoce organizovaný. Je na něm možno vidět základy všech vegetativních orgánů. V prvním pupenu (plumule) se po stranách vzrostného vrcholu vytváří u všech kultivarů pět základních listů. Na protilehlé straně se nachází kořínek (radicula) s čepičkou (calyptra). Plumula je chráněna pochvovitou koleoptilí, rovněž kořínek s čepičkou pokrývá pochvička (koleorhiza) Podle Bowese et al. (2008) pokrývá koleorhiza kořen před klíčením, zatímco koleoptile zakládá a chrání plumuli. Na boku zárodku se vytváří štítek (scutellum), který je považován za přeměněný zárodečný list (cotyledon). Vznik nové rostliny popisuje obr. 2.

#### 3.3.3 Kořeny

Kořen kukuřice patří dle Šuka (1998) podle svého původu k primární nebo sekundární kořenové soustavě. Podle Francise (1990) mohlo mnoho kořenů vzniknout za účelem ukotvení v nestálé půdě. Kukuřice vytváří svazčitý kořenový systém, jehož provazčité kořeny pronikají poměrně hluboko do půdy, podle stanovištních podmínek 1,5 až 3 i více metrů, a zajišťují zásobování vodou ze značné hloubky. Převážná část jemných kořínků je však rozložena mělce v orniční vrstvě do 20 cm, kolem stébla v okruhu okolo 100 cm i více. Vy-

zrálé zrno kukuřice má téměř vždy jeden zárodečný kořínek (*radicula*) a různý počet postranních (7 až 13). Rychlost tvorby kořenů je podle Zimolky a kol. (2008) v počátečním růstovém období velká. Buněčná stěna cortexu může lignifikovat stejně jako u stébla. Adventivní kořeny mohou zlepšit dle Francise (1990) výměnu plynů v anaerobním prostředí, vznikající při stavu když jsou rostliny pravidelně zaplavovány v jílovitém či bažinatém prostředí. Sekundární kořeny (nadzemní, vzdušné) mají dle Šuka (1998) mimo jiné chránit kukuřici před poléháním a polámáním silným větrem. Podle Francise (1990) mohou vzdušné kořeny převzít funkci Calvinova cyklu jako u vodních trav, které získávají CO<sub>2</sub> zachycením přes průduchy mezi povrchem hydrofobního listu a vody. Plyny jsou přesouvány přes dýchací cestu v listech, stoncích a kořenech. Jsou - li kořeny v kontaktu s kyprou půdou, může být rostlina vyživována srážkami (i rosou), zvláště ve druhé polovině léta.

### 3.3.4 Stéblo

Stéblo kukuřice je podle Elzebroeka (2008) jednoduché, pevné s jasně patrnými uzly. Dle Dostála (1950) je stéblo uvnitř plné a na povrchu hladké a lysé, více méně jednoduché u báze až 6 cm silné. Dosahující výšky (podle variet) podle Dostála (1998) od 150 do 250 i více centimetrů. Stébla jsou na dolních kolénkách kořenující. Zúžuje se směrem nahoru. Je zásobním orgánem kukuřice, zprostředkovává spojení listů a kořenů. Je složen z článků (internodií), které se střídají s plnými kolénky (nody). Počet nadzemních článků je dle Šuka (1998) geneticky založeno a liší se u jednotlivých hybridů. Jeden typ buněk je dle Francise (1990) prodloužen s mnoha krátkými internodiemi, které mohou být vertikální. Ty se náhle mění v tenké. Toto se týká vzpřímeného stonku. Nebo horizontální, produkující přídavný stonek z laterálních nodů. Krátké internody se kříží s květenstvím rodu *Tripsacinae*, které jsou pokrouceny do okřídlených dutin nebo kupulí, způsobené kompresí pletiv. Efekt je rozdílný v divokých rostlinách s vertikální orientací volných klásků a u kukuřice s horizontálně orientovanými spárovanými klásky. Článek nesoucí klas (samičí květenství) má rozšíření úžlabí, a aby udržoval rovnováhu stébla s narůstající hmotností klasu, bývá mírně odkloněn od vertikální osy rostliny na opačnou stranu, než se naklání klas. Články stébla jsou vyplněny dřevem, čímž stoupá jeho pevnost (Zimolka a kol, 2008). *Zea mays* je význačná množstvím dřevě v kůře stébla. Některá pletiva ve stéblu kukuřice vznikají prstencovým tloušťnutím v buněčných stěnách primárního xylému (Francis, 1990).

### 3.3.5 Listy

Šuk (1998) uvádí, že list jako orgán slouží k asimilaci a výparu vody. Počet listů je dán geneticky, rané hybridy mají zpravidla menší počet listů než hybridy pozdní. Pochvy listů jsou dle Dostála (1950) hladké, čepele jsou široce kopinatě čárkovité. Na lici jsou listy slabě chloupkaté a více méně hrubé. Dle Francise (1990) jsou spodní listy převážně větší a více rovné než vrchní listy stonku a květenství. Spodní část tvoří mohutnou pochvu (vagina), obklopující stéblo a chránící bázi jednotlivých článků, které si dlouho uchovávají meristémový charakter (Zimolka a kol., 2008).

Listy epidermálních buněk *Zea mays* jsou relativně dlouhé a široké s mělce vlnitými hranami, což je způsobené prostředím a tím je dána velká variabilita druhů (Francis, 1990).

Dle Dostála (1995) bývají horní čepele zakrnělé. Čepele jsou podle tohoto autora ploché, široké, čárkovitě kopinaté, široké 5–15 mm. Na vrchní straně listové čepele se v menších odstupech nacházejí skupiny nápadně velkých, tenkostěnných elastických buněk (*cellulae bulliformes*), které jsou ponořeny hluboko v mezofylu. Tyto buňky při nabobtnání – zvyšování turgoru list rozvinují, při ztrátě turgoru (horké a suché počasí) zavinují, a tím částečně regulují transpiraci. Listy mají velké množství průduchů (stomat) (Zimolka a kol., 2008).

Postavení listu má především význam dle Šuka (1998) při využití dopadajícího slunečního záření v porostu. Moderní intenzivní hybridy kukuřice se vyznačují erektofilním postavením listů, které lépe využívají dopadající sluneční záření.

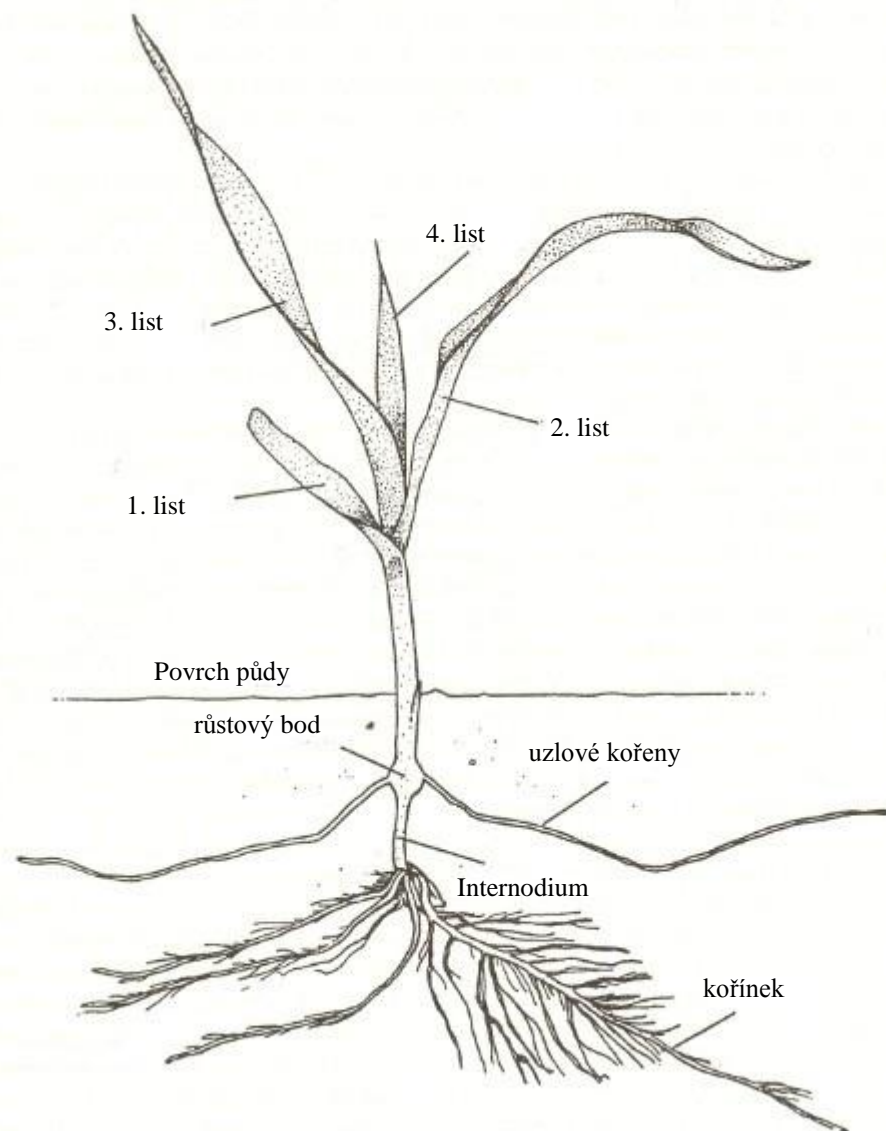
### 3.3.6 Květy a květenství

Květy jsou dle Dostála (1998) jednopohlavné a jednodomé. Mártonfi (2006) dále uvádí, že soukvětí je odděleného pohlaví. Podle květního vzorce má kukuřice u samčího květu dva okvětní lístky a tři tyčinky. Samičí květy nemají okvětní a pestík je složen ze tří plodolistů. Samičí květy jsou uloženy ve válcovitých palicích v úžlabích spodních listů, kde jsou až do zralosti obalených nafouklými pochvami. Z těchto pochev vzniká hustý svazek nitkovitých, brvitých blizen. Samčí květy jsou uloženy v koncové, přímé latě. Přímá lata je složená z úzkých, hustých lichoklásků, dlouhých až 20 cm. Klásky jsou postavené ve dvojicích, kde dolní jsou přisedlé a horní jsou stopkaté (Dostál, 1998).

Lata je tvořena hlavní osou (větví) a různým počtem spirálovitě rozestavených vedlejších větví. Květy tvoří dvojice květů, jeden je přisedlý, druhý má stopku. Květy mají tři praš-

níky. Velikost a tvar laty jsou u kukuřice charakteristickým znakem. Samčí klásky, které ukončují samičí klásky, jsou tvořeny dle Francise (1990) na volném hroznu.

Pestíkové či samičí květenství je Zimolky a kol. (2008) sestaveno do klasu (palice). Bowes a kol. (2008) uvádí, že palice zraje několik měsíců po oplození z květenství nesoucí řadu samičích květů. Pestíkové květy rovněž vytvářejí dvoukvěté klásky, z nichž je plodný zpravidla jen vrchní klásek, kdežto spodní (až na výjimky, kdy může mít vyvinutý pestík je zakrnělý) (Zimolka a kol, 2008).



Obr. 2: Vznik nové sazenice kukuřice (Benson and Reetz, 1984)



### 3.4 Šlechtění

Podle Chloupeka (2008) je šlechtitelská metoda charakterizována třemi faktory:

- a) vhodné stanovení cíle šlechtění;
- b) správný výběr rodičů;
- c) vhodná metoda vytvoření genetické variability.

Cíl šlechtění by měl být zaměřen na limitující faktor současných odrůd. Šlechtění kukuřice u nás začalo na pracovišti MZLU v Mendeleu v Lednici. V současnosti, je většina kukuřice dle Elzebroeka (2008) setá z jedno-křížených nebo dvojitě-křížených semen. Plodina, která vzniká z takovýchto semen, je velmi uniformní a vysoce produktivní. V současnosti se vedle tradičních šlechtitelských metod uplatňují další metody, mezi které je možné zařadit metody vnášení cizorodého dědičného materiálu do dědičného materiálu cílové rostliny. Jedná se o metody genetické modifikace. V současné době se ve významné míře prosazují geneticky modifikované hybridy, především s genem rezistence k zavíječi kukuřičném *Bt* z *Bacillus thuringiensis* (Chloupek, 2008).

České firmy zabývající se šlechtěním kukuřice jsou CEZEA Čejč, RAGT Branišovice. Mezi české nadnárodní firmy se řadí Monsanto v Brně a Syngenta v Praze. Na Slovensku probíhá šlechtění kukuřice v Topoľčankách a v HI BRED Pioneer.

### 3.5 (GMO) Geneticky modifikovaný organismus

Dle zákona č. 78/2004 Sb., o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty, v platném znění se jedná o cílenou změnu dědičného materiálu spočívající ve vnesení cizorodého dědičného materiálu do dědičného materiálu organismu nebo vynětí části dědičného materiálu organismu způsobem, kterého se nedosáhne přirozenou rekombinací. Přesnějším výrazem je podle Zimolky a kol. (2008) transgenní, protože se jedná o organismy s cizí vnesenou vlastností. Přestože pojem biotechnologie zahrnuje výrobní postupy s využitím živých organismů, ujal se v poslední době jako zúžený specifický výraz pro nový způsob šlechtění. Ten využívá pozměňování vlastností organismů vkládáním některých genů zodpovědných za určitou vlastnost rostlině vlastní ke zvýšení produkce žádané látky, a někdy naopak jejich vyjímáním genomu k zabránění produkce nechtěných látek. Takovému nakládání s živými organismy se také říká genetické inženýrství. GMO rostlina je

podle Chloupka (2008) rostlina, jejíž genetický materiál byl modifikován pomocí umělého přenosu genetické informace, s výjimkou umělého opylení, oplodnění in vitro, mutace nebo fúze buněk rostlin, které jsou přirozeně křížitelné. Bláha a kol. (2011) označuje geneticky modifikované organismy (GMO) jako produkty moderních technologií, které slouží ve světovém měřítku zejména v sektoru rostlinné produkce.

### 3.6 Pěstování kukuřice

Kukuřice je dle Vrzala (1995) nejvýznamnější jednoletá píce. Poskytuje vysokou produkci sušiny a energetických živin z jednotky plochy. Z 1 ha dává šest až osm tisíc škrobových jednotek. První podmínkou úspěšného pěstování kukuřice je dostatek vhodného osiva (Šlechtová, 1960). Pokud se nepodaří dosáhnout optimálního počtu rostlin na jednotce plochy pro dané stanoviště, hybrid i užitkový směr, ovlivní se tak primárně výnos jak v množství, tak v kvalitě (Zimolka a kol., 2008). Kukuřici jako vysoce výkonnou pícninu je dle Vrzala (1995) nutno pěstovat na menších plochách, ale intenzivně. Vedle vysokých výnosů je třeba dosahovat výborné kvality, jejímž hlavním ukazatelem je podíl palic na celkové hmotě a stupeň zralosti. Kukuřice je v České republice pěstována všech výrobních oblastech na všech půdních druzích a typech za použití různých technologií zpracování půdy. Sklizeň a výnos kukuřice na zrno je uvedena v tabulkách 1 a 2. Zvýšenou pozornost agrotechnice musí věnovat zejména zemědělci hospodařící na svažitých pozemcích, na nichž je nebezpečí eroze a s ní spojené odplavení živin podstatně vyšší než na rovinách. Termín setí je především závislý na výzrállosti a teplotě půdy, která má být v hloubce setí minimálně 8 °C (Prokeš, 2009).

**tab. 1: Sklizeň kukuřice na zrno v tis. t, dle českého statistického úřadu (2012)**

2005	2006	2007	2008	2009	2010	Průměr let 2005 – 2010
702,9	606,4	758,8	858,4	889,6	692,6	761,2

Z tabulky 1 vyplývá, že po roce 2005 byl jeden rok pokles sklizně a poté se sklizeň zvětšoval až do roku 2010, kdy nastal další pokles. Tento jev může být způsobeno nepříznivým obdobím, co se týká podmínek pro pěstování, v roce 2006 a 2010.

**tab. 2: Hektarový výnos kukuřice na zrno v t, dle českého statistického úřadu (2012)**

2005	2006	2007	2008	2009	2010	Průměr let 2005 - 2010
7,17	6,75	6,80	7,54	8,45	6,71	7,25

V tabulce 2 jsou uvedeny změny výnosů zrna kukuřice za posledních 6 let. Je z ní patrné, že výnosy se zvyšovali či klesali v závislosti na příznivých podmínkách. Nejvyšší hektarový výnos byl během 5 let zaznamenán v roce 2009, ale o rok později se hektarový výnos snížil o 1,77 t.

### **3.7 Fyziologické charakteristiky**

#### **3.7.1 Fotosyntéza**

Scott (2008) uvádí, že rostliny vytváří více než 99 % biomasy na Zemi a tato dominance je zakládána na jedné vlastnosti rostlin a to na schopnosti fotosyntézy. Rostliny mají také značné požadavky na vodu k efektivní fotosyntéze. Fotosyntéza je zajímavá, ne pouze pro schopnost přeměny světelné energie, ale také pro kapacitu zachyceného CO<sub>2</sub> ze vzduchu a jeho přeměna na šesti-uhlíkatý cyklický uhlohydrát (glukóza nebo fruktóza). Vedle přeměny energie slunečního záření a CO<sub>2</sub> na organické látky má dle Bláhy (2008) nesporně klíčový význam fixace CO<sub>2</sub> a postupná změna atmosféry během evolučního vývoje na Zemi. Celá řada faktorů životního prostředí ovlivňuje dle Bögra et al. (2008) listovou a kořenovou dynamiku růstu způsobené přímými nebo nepřímými změnami fotosyntetických energetických zisků. *Zea mays* L. má dle Francise (1990) široký rozsah fotoperiodické odezvy, které jsou specifikovány druhem. Největší chloroplasty jsou umístěny pouze v tenkostěnných vnitřních svazčitých poševních buňkách odvozené z cévních svazků, zatímco několik nebo žádné buňky chloroplastu jsou umístěny v tenkostěnných buňkách mezofylu. C<sub>4</sub> rostliny mají dle Mártonfiho (2006) v listech cévní svazky obklopené parenchymatickým pletivem, kolem kterého se nachází věvec mezofylových buněk, díky kterým je umožněn typ fotosyntézy, který je vhodný

pro přežití rostlin v extrémních teplotách. Metabolismus ve spodních pletivech má dle Scotta (2008) hlavní dopad na fotosyntetický metabolismus v listu.

### 3.7.2 Vodní bilance rostlin

Tento vztah vyjadřuje dle (Bláha a kol., 2011) vzájemný vztah mezi příjmem vody a výdajovými složkami vody. V případě, že atmosférické srážky (P) jsou jediným zdrojem vody, je možné použít rovnici vodní bilance v následující podobě:

$$P = \Delta W + ET + O$$

Kde „ $\Delta W$ “ představuje změnu zásob vody v půdě a fytomase, „ET“ je evapotranspirace a „O“ je odtok.

### 3.7.3 Evapotranspirace

Transpirace a evaporace dle Bláhy a kol. (2011) tvoří celkový výpar vody – evapotranspiraci. Evapotranspirace zahrnuje 3 složky: fyzikální výpar, zachycená ze srážkové vody (intercepce), výparu vody z půdy (evaporace) a fyziologický výdej vody rostlinami – transpirace. Výměna plynů v listech je podle Scotta (2008) esenciální pro fotosyntézu, nicméně ten samý čas, voda je ztracena přes průduchy. Voda se odpařuje z buněčné stěny mezofylových buněk. Jak se voda odpařuje, ustupuje do buněčné stěny. To způsobuje úpadek vodního potenciál v této oblasti, a tím vytváří hnací sílu k řízení přepravy vody v rostlině. Bláha a kol. (2008) uvádí, že měření evapotranspirace porostu jsou náročná na přístrojové vybavení a odhady podílu transpirace na ET (měřitelný celkový odtok vody z porostu) a výnosového indexu nemusí být spolehlivé. Odstraněním vody prostřednictvím evapotranspirace vede dle Madhavy et al. (2006) ke zvýšené koncentraci solí v půdě.

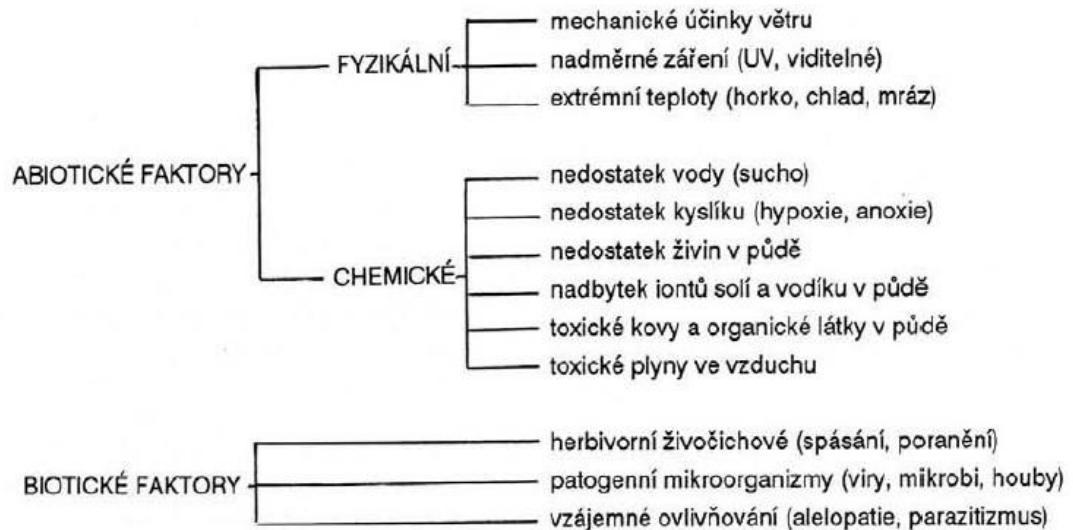
### 3.7.4 Transpirace

Tento proces je dle Bláhy a kol. (2011) výpar z povrchu rostlin. Jedná se o výdej vody ve formě páry převážně přes průduchy listů (95 % průduchová transpirace) a menší mírou i přes pokožku listů (5 % kutikulární transpirace). Scott (2008) definuje transpiraci jako evaporaci vody z listů a její přemístění z xylému. Absorpce vody u rostlin je podstatně nižší než

u stromů. Jakmile je voda z půdy kolem kořenů vyčerpána, tak vodní potenciál rizosféry klesá a je přemístěn hromadným tokem. Povaha půdy má velký vliv na proces hromadného toku. Öpik and Rolfe (2005) uvádí, že transpirace patří mezi rostlinné procesy, který nevyužívá sluneční energii přímo bez zásahu fotosyntézy. Dále uvádí důležitost transpiračního proudu při přesunu fytohormonů do listů. Průduchy jsou dle Bergmanna et al. (2004) potřebné pro výměnu plynu a transpiraci, což je nezbytné pro přežití suchozemských rostlin. Utváření a postavení listového aparátu na stonku, počet průduchů, výskyt trichomů a u klasu výskyt osin charakterizuje podle Bláhy a kol. (2008) poměr transpirace a fotosyntézy.

### 3.8 Stres

V současné době je stres u rostlin zkoumán z různých hledisek, od velkých celků – ekosystémů až po biologické regulaci rostliny na molekulární úrovni (Bláha a kol., 2003). Obecné rozdělení stresu je znázorněno na obr. 6. Po celém světě obývají rostliny širokou škálu prostředí s různými kombinacemi abiotických a biotických interakcí (Nielsen and Orcutt, 2008). Při růstu dle Bögra a kol. (2008), rostlina skvěle reaguje na změny životního prostředí. Růst, dělení a expanze rostlinných buněk je podporován dostupností živin a inhibován abiotickým stresem. Životní prostředí rostlin je charakterizováno proměnlivými vnějšími podmínkami, které jsou buď pro jejich růst, vývoj a rozmnožování vhodné anebo méně vhodné a nutí rostliny měnit se a přizpůsobit se stávajícím podmínkám prostředí (Bláha a kol., 2003). Biofyzikální a chemické omezení rostlinné struktury a její funkce ohraničuje počet znaků a morfologických rysů, které se mohou projevit v dané lokalitě. Žádná rostlina nežije v prostředí, kde působí pouze jeden zdroj, který je významný pro jeho rozvoj a přežití. Množství abiotických a biotických faktorů se liší prostorově a časově v rostlinném prostředí. Některé mohou mít interaktivní účinky na fyziologii dané rostliny (Nielsen and Orcutt, 2008). Na živé organizmy nikdy nepůsobí pouze jednotlivé faktory vnějšího prostředí, ale celý komplex vlivů, abiotických (fyzikálních a chemických) a biotických faktorů (živých organismů včetně člověka), které vstupují do vzájemných interakcí (Bláha a kol., 2003).



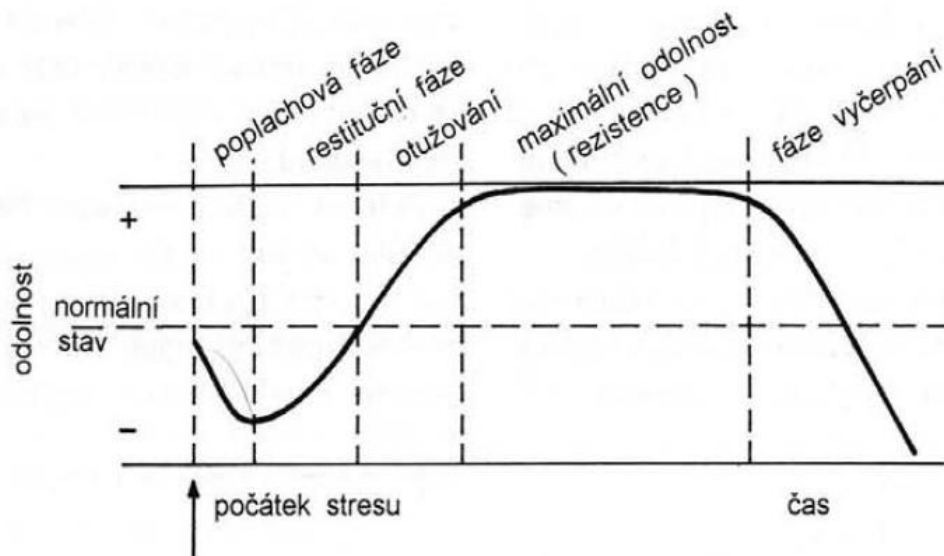
Obr. 6: Obecné rozdělení stresu dle Procházky a kol. (1998)

### 3.8.1 Stresor

Negativní vnější vlivy – stresory, působí na celou rostlinu, tj. na kořeny, nadzemní část i na vyvíjející se semena. Při působení stresorů může rostlina dosáhnout nového rovnovážného stavu na základě činnosti kompenzačních procesů (Bláha a kol., 2003). Narušený ekosystém má mnoho stresorů ovlivňujících rostliny, které se snaží obnovit svou oporu (Nielsen and Orcutt, 2008).

### 3.8.2 Stresová reakce

Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, se nazývá stresová reakce (poplachová fáze – restituční fáze – fáze rezistence – fáze vyčerpání) (Bláha a kol., 2003). Průběh stresové reakce je rozdělen do pěti fází: poplachová, restituční, otužování, rezistence a fáze vyčerpání. Postup těchto fází je možno sledovat v grafické podobě na obr. 6.



Obr. 7: Idealizovaný průběh stresové reakce. (Larcher, 1995)

Popis stresových fází dle Jonese et al. (1998):

- poplachová – narušení buněčných struktur;
- restituční – mobilizace kompenzačních mechanismů;
- otužovací – zvýšení odolnosti rostliny;
- rezistence – doba, kdy je rostlina maximálně odolná vůči působení stresu;
- vyčerpání – nastává při dlouhodobém a intenzivním působení stresu, kdy rostlina není schopná růst a začíná hynout.

### 3.8.3 Sucho

Vodní stres, je nejvíce limitující stresor pro rostliny, snižuje aktivitu všech enzymů v rostlině a zpomaluje růst rostliny. Příčinou nedostatku vody dostupné pro rostliny jsou nejčastěji klimatické poměry a průběh počasí. Vlastní příjem vody rostlinou je závislý také na obsahu živin a solí v půdě, ale i na půdní reakci (Bláha a kol., 2003). Stres vyvolaný suchem je dle Scotta (2008) způsoben především nedostatkem vody v důsledku nízkých srážek nebo špatného zavlažování. Nedostatek vody a zvýšené teploty jsou podmínky dle Bögra et al. (2008), které jsou pro rostlinu velmi stresující a negativně působí na celou rostlinu a růst listů. Po vystavení rostlin nedostatkem vody dochází dle Bláhy a kol. (2011)

k uzavírání průduchů, z tohoto důvodu je omezen přísun CO<sub>2</sub>, nejsou dostupné produkty světelné fáze fotosyntézy a v důsledku nahromaděné energie může docházet k poškození fotosyntetického aparátu (Grzesiak et al., 2007).

Reakce rostlin na vodu v prostředí je podle Wooda (2005) do značné míry závisí na evolučně daném způsobu hospodaření s vodou. V takovéto souvislosti se rozlišují dvě strategie: homoi-ohydrismus – tento proces je charakterizován snahou rostlin udržet vysoký vodní potenciál pleti i po dobu sucha. Poikilohydrismus definujeme jako neschopnost kontrolovat ztrátu vody do okolního prostředí (Bláha a kol., 2011).

Při působení vodního stresu se snižuje především růst a fotosyntéza. Důležitou úlohou vody je udržování turgoru. Turgor u rostlin má hlavní úlohu při růstu a prodlužování buněk. A jeho další důležitá schopnost je při otevírání průduchů a pohybu listů a květních obalů. Při snižování turgoru dochází nejdříve k redukci prodlužování listů a teprve později k redukci fotosyntézy (Bláha a kol., 2003) Po dobu sucha dle Zeiga a Zeigera (2002) obsah vody v rostlině klesá, protoplasty se smršťují a jejich turgor se snižuje.

Nedostatek vody u vyšších rostlin ovlivňuje v první řadě průduchy, jejichž uzavíráním zpomaluje výměnu CO<sub>2</sub>. Rostlina na nedostatek vody reaguje tvorbou celé řady látek, které zvyšují osmotický tlak v buňkách, zejména se zvyšuje koncentrace kyseliny abscisové (ABA). Zavíráním průduchů omezuje výměnu plynů (oxid uhličitý a kyslík) a tím se snižuje rychlost fotosyntézy i dýchání. (Bláha a kol., 2003) Dle Grzesiaka et al. (2007) nejsou v takovéto situaci dostupné produkty světelné fáze fotosyntézy a v důsledku nahromadění přebytečné energie může docházet k poškození fotosyntetického aparátu (Bláha a kol., 2011).

Při postupném vysychání se snižuje hydratace protoplazmy a tím i fotosyntetická kapacita. Příjem CO<sub>2</sub> dosahuje normálních rychlostí jen v úzkém rozsahu dostatečného zásobování vodou (Bláha a kol., 2003). Whiteová and Johnson (2003) uvádí, že hlavní faktor v dostupnosti vody, není ani tak samotná míra srážek, ale kolik vody může půda udržet na jednotku hloubky a do jaké hloubky je spodní půda vhodná pro udržení vody a kořenový růst. Schopnost půdy udržet vodu určuje, kolik vlhkosti může být v rezervě do doplnění ze sezónních srážek Výnos kukuřice se mění v závislosti na dostatku vody v období, kdy je rostlina nejvíce náročná na vodu. Tj. v období klíčení a růstu (Boland et al., 2002).



## 4 Metodika

Základním cílem této práce bylo zjištění fyziologických reakcí dvou rodičovských linií kukuřice na vodní deficit a následnou rehydrataci. Cílem bylo stanovit odolnost jednotlivých rodičovských genotypů vůči vodnímu deficitu a reakce na následnou rehydrataci.

### 4.1 Charakteristika rostlinného materiálu

Byly vybrány 2 genotypy kukuřice (*Zea mays* L.). Jedná se o inbrední rodičovské linie 2023, CE704. Osivo uvedených genotypů bylo získáno ze šlechtitelské stanice CEZEA, s.r.o., Čejč u Hodonína, která se jako jediná v ČR zabývá šlechtěním kukuřice.

### 4.2 Metodika pokusu

Hybridní linie kukuřice byly pěstovány v přirozeně řízených světelných podmínkách a za částečně řízených teplotních podmínek ve fyziologickém skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Teplota byla nastavena na 25 °C ve dne a 18 °C v noci. Rostliny kukuřice byly pěstovány v nádobách o rozměrech 11×11 cm. Rostliny byly kultivovány ve směsi zahradního substrátu A a říčního křemičitého písku v poměru 2:1.

Použitý zahradnický substrát A má upravenou reakci a je obohacený živinami a zaručuje svými vlastnostmi optimální podmínky pro předpěstování sadby květin a zeleniny. Jeho optimální pH je od 5,5 do 6. Spalitelné látky min. 35 %, částice nad 25 mm max. 5 %, N – 80 až 120 [mg].l<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 50 až 100 [mg].l<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O – 100 až 150 [mg].l<sup>-1</sup>. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg.kg<sup>-1</sup> sušiny. Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200. V každé nádobě byla pěstována jedna rostlina kukuřice. Počet opakování byl pět od každého genotypu a varianty. Rozmístění nádob v řízených podmínkách vycházelo z principu metod Latinského čtverce. Pokus byl zahájen při vytvoření čtyř pravých listů (fáze 14 BBCH).

Každý sledovaný genotyp byl pěstován ve čtyřech variantách: kontrola, kontrola s přerušenu zálivkou, stresovaná s následnou rehydratací a stresovaná s rehydratací a opětovným navozením stresu a rehydratací. Kontrolní (KK) – tato varianta byla zalévána po celou dobu experimentu. Kontrolní s přerušenu zálivkou (KS) – (14 dnů zálivka, 10 dnů omezená zálivka, 4 dny rehydratace); (SK) – stresovaná 1 (omezená zálivka po dobu 10 dnů

a poté 20 dnů rehydratace); (SS) – stresovaná 2 (omezená zálivka po dobu 10 dnů, rehydratace 4 dny, poté 10 dnů stres s následnou čtyřdenní rehydratací).

Rostliny kontrolní byly zavlažovány na úroveň 70 % polní vodní kapacity. Množství zálivkové vody u kontrolních rostlin byl 200 ml. Zálivka byla řízena na základě výsledků získaných přístrojem  $\Delta T$  Theta Kit (Delta – T Device, Velká Británie).

**Tabulka 3: Provedená zálivka v období měření**

varianta	K		SK		KS		SS	
	zálivka	%	zálivka	%	zálivka	%	zálivka	%
0	200 ml	68,0	200 ml	68	200 ml	68,0	200 ml	68
1	200 ml	66,5	0 ml	41,4	200 ml	66,5	0 ml	41,4
2	200 ml	67,0	0 ml	28,8	200 ml	67,0	0 ml	28,8
3	200 ml	67,1	0 ml	26,6	200 ml	67,1	0 ml	26,6
4	200 ml	66,5	0 ml	25,4	200 ml	66,5	0 ml	25,4
5	200 ml	64,0	0 ml	20,5	200 ml	64,0	0 ml	20,5
6	200 ml	63,1	0 ml	18,4	200 ml	63,1	0 ml	18,4
7	200 ml	64,8	0 ml	12,4	200 ml	64,8	0 ml	12,4
8	200 ml	65,3	0 ml	11,9	200 ml	65,3	0 ml	11,9
9	200 ml	66,5	0 ml	11,1	200 ml	66,5	0 ml	11,1
10	200 ml	67,2	0 ml	10,4	200 ml	67,2	0 ml	10,4
11	200 ml	68,0	200 ml	15,4	200 ml	68,0	200 ml	16,5
12	200 ml	68,0	200 ml	19,4	200 ml	68,0	200 ml	24,5
13	200 ml	67,2	200 ml	21,5	200 ml	67,2	200 ml	37,8
14	200 ml	66,8	200 ml	26,5	200 ml	66,8	200 ml	49,5
15	200 ml	65,1	200 ml	29,5	0 ml	45,3	0 ml	43,4
16	200 ml	65,9	200 ml	35,6	0 ml	37,8	0 ml	40,8
17	200 ml	66,8	200 ml	43,1	0 ml	31,2	0 ml	35,8
18	200 ml	67,7	200 ml	46,5	0 ml	25,6	0 ml	29,5
19	200 ml	67,7	200 ml	47,6	0 ml	20,9	0 ml	26,6
20	200 ml	67,7	200 ml	52,1	0 ml	18,9	0 ml	20,4
21	200 ml	68,1	200 ml	55,3	0 ml	12,5	0 ml	15,6
22	200 ml	67,6	200 ml	59,3	0 ml	8,1	0 ml	10,5
23	200 ml	67,3	200 ml	61,3	0 ml	6,4	0 ml	7,8
24	200 ml	66,9	200 ml	63,5	0 ml	4,1	0 ml	5,9
25	200 ml	67,5	200 ml	64,0	200 ml	15,6	200 ml	13,8
26	200 ml	68,0	200 ml	65,1	200 ml	23,5	200 ml	21,9
27	200 ml	68,0	200 ml	62,1	200 ml	29,8	200 ml	26,9
28	200 ml	66,5	200 ml	66,0	200 ml	37,2	200 ml	38,1

## 4.3 Měření fyziologických charakteristik

### 4.3.1 Metody stanovení výměny plynů dle (Hejnák, 2005):

Pro měření  $\text{CO}_2$  využívá LCpro + princip (viz. obr. 5) nerozptýleného infračerveného záření (NDIR).

Ten je založen na skutečnosti, že  $\text{CO}_2$  absorbuje záření v infračervené oblasti v poměru ke koncentraci plynu.

- PAR je naměřeno pomocí čidla na bázi křemíku.
- Teplota komory je měřena pomocí přesného termistoru umístěného na listové komůrce.
- Teplota listu je měřena miniaturním termistorem umístěným na pružině, která se stlačuje oproti listu nebo externím termistorem, který je umístěn v rukojeti.
- Průtok plynu do komůrky je měřen přesným čidlem průtoku a řízen na přednastavenou hodnotu nebo hodnotu, která je nastavená uživatelem.



Obr.: 5: měření v laboratorních podmínkách (Hejnák, 2005)

### 4.3.2 Rozsah a metoda měření:

- CO<sub>2</sub>: 0–20000 ppm, 1 ppm výsledek. Infračervená analýza plynu, diferenciální otevřený systém, automatická kompenzace atmosférického tlaku a teploty.
- H<sub>2</sub>O: 0–75 mbar, 0.1 mbar výsledek. Dvě laserově spouštěná čidla s rychlou reakcí.

Rychlost výměny plynů (fotosyntéza ( $P_N$ ) a transpirace ( $E$ )) byla měřena komerčním infračerveným analyzátozem plynů LCpro+ (ADC BioScientific, Velká Británie). Fyziologické charakteristiky byly měřeny při konstantním osvětlení  $650 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a teplotě  $20^\circ\text{C}$ , vždy v dopoledních hodinách (Holá a kol., 2010), od výsadby po sklizeň v denním intervalu.

### 4.3.3 Stanovení rychlosti transpirace

Pro stanovení transpirace gazometrickou metodou jde využít tento vzorec:

$$E = F \times (w_O - w_I) / S$$

Kde,  $F$  značí průtok plynu,  $S$  plochu listu a rozdíl koncentrace vodní páry ve vystupujícím ( $w_O$ ) a vstupujícím ( $w_I$ ) vzduchu (Anon., 2011).

### 4.3.4 Výpočet WUE, dle Bláhy a kol., (2008)

$$E = v \cdot g$$

$$A = (c_a - c_i) \cdot \frac{g}{1,6}$$

$$\frac{A}{E} = \text{WUE} = \frac{c_a \cdot (1 - \frac{c_i}{c_a})}{1,6 \cdot v}$$

Kde  $E$  je rychlost ztráty vody transpirací, vypočtený jako součin hnací síly difuze vodní páry  $v$  a difusní vodivosti pro páru  $g$ .  $A$  značí fotosyntetickou fixaci CO<sub>2</sub>, kde  $c$  značí koncentraci CO<sub>2</sub> vně nebo uvnitř listu. Konstanta 1,6 je poměr difusní vodivosti vodní páry a CO<sub>2</sub> ve vzduchu, který je nemíchaný a klidný.  $A/E$  v tomto vzorci značí okamžitou účinnost využití vody listem. Poslední vztah nám ukazuje, že mezi hlavní fyziologický parametr, na kterém účinnost využití vody závidí je poměrně vnitřní a vnější koncentrace CO<sub>2</sub>, tedy  $c_i/c_a$ . Zbylé údaje, tj.  $c_a$  a  $v$  jsou vlastnosti atmosféry nebo teploty listu.

#### **4.4 Statistické hodnocení**

Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány pomocí StatSoft, Inc. (2001) -STATISTICA Cz (Softwarový systém na analýzu dat), verze 9.0 Cz. Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny analýzou rozptylu vícenásobného třídění a korelační analýzou na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

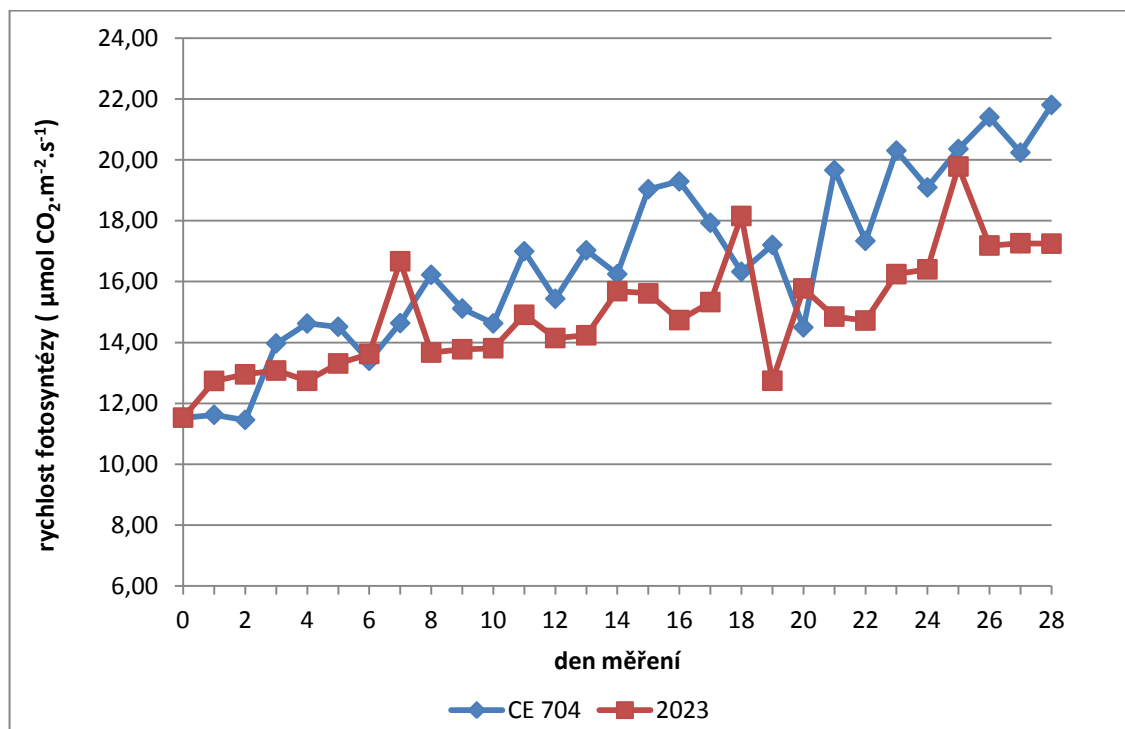
## 5 Výsledky

U rostlin kukuřice dvou rodičovských genotypů CE 704, 2023, pěstovaných ve čtyřech variantách pokusu: kontrolní, která byla zalévána po celou dobu pokusu – (KK); kontrolní s přerušenou záhlivkou – (KS); (SK) – stresovaná 1 (omezená záhlivka po dobu 10 dnů a poté 20 dnů rehydratace) a (SS) – (omezená záhlivka po dobu 10 dnů, rehydratace 4 dny, poté 10 dnů stres s následnou čtyřdenní rehydratací), se stanovovala gazometricky rychlost výměny plynů – rychlost fotosyntézy a transpirace.

Ze získaných výsledků, jak dokládají grafy 1–8, vyplývá nejenom rozdílná reakce sledovaných genotypů na vodní deficit a rehydrataci, ale také změny sledovaných charakteristik v rámci jednotlivých variant pokusu. Dále jak uvádí graf 9, je možno pozorovat změny efektivity využití vody (WUE) v závislosti genotypů na variantách pokusu.

### 5.1 Rychlost fotosyntézy

**Graf 1: Změna rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta KK), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenezi**



V grafu 1 je zaznamenána změna rychlosti fotosyntézy u rostlin kukuřice, pěstovaných ve variantě KK, tedy ve variantě zavlažované. Z grafu je patrný postupný nárůst fotosyntézy

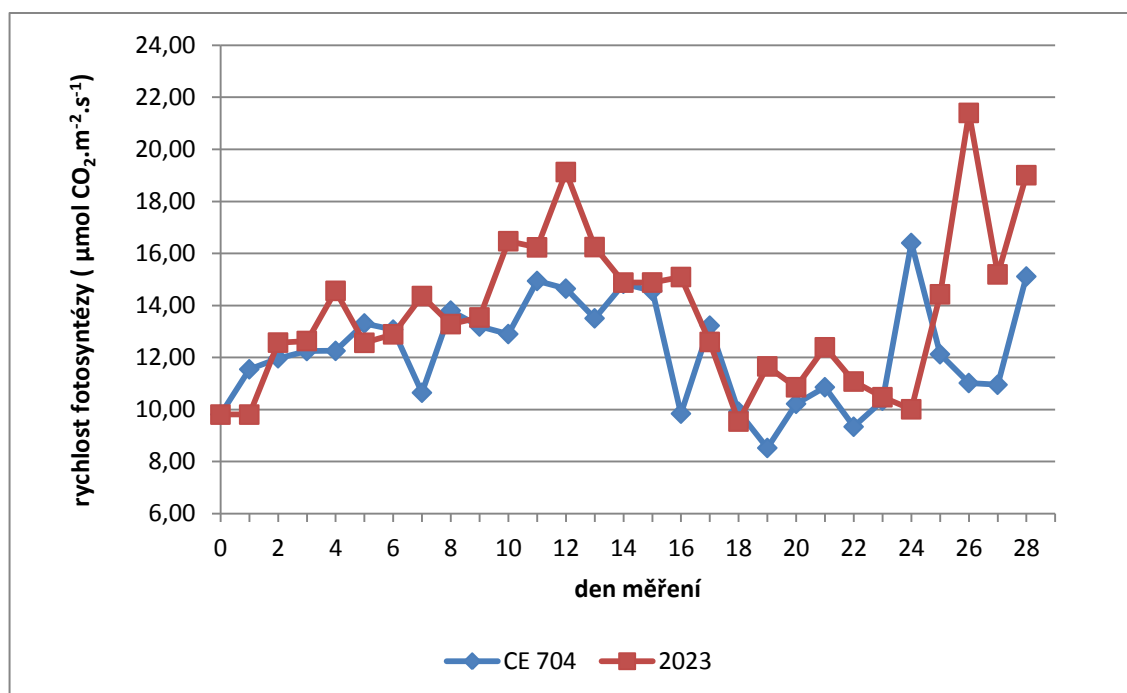
u obou sledovaných genotypů. Tento trend je dán především ontogenetickým vývojem rostlin a pravidelnou zálivkou. U genotypu CE 704 byla nejnižší hodnota fotosyntézy naměřena 2. den měření -  $11,46 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejvyšší hodnota fotosyntézy tohoto rodičovského genotypu byla  $21,8 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (28. den). Rychlost fotosyntézy genotypu CE 704 se snížila mezi 20. až 24. dnem měření. V tomto termínu byla rychlost fotosyntézy ve výši  $14,49 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (20. den) a  $19,09 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (24. den). V porovnání s předcházejícím termínem měření (19. den) se jedná o snížení o  $2,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Další snížení bylo zaznamenáno 27. den měření.

Rychlost fotosyntézy genotypu 2023 se pohybovala v intervalu hodnot od  $11,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0. den) do  $19,78 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (25. den), jak dokládá graf 1. Z něho je dále patrná změna rychlosti fotosyntézy v závislosti na ontogenetickém vývoji, neboť v případě tohoto genotypu byly nalezeny výraznější výkyvy této charakteristiky v porovnání s genotypem CE704. V případě genotypu 2023 byla nalezena tři období s vyšší rychlosti fotosyntézy. Jedná se o  $16,67 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (7. den),  $18,15 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (18. den) a  $19,78 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (25. den).

Z grafu 1 je dále patrný rozdíl v rychlosti fotosyntézy sledovaných genotypů, neboť vyšších hodnot dosahoval genotyp CE 704 (průměrná rychlost fotosyntézy byla  $18,5 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a nižších genotyp 2023 (průměrná rychlost fotosyntézy byla  $15,22 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Výrazný rozdíl v rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán ke konci sledovaného období, kdy rozdíl mezi genotypy činil  $4,55 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ve prospěch genotypu CE 704.



**Graf 2: Změna rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta KS), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenezi**

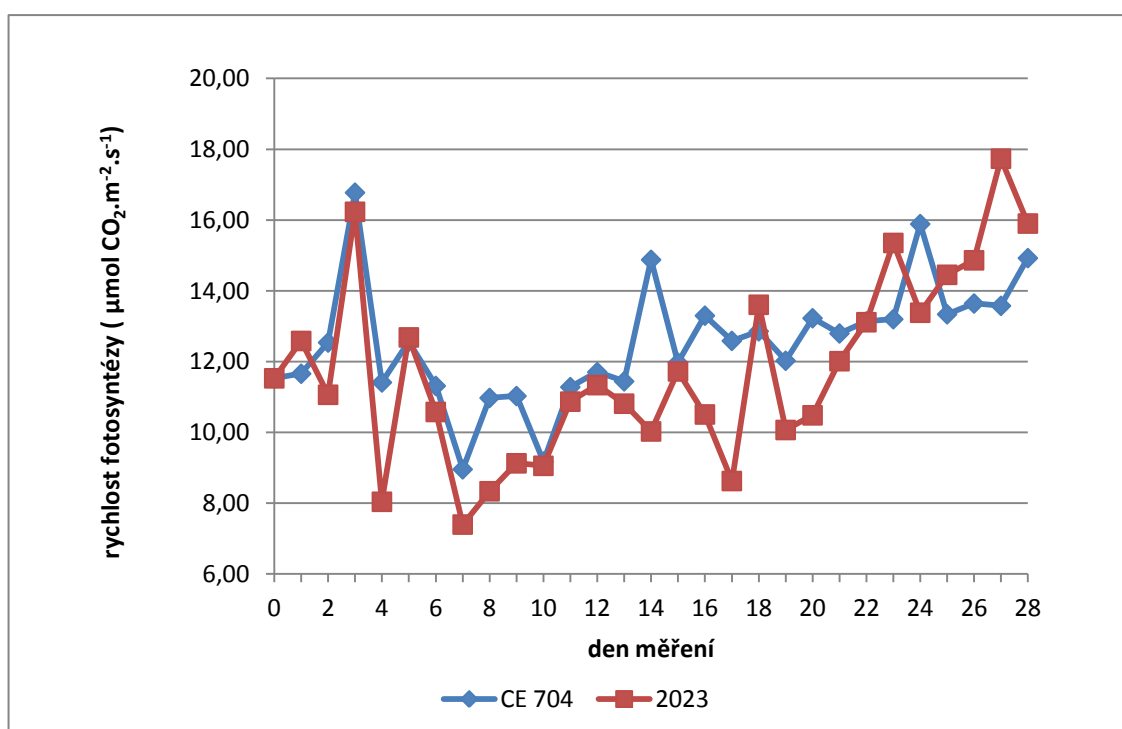


U varianty KS, kterou je možné definovat jako varianta s omezenou zálivkou, je průběh fotosyntézy rozdílný od předcházející varianty. Na omezenou zálivku po dobu deseti dnů, která následovala po 14. denním období zálivky, reagují oba genotypy odlišně. Genotyp CE 704 vykazoval během první zálivky nejvyšší hodnotu fotosyntézy 12. den a to  $19,13 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Celkově nejvyšší hodnota  $21,4 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  byla naměřena během rehydratace, a to 26. den měření. Nejnižší hodnota  $9,54 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  byla zjištěna během omezené zálivky 18. den měření. Statisticky průkazný výkyv byl zjištěn předposlední den měření, kdy z hodnoty  $21,4 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  klesla fotosyntéza na hodnotu  $15,19 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , poté se rychlost fotosyntézy opět zvýšila.

Genotyp 2023 nevykazoval na počátku pokusu, tedy v období zálivky výraznější změny. V tomto období se rychlost fotosyntézy zvyšovala z hodnoty  $9,81 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0. den) až na hodnotu  $19,13 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (12. den). V době omezení zálivky se rychlost fotosyntézy vlivem působení vodního deficitu snižovala, neboť bezprostředně po omezení zálivky byla fotosyntéza ve výši  $14,88 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , ale na konci vodního deficitu pouze  $10,01 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (24. den). V důsledku následné rehydratace se opět fotosyntéza počala zvyšovat a na konci pokusu byla její hodnota  $19,01 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

V případě srovnání obou genotypů je možné konstatovat, že na omezení zálivky po období zálivky citlivěji reaguje genotyp CE 704 v porovnání s genotypem 2023. Průměrná rychlost fotosyntézy sledovaných genotypů v rámci uvedené varianty byla  $13,71 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (CE 704) a  $12,25 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (2023).

**Graf 3: Změna rychlosti fotosyntézy ( $\text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta SK), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenezi**

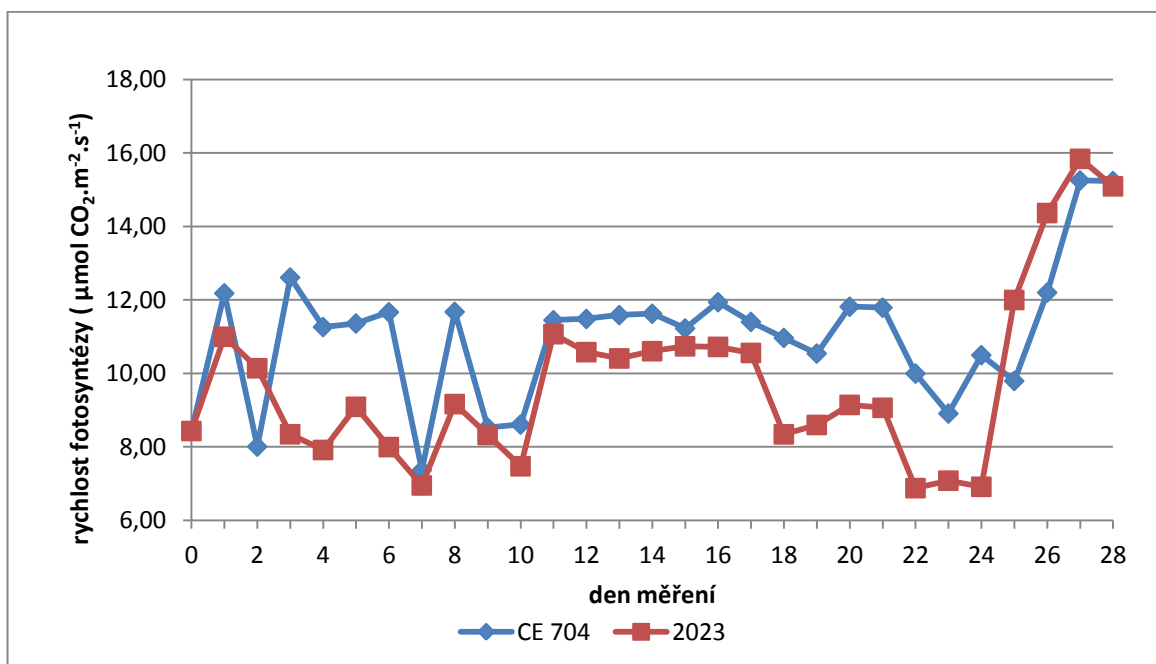


U varianty SK je rychlost fotosyntézy ovlivněna omezenou zálivkou, která na rostliny působila od počátku sledovaného období, po dobu deseti dnů. Po období působení vodního deficitu následovala rehydratace. U obou sledovaných genotypů CE704 a 2023 je na počátku působení vodního deficitu zaznamenáno zvýšení rychlosti fotosyntézy, kdy se rychlost fotosyntézy genotypu CE704 zvýšila z hodnoty  $11,53 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  na hodnotu  $16,78 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (3. den) a v případě genotypu 2023 se jednalo o zvýšení o  $11,53 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  na hodnotu  $16,24 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , viz graf 3. Poté je možné zaznamenat pokles rychlosti fotosyntézy, ale třetí den po navození vodního deficitu se rychlost fotosyntézy u obou genotypů průkazně zvýšila na hodnoty  $12,57 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (CE 704) a  $12,69 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (2023). Toto prudké zvýšení fotosyntézy je vystřídáno postupným poklesem fotosyntézy, kdy tento pokles trval po celou dobu působení vodního deficitu. Na

konci působení vodního deficitu byla rychlost fotosyntézy genotypu CE704 9,18  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a genotypu 2023 9,06  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Po obnovení závlivky je u obou genotypů, jak dále vyplývá z grafu 3, patrný postupný nárůst rychlosti fotosyntézy až do konce sledovaného období. V případě genotypu CE704 se rychlost fotosyntézy zvýšila z hodnoty 11,28  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu 14,93  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . U genotypu 2023 byl interval hodnot fotosyntézy v období závlivky od 10,87  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  do 15,93  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při srovnání obou rodičovských genotypů je možno konstatovat, že genotyp CE 704 reaguje lépe v období rehydratace a to do 24. dne, kdy dosahuje hodnot 15,36  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Po tomto dni se rychlost fotosyntézy u tohoto genotypu razantně snížila na hodnotu 13,34  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Čtyři dny před koncem pokusu vykazuje genotyp 2023 průkazně vyšší hodnoty. Průměrná rychlost fotosyntézy u zmíněné varianty byla 12,54  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (CE 704) a 11,78  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (2023).

**Graf 4: Změna rychlosti fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta SS), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenezi.**



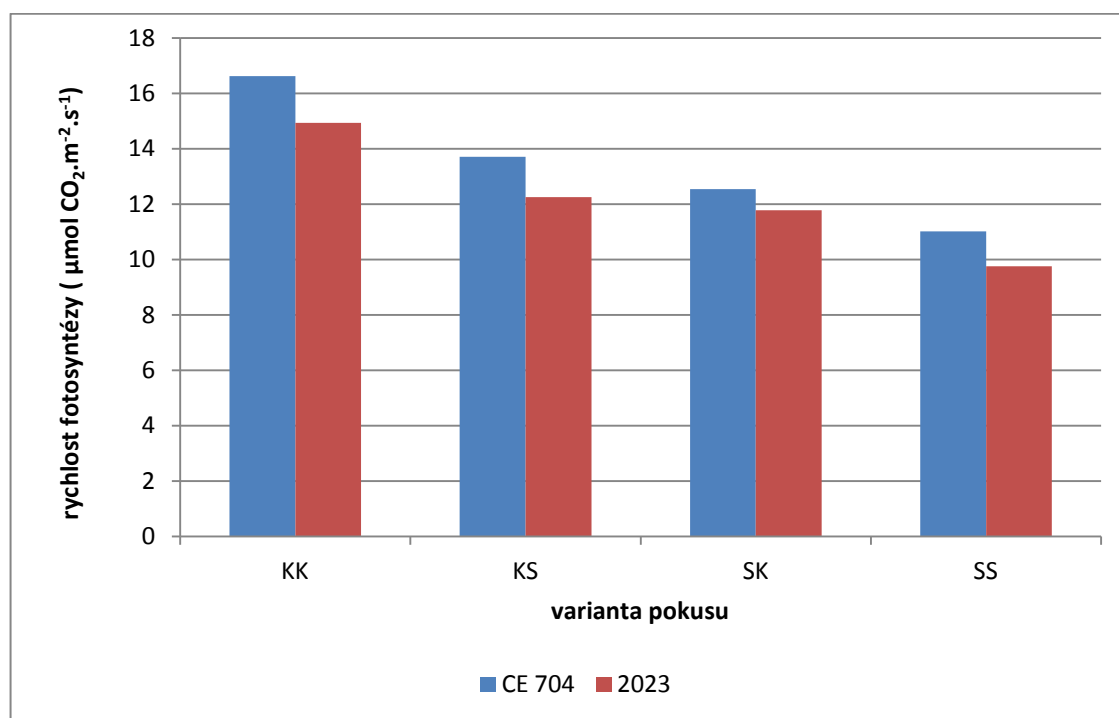
Rychlost fotosyntézy obou sledovaných genotypů pěstovaných v podmínkách vodního deficitu, varianta SS je zaznamenána v grafu 4. Z uvedeného grafu není patrný trend nárůstu či poklesu této charakteristiky v závislosti na působení vodního deficitu a následné rehydratace a jejich střídání.

Na omezenou zálivku lépe reagoval genotyp CE 704, kdy po celou její dobu, ale i po dobu rehydratace a následného stresu vykazoval lepší příjem CO<sub>2</sub>. Rychlost fotosyntézy tohoto genotypu, jak dokládá graf 4, byla v rozpětí hodnot 7,36 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (7. den) až 15,26 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (10. den). V případě genotypu 2023 byla maximální rychlost fotosyntézy 27. den, kdy dosáhla hodnoty 15,84 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> a naopak nejnižší 6,88 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (22. den).

Při porovnání obou křivek fotosyntézy sledovaných genotypů je patrné, že na následnou rehydrataci lépe reaguje genotyp CE 704. Při průběhu stresu nastalo kolísání hodnot z 11,22 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> až na 8,91 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>: Po konci působení stresu (24. den) byl zaznamenán nárůst hodnot z 10,5 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> až do konce pokusu na 15,24 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Vyšší hodnoty fotosyntézy vykazuje genotyp 2023. Průkazná změna nastala první den po rehydrataci, kdy rozdíl hodnot činil 2,21 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> ve prospěch rodičovského genotypu 2023 v porovnání s genotypem CE704.

Naopak na sucho či omezenou zálivku lépe reaguje genotyp CE 704, viz graf 4. Nejvyšší rozdíly mezi genotypy byly pozorovány během omezené zálivky a sucha. V průběhu omezené zálivky je nejvyšší rozdíl 4,27 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> zaznamenán třetí den měření. V průběhu rehydratace byl průkazně nejvyšší rozdíl 2,73 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> pozorován 4 dny před ukončení stresu. Rychlost fotosyntézy, ovlivněné touto variantou, se měnila v závislosti na době rehydratace a zálivky. Oba genotypy vykazovaly v průběhu rehydratace po období stresu prokazatelně patrný vzrůst rychlosti fotosyntézy. Rychlost při druhé rehydrataci je vyšší, než u první rehydratace. Tento vývoj je dán ontogenetickým vývojem dané rostliny.

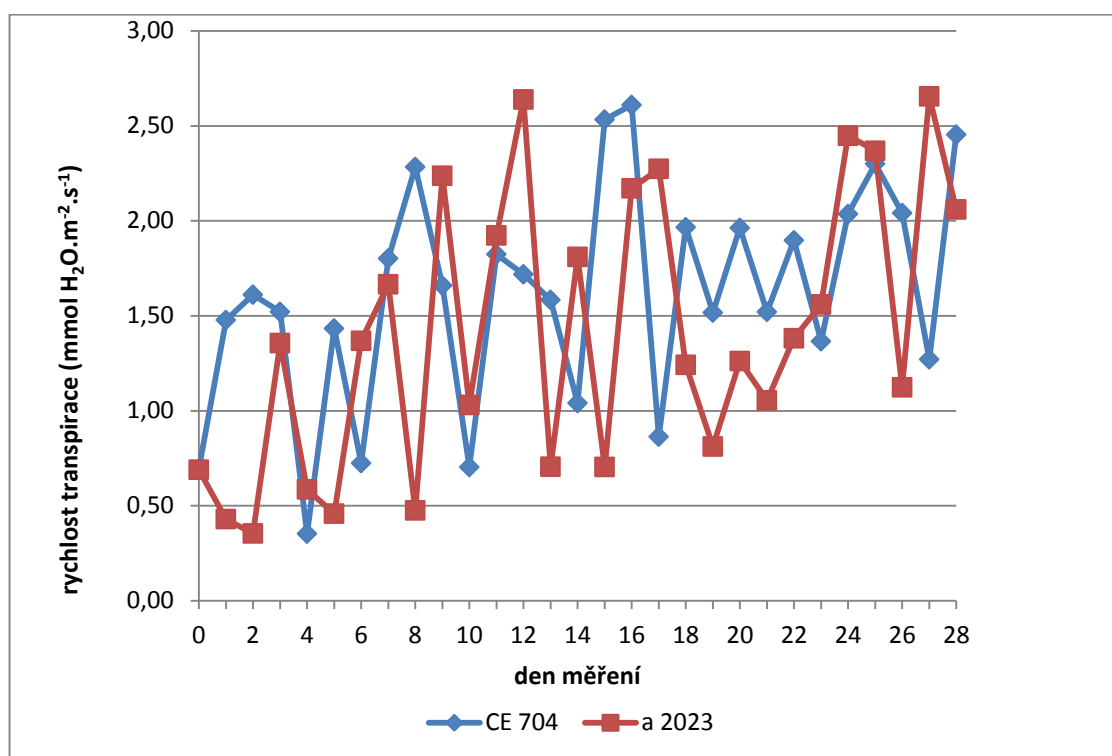
**Graf 5: Průměrná rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023, pěstovaných v řízených podmínkách v závislosti na variantě pokusu**



Z grafu 5 je patrné snížení rychlosti fotosyntézy v závislosti na variantě pokusu. Čím byly rodičovské genotypy vystavené většímu stresu, tím se rychlost fotosyntézy snižovala. Genotyp CE 704 vykazoval nejvyšší hodnoty fotosyntézy u varianty KK – varianta s pravidelnou záhlvkou. Kdy průměrná rychlost fotosyntézy byla  $16,62 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejnižší průměrná rychlost fotosyntézy je patrná u varianty SS, to  $11,01 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Obdobné výsledky byly zjištěny také v případě genotypu 2023. V případě tohoto genotypu byla nejvyšší rychlost fotosyntézy u varianty KK –  $4,9 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . A naopak nejnižší průměrná rychlost u varianty SS –  $9,75 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejvyšší statistický průkazný rozdíl mezi oběma genotypy je patrný u varianty KK. Kdy rozdíl činil  $1,69 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , ve prospěch genotypu CE 704. Nejnižší rozdíl mezi oběma genotypy byl zjištěn u varianty SK. Rozdíl rychlosti činil  $0,72 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , také ve prospěch genotypu CE 704.

## 5.2 Rychlost transpirace

**Graf 6: Průběh rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta KK), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenetickém vývoji**



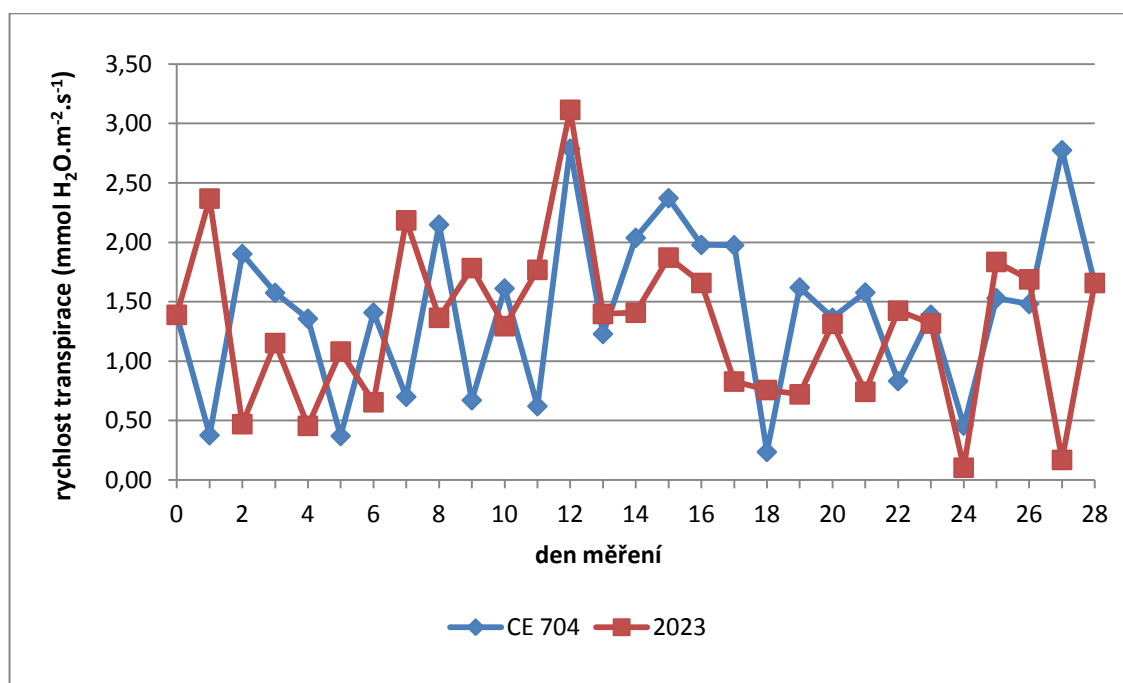
V grafu 5 je uveden průběh rychlosti transpirace rodičovských genotypů CE 704 a 2023 pěstovaných ve variantě KK. Tato varianta byla zavlažovaná po celou dobu pokusu. Z grafu je patrné, že rychlost transpirace narůstá u obou genotypů v průběhu celého experimentu. Tato skutečnost je ovlivněna především pravidelnou zálivkou.

Genotyp CE 704 vykazoval nejnižší hodnotu transpirace  $0,35 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  čtvrtý den od zahájení pokusu. Nejvyšší hodnota transpirace byla změřena 16. den pokusu –  $2,61 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nárůst hodnot transpirace byla doprovázena její oscilací. Z grafu 5 jsou patrná lokální maxima. A to  $1,61 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (2. den),  $2,28 \text{ H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (8. den),  $2,61 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (16. den). Po tomto období nenastal průkazný nárůst transpirace. U genotypu 2023 se hodnoty rychlosti transpirace pohybovaly od  $0,35 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (2. den) do  $\text{mmol } 2,66$  (27. den). Druhé maximum  $2,64 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  je patrné 12. den.

Nejvyšší rozdíl v rychlosti transpirace mezi sledovanými genotypy byl zjištěn 15. den měření. Tento rozdíl činil  $1,83 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ve prospěch genotypu CE 704. Čtyři dny

od 18. dne měření je patrná vyšší rychlost transpirace u genotypu CE 704. Tyto hodnoty se pohybují v rozmezí od 1,52 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> do 1,97 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Z grafu není patrný průkazný rozdíl rychlostí transpirace u obou genotypů. Statisticky vyšších hodnot dosahoval genotyp CE 704 (průměrná rychlost transpirace byla 1,43 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) a statisticky nižších hodnot dosahoval genotyp 2023 (průměrná rychlost transpirace 1,31 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>).

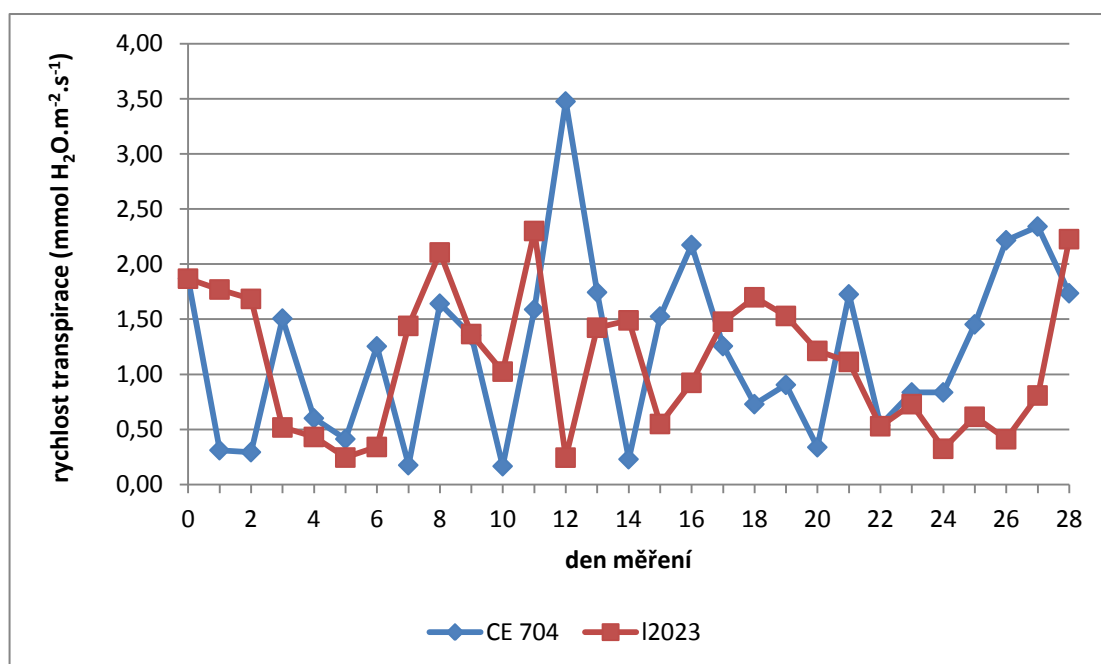
**Graf 7: Průběh rychlosti transpirace (mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta KS), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenetickém vývoji**



Variantu KS je možné definovat jako variantu s omezenou zálivkou. Při srovnání s grafem je 5, je varianta KS průkazně odlišná. Na omezenou zálivku reagují oba dva rodičovské genotypy více méně podobně. Genotyp CE 704 vykazoval první nejvyšší hodnotu 2,79 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> 12. den měření, která byla zároveň hodnotou maximální. Den před koncem pokusu v průběhu rehydratace byla zjištěna druhá nejvyšší hodnota transpirace. Zde byl patrný pokles o 0,01 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, ve srovnání s 12. dnem měření. Čtvrtý den v období zálivky byla naměřena nejnižší hodnota, a to 0,24 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Po tomto dnu rychlost transpirace (s menšími poklesy) narůstala až do 24. dne pokusu, kdy její hodnota byla 0,46 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

U genotypu 2023 je nejnižší naměřená hodnota patrná 24. den pokusu, kdy hodnota transpirace byla  $0,1 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V následném termínu měření byl zaznamenán druhý pokles s hodnotou  $0,17 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejvyšší hodnota byla naměřena ve stejný den jako u genotypu CE 704 a to 12. den. Rozdíl hodnot byl  $0,33 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ve prospěch genotypu 2023. Druhá nejvyšší hodnota rychlosti transpirace byla naměřena druhý den v období omezené zálivky, a to  $2,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejvyšší rozdíly v rychlosti transpirace byly zaznamenány první den v období omezené zálivky, kdy se hodnoty transpirace pohybovali v rozmezí od  $0,38 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (CE 704) do  $2,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (2023). Druhý nejvyšší rozdíl je možné pozorovat den před ukončením pokusu. U genotypu 2023 se snížila transpirace na  $0,17 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a u genotypu CE 704 se naopak transpirace zvýšila na  $2,78 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Graf 8: Průběh rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta SK), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenetickém vývoji**



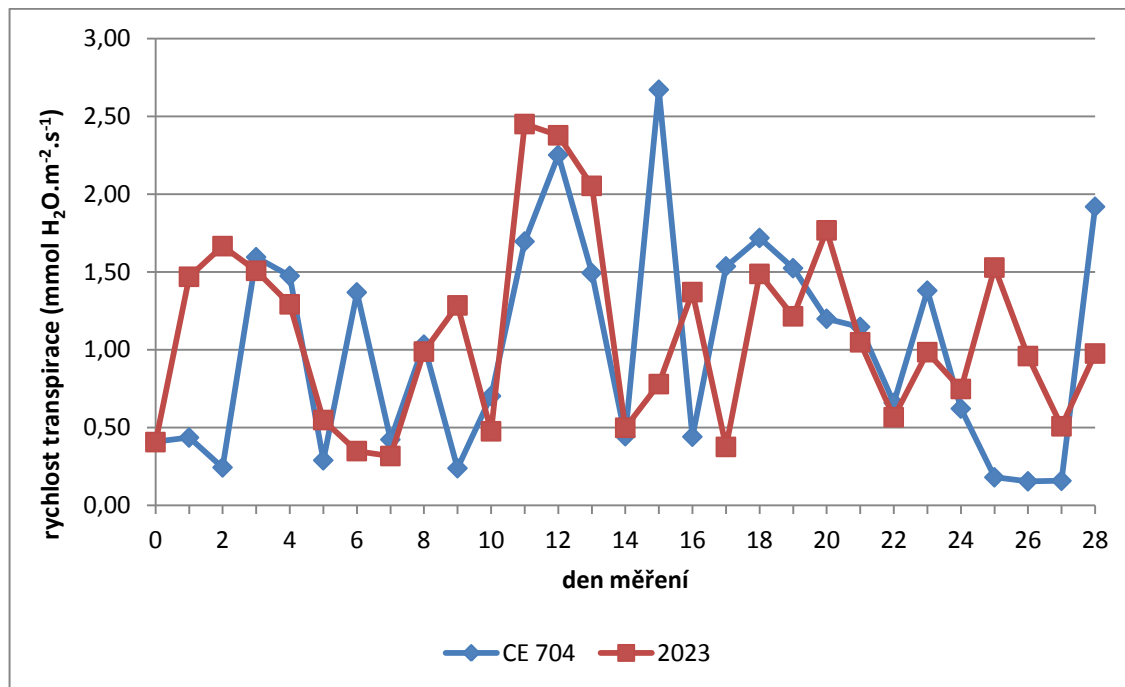
V případě varianty SK trvalo stresové období po dobu deseti dnů. Poté byla obnovena zálivka. Z grafu 7 je patrný pokles rychlosti transpirace v období omezené zálivky a to u obou rodičovských genotypů. Vyšší pokles je patrnější u genotypu 2023. V tomto období se transpirace snížila u tohoto genotypu z  $1,87 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (0. den) až



na  $0,25 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (5. den). Poté je možné zaznamenat naopak nárůst transpirace až do osmého dne –  $2,11 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Po osmém dnu se rychlost transpirace opět snížila až na  $1,03 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (poslední den omezené zálivky). Nejnižší hodnoty rychlosti transpirace byly naměřeny v následujících termínech, a to pátý a 12. den, kdy transpirace dosáhla hodnoty  $0,25 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Nejvyšší hodnota  $2,3 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  je patrná první den po dehydrataci. Druhá nejvyšší hodnota transpirace ( $2,23$  veličina) byla naměřena poslední den rehydratace. Během rehydratace byla zaznamenána dvě průkazná zvýšení transpirace, a to 14. den ( $1,49 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) a 18. den ( $1,7 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).

U genotypu CE 704 nastalo první den v období zálivky ke snížení rychlosti transpirace. Tento pokles je výraznější nežli u genotypu 2023. Hodnota transpirace klesla až na  $0,29 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (druhý den rehydratace). Na konci stresového období se snížila rychlost transpirace až na  $0,17 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Tato hodnota je zároveň nejnižší v průběhu všech měření u varianty SK. Z těchto hodnot je patrné, že genotyp 2023 lépe reaguje na omezenou zálivku. Nejvyšší rychlost transpirace u genotypu CE 704 byla naměřena první den po omezené zálivce ( $3,48 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). V porovnání s genotypem 2023, nastal tento den statisticky průkazný rozdíl hodnot. Rozdíl činil  $3,23 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ve prospěch genotypu CE 704. Po tomto dni nastal pokles rychlosti transpirace až na  $0,23 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (14. den). 27. den měření vzrostla rychlost transpirace na hodnotu  $2,23 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Druhý výrazný rozdíl v rychlosti nastal 26. den měření. Rozdíl činil  $1,81 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ve prospěch genotypu CE 704.

**Graf 9: Průběh rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023 (varianta SS), pěstované v řízených podmínkách v závislosti na ontogenetickém vývoji**



Rychlost transpirace u varianty SS je zaznamenána v grafu 8. Rychlost transpirace se mění v závislosti na působení vodního deficitu a na následné rehydrataci.

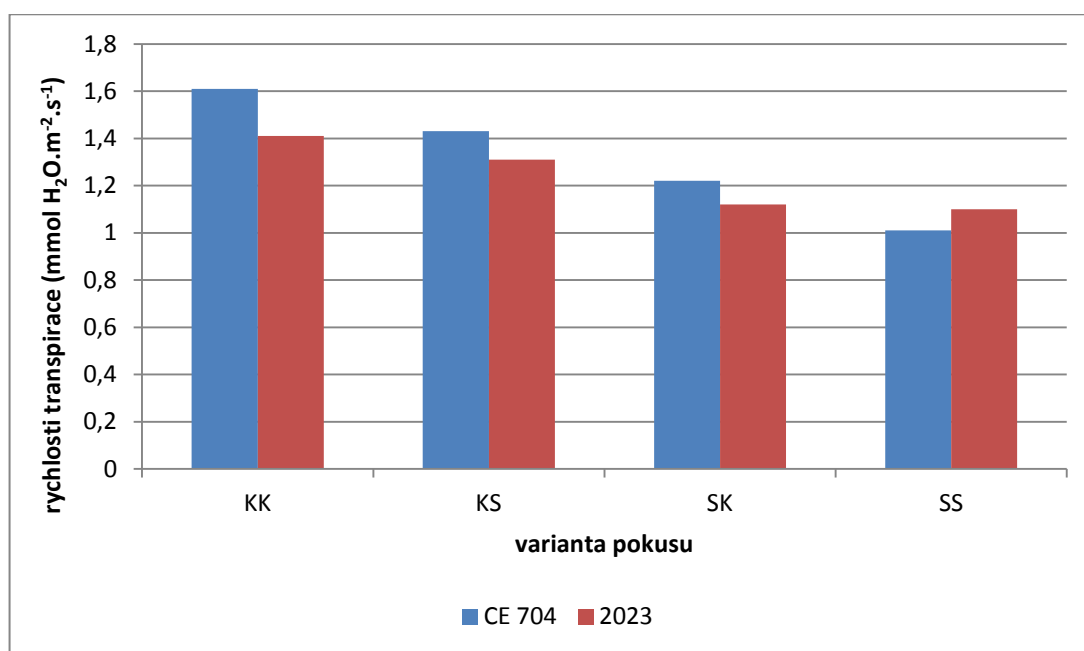
Nárůst rychlosti u obou genotypů v období omezené závlivky je způsoben zbytkovým nasycením  $\text{H}_2\text{O}$ . U genotypu CE 704 se rychlost transpirace zvýšila třetí den na hodnotu  $1,6 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a u genotypu 2023 byl zaznamenán nárůst rychlosti transpirace druhý den ( $1,67 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). U obou genotypů se vlivem působení vodního deficitu transpirace snižovala. Genotyp 2023 vykazuje sedmý den nejnižší hodnotu během první stresového období, kdy rychlost klesla na  $0,32 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tato hodnota rychlosti je zároveň nejnižší v rámci tohoto genotypu. Po tomto termínu měření nastal nárůst na hodnotu  $1,29 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (9. den). První den rehydratace se hodnota transpirace průkazně zvýšila až na  $2,45 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , kdy se jedná o hodnotu maximální u genotypu 2023 v rámci této varianty.

Genotyp CE 704 vykazoval průkazně nejvyšší hodnoty transpirace 15. den ( $2,67 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Naopak nejnižší rychlost transpirace u tohoto genotypu byla stanovena 26. a 27. den, a to s hodnotou  $0,16 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Před koncem omezené závlivky se rychlost transpirace zvýšila z  $0,24 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (9. den) až na  $2,25 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

(12. den – druhý den rehydratace). Nejvyšší průkazný rozdíl u obou rodičovských genotypů, který činil  $1,89 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 15. den měření, ve prospěch genotypu CE 704. Na konci pokusu je patrná vyšší rychlost transpirace ( $1,92 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypu CE 704.

Průměrná rychlost transpirace byla u varianty SS  $1,01 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (CE 704) a  $1,1 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (2023).

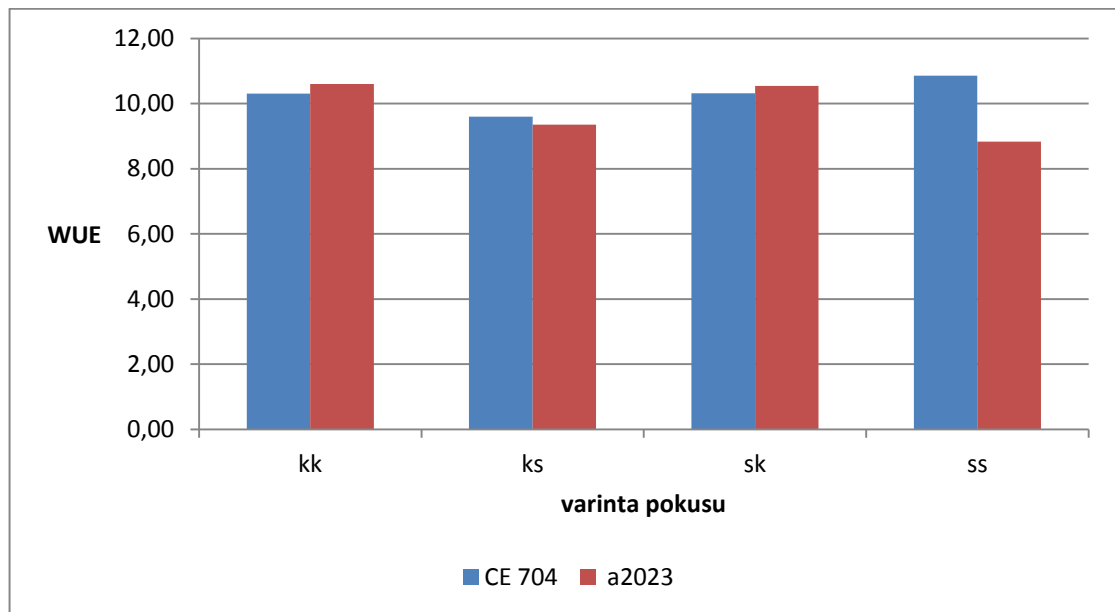
**Graf 10: Průměrná rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u genotypů CE 704 a 2023, pěstované v řízených podmínkách v závislosti na variantě pokusu**



Z grafu 10 jsou uvedeny průměrné hodnoty rychlosti transpirace u obou rodičovských genotypů, v závislosti na jednotlivých variantách pokusu. Rychlost transpirace se snižovala s vyšším vodním deficitem. Genotyp CE 704 vykazoval nejvyšší průměrnou rychlost  $1,61 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  při variantě KK. Nejnižší průměrná rychlost transpirace  $1,01 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  je patrná u varianty SS. U genotypu 2023 byl zaznamenán nejvyšší průměrná rychlost také u varianty KK –  $1,41 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejnižší průměrná rychlost u genotypu 2023 byla zjištěna u varianty SK –  $1,12 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rozdíl průměrné rychlosti transpirace mezi variantami SK a SS u genotypu 2023 činil  $0,02 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ve prospěch varianty SS. Nejvyšší prokazatelný rozdíl průměrné rychlosti transpirace u genotypů byl zaznamenán u varianty KK. Tento rozdíl činil  $0,2 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ve prospěch genotypu CE 704.

### 5.3 Efektivní využití vody (WUE)

**Graf 11: Efektivita využití vody měřená u genotypu CE 704 a 2023 v závislosti na variantě pokusu**



K výpočtu efektivity využití vody (WUE) se využil podíl zjištěných hodnot fotosyntézy a transpirace. Vypočtené hodnoty efektivity využití vody představují různou odolnost daného genotypu vůči vodnímu deficitu. Čím je hodnota WUE vyšší, tím je možné předpokládat, že je rostlina či genotyp odolnější vůči abiotickému stresoru. Z grafu 11 vyplývá mírný pokles efektivity využití vody u stresovaných genotypů, či genotypů s omezenou záhlvkou ve srovnání s kontrolní variantou. Výjimku z uvedeného tvrzení tvoří genotyp CE 704 pěstovaný ve variantě SK a SS. Z výsledků je patrné, že nejvyšší rozdíl WUE byl zaznamenán u varianty SS. Z grafu 11 dále vyplývá, že u genotypu CE 704 se hodnota WUE pohybuje v rozpětí hodnot od 10,86 (varianta SS) do 9,6 (varianta KS). V rámci variant s omezenou záhlvkou byla hodnota WUE nejnižší u varianty (SS) – 9,6 a naopak nejvyšší u (SS) – 10,86.

Uvedený rodičovský genotyp CE704 lépe reaguje na střídání období bez záhlvky a následnou dehydrataci nežli na dlouhodobé působení stresoru, viz graf 11.

V případě druhého rodičovského genotypu 2023 byla nejvyšší průměrná hodnota WUE zjištěna u varianty KK – 10,6. Naopak nejnižší hodnota efektivity využití vody byla vypočtena u varianty SS – 8,84. Mezi variantami SS a SK v případě genotypu 2023 byly nalezeny průkazné diference, neboť průměrné hodnoty WUE byly 10,54 (SK) a 8,84 (SS).

Ve srovnání s maximální hodnotou WUE u genotypu CE 704 vypočtenou u druhé stresované varianty byl zjištěn u stejné varianty, ale v případě genotypu 2023 pokles o 18,45 %.

Při srovnání obou genotypů je patrné, že genotyp CE 704 vykazuje vyšší odolnost vůči vodnímu deficitu. Na druhou stranu genotyp 2023 reaguje lépe v podmínkách bez stresových situací. Tento výsledek vychází z celkového srovnání hodnot obou rodičovských genotypů, kdy je u genotypu 2023 patrný nižší pokles hodnot efektivity využití vody u varianty s omezenou zálivkou (SK), ale při působení stresu stresem nebo střídání rehydratace s dehydratací je pokles vyšší v porovnání s kontrolní variantou.

## 6 Diskuse

### 6.1 Fotosyntéza

Nejnižší rychlost fotosyntézy byla v rámci sledovaných genotypů a variant pokusu zjištěna ve fázi 4 listů a naopak nejvyšší na konci pokusu – ve fázi 6-8 listů. V tomto období byl interval naměřených hodnot od  $6,84 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  do  $21,8 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Získané výsledky odpovídají závěrům Kutinové (2006). Uvedená autorka zaznamenala vyšší obsah chlorofylu a lepší fotosyntetickou účinnost ve fotosynteticky nejstarších listech po napadení biotickým stresem. Je však nutné konstatovat, že v případě působení abiotického stresu tento jev není potvrzen a dochází naopak k poklesu rychlosti fotosyntézy. Tento trend potvrzují např. práce Hejnáka a kol. (2008), kteří pracovali s cukrovou řepou, kukuřicí a ječmenem (Hejnák a kol., 2008). Jones at al. (1989) konstatuje, že asimilace  $\text{CO}_2$  se při fotosyntéze snižuje, jakmile dojde ke stresovým podmínkám. Uvedený závěr byl potvrzen také v případě CE 704. U tohoto genotypu se rychlost fotosyntézy snižovala v průběhu dehydratace z  $11,94 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  až na  $8,91 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Obdobný trend byl zaznamenán také u genotypu 2023, pěstovaného ve stresovaném období. V případě genotypu 2023 se snižovala rychlost fotosyntézy v průběhu dehydratace z  $10,74 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  až  $6,88 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Tento jev potvrzuje i Ripley at al. (2010), kteří zkoumali  $\text{C}_3$  a  $\text{C}_4$  trávy podčeledi *Panicoideae*. Podobných výsledků dosáhl i Pépo (2009) u pšenice. Jones at al. (1989) také uvádějí, že v průběhu pomalu narůstajícího vodního stresu klesá rychlost asimilace  $\text{CO}_2$  ve stejném poměru jako rychlost transpirace. Tento fakt není v úplném souladu se získanými výsledky, neboť změna průběhu rychlosti transpirace neklesala ve stejném poměru jako rychlost fotosyntézy. Bláha a kol. (2010) uvádí, že při porovnání účinku teploty, sucha a na růst a výnos pšenice zjistili, že sucho snižuje fotosyntézu, vodivost průduchů, listovou plochu, ale zvyšuje efektivnost využití vody. Vlivem působení vodního deficitu docházelo k postupnému uzavírání průduchů a tím k omezení výměny plynů oběma směry. Z toho plyne, že docházelo k omezení transpirace a fotosyntézy. Tuto skutečnost dokládají práce např. Scotta (2008), Jonse et al. (1989) a Mohammadkhaniho and Heidariho (2008), kteří také zkoumali kultivar CE 704. Snížení vodního potenciálu u kukuřice během vodního stresu je sledováno také v práci Beadleho at al. (1973), kteří sledovali vliv vodního deficitu na kukuřici a čiroku. Získané závěry z jejich práce potvrzují závěry získané s pěstováním kukuřice genotypů CE 704 a 2023. Sledované genotypy kukuřice reagovaly odlišně na vodní deficit a následnou rehydrataci. Kdy rychlost fotosyntézy po dehydrataci vzrostla u genotypu CE 704

z  $9,79 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  na  $15,26 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . U genotypu 2023 rychlost fotosyntézy po dehydrataci vzrostla z  $6,91 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  až na  $15,84 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Rozdíly v reakci sledovaných genotypů kukuřic potvrzuje např. práce Moussa et al. (2008).

## 6.2 Transpirace

Kerstiens (1996) uvádí, že během sucha se snaží rostliny chránit proti odpařování uzavíráním průduchů. Z uvedeného tvrzení vyplývá skutečnost, že rostliny vlivem vodního deficitu postupně snižují transpiraci. Uvedený závěr byl potvrzen také u sledovaných genotypů kukuřice v rámci pokusných variant, kdy rychlost transpirace se snižovala v průběhu omezené závlivky z  $1,87 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  až na  $0,25 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (2023) a z  $1,87 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  na  $0,18 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (CE 704). Podobných poklesů dosáhli Ma et al. (2011) také s kukuřicí a Cohen et al. (1990) s kukuřicí a sójou. Ze zjištěných výsledků dále vyplývá, že rychlost transpirace roste v závislosti na ontogenetickém vývoji jedince. Rychlost transpirace se pohyboval v hodnotách od  $0,1 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  do  $3,48 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Podobných výsledků dosáhli i Hnilička a kol. (2008a, 2008b) u chmele a kukuřice. Rychlost transpirace se obnovila relativně rychle po rehydrataci, podobné výsledky udává Xianshi et al. (1998).

## 6.3 Efektivní využití vody (WUE)

Yu et al. (2004) zjistili lepší využití vody u kukuřice ( $C_4$ ) ve srovnání se sójou ( $C_3$ ), které byly vystaveny vodnímu stresu. Tento jev nelze potvrdit, jelikož byla zkoumána jen kukuřice. Nejvyšší hodnota využití vody byla naměřena při variantě SS (střídání stresových stavů s rehydratací). Tato hodnota činila 10,86. Kukuřice jako zástupce  $C_4$  rostlin velmi dobře využívá vodu. Při srovnání s pšenicí lze konstatovat, že došlo shodě při využití vody u kukuřice s prací Hejnáka a kol., (2008). Práce autorů i tato práce vykazuje pokles efektivního využití vody (WUE) při stresových podmínkách. U genotypu 2023 činil rozdíl 1,76 mezi variantami KK a SS, ve prospěch varianty KK. U genotypu CE 704 byl výsledek opačný, kdy rozdíl při porovnání se stejnými variantami činil 0,56; ale ve prospěch varianty SS. Shodné výsledky, kdy kukuřice lépe využila vodu ve stresovém období, je patrné i u Zhenga et al. (2006). Malý rozdíl WUE mezi příhodným stavem a suchem zaznamenali také Zand et al. (2006). Podobných výsledků dosáhli i Queiroz et al. (2011) u cukrové třtiny. Výhodu  $C_4$  rost-

lin proti suchu a lepší využití WUE zjistil i Vitkauskaitė and Venskaitytė (2011) u prosa. Jak bylo zmíněno nejvyšší hodnota WUE činila 10,86 u stresované varianty (SS). Zvýšení WUE u kukuřice při vodním deficitu potvrzují také Soler et al. (2007).



## 7 Závěr

Ze získaných výsledků měření fyziologických charakteristik rodičovských genotypů kukuřice CE704 a 2023, které byly pěstovány v podmínkách: kontrolní (KK) – tato varianta byla zalévána po celou dobu experimentu; Kontrolní s přerušenou zálivkou (KS) – (14 dnů zálivka, 10 dnů omezená zálivka, 4 dny rehydratace); (SK) – stresovaná 1 (omezená zálivka po dobu 10 dnů a poté 20 dnů rehydratace); (SS) – stresovaná 2 (omezená zálivka po dobu 10 dnů, rehydratace 4 dny, poté 10 dnů stres s následnou čtyřdenní rehydratací), vyplývají následující závěry:

1. Nejnižší průměrná hodnota fotosyntézy byla u rostlin stresovaných ( $10,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a nejvyšší rychlost byla zaznamenána u zavlažovaných rostlin ( $15,78 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).
2. Rychlost fotosyntézy byla u obou sledovaných genotypů nižší u variant stresovaných v porovnání s kontrolou.
3. Vyšší rychlost fotosyntézy dosahoval rodičovský genotyp CE 704 v porovnání s genotypem 2023.
4. Rychlost transpirace byla u genotypu CE 704 od  $0,16 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (varianta SS) do  $3,48 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (varianta KS).
5. Rychlost transpirace byla u genotypu 2023 od  $0,1 \text{ H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (varianta KS) do  $3,12 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (varianta KS).
6. Vyšší rychlost transpirace dosahoval genotyp CE 704 v porovnání s genotypem 2023.
7. Hodnoty WUE byly u genotypu CE 704 od 9,6 (varianta KS) do 10,86 (varianta SS).
8. Hodnoty WUE byly u genotypu 2023 od 8,84 (varianta SS) do 10,6 (varianta KK).
9. Genotyp CE 704 se jeví více odolným při střídání vodního deficitu a rehydratace.
10. Genotyp 2023 se jeví odolnějším při dlouhodobějším působení nedostatku vody.

Při výběru rostliny hodící se nejlépe do podmínek zatížené vodním stresem, záleží na celkovém působení vodního stresu. Jestli by byla kukuřice v dlouhotrvajícím stresu, je vhodnější zvolit rodičovský genotyp 2023. Při podmínkách, kdy by byla zajištěna částečná závlaha, je vhodnější zvolit genotyp CE 704.

## 8 Seznam literatury

Anon. Gazometrická stanovení fotosyntetických parametru [online]. České Budějovice. Jihočeská univerzita. publikováno: 19. 4. 2011 upraveno: 19. 4. 2011 [cit. 18. března 2012]. Dostupné z:

<[http://kfr.prf.jcu.cz/download/lectures/KFR220/KFR220\\_U05Gazometrie2011.pdf](http://kfr.prf.jcu.cz/download/lectures/KFR220/KFR220_U05Gazometrie2011.pdf)>.

Badley C. L., Stevenson K. R., Neumann H. H., Thurtell G. W., King K. M. 1973 Diffusive resistance, transpiration, and photosynthesis in single leaves of corn and sorghum in relation to water potential. *Canadian Journal of Plant Science*, 53(3). 537-544.

Balounová, N., Cerkal, R., Červinka, J., Doležal, P., Dvořák, J., Fajman, M., Hrstková, P., Jánský, J., Křen, J., Palík, S., Poláčková, J., Polišínská, I., Povolný, M., Procházková, Prokop, M., Richter, R., Ryant, P., Říha, K., Smutný, V., Tichý, F., Vaculová, K., Winkler, J., Zeman, L., Zimolka, J. 2008. Kukuřice, hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press. Praha. 200 s. ISBN: 97880867261.

Benson, G., Reetz, J. R. 1984 In: White, P. J., Johnson, A. L. 2003. Corn: chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota. 2003. p. 892. ISBN: 1891127330.

Bergmann, D. C., Lukowitz, W., Somerville, C. R. 2004 In: Bögre, L., Beemster, G. T. S. 2008. Plant Growth Signaling. Springer. Berlin. p. 379. ISBN: 9783540775898.

Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. Rostlina a Stres. VÚRV. Praha. 156 s. ISBN: 8086555321.

Bláha, L., Hnilička, F., Hon, I., Martínková, J., Matoušek, J. 2008. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2008. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i., ČZU. Praha. 370 s. ISBN: 9788087011188.

Bláha, L., Bojnanská, K., Čegan, R., Dotlačil, L., Faltus, M., Ferus, P., Gubiš, J., Haberle, J., Hnilička, F., Hniličková, H., Hobza, R., Holubec, V., Jadrná, P., Janků, Ľ., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnarová, V., Králová, K., Maršík, P., Martinková, J., Masár, Š., Masaričová, E.,

Nevrtalová, E., Pastirčák, M., Pazderů, K., Peško, M., Prášil, I. T., Prášilová, P., Raimanová, I., Strka, J., Straková, M., Šantrůček, J., Škodáček, Z., Trčková, M., Užík, M., Vaněk, T., Vejl, P., Vítámvás, P., Vyskot, B., Vyvadilová, M., Zámečník, J., Zelenková, S., Žofajová, A., Živčák, M. 2010. Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly). Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 310 s. ISBN: 9788074270239.

Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Kráľová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).

Boland, A.-M., Dayal, D., Dry, P. R., Pei, D., Enciso, J. M., Feibert, E. B. G., Goodwin, I., Heng, L. K., Henggeler, J. C., Joshi, Y. C., Kirda, C., Kivumbi, D., Li, J., Loveys, B. R., Li, Z., McCarthy, M. G., Moutonnet, P., Multer, W. L., Nautiyal, P. C., Shock, C. C., Smith, M., Smithyman, R., Stoll, M., Unruh, B. L., Wample, R. L., Wang, Y., Zhang, X., 2002. Deficit irrigation practise. Food and Agriculture organization of the united nations, Rome, p. 102. ISBN: 9251047685.

Bowes, G. B., Maueth, D. J. 2008. Plant Structure: A colour guide. Manson publishing Ltd. London. p. 288. ISBN: 9781840760927.

Bögre, L., Beemster, G. T. S. 2008. Plant Growth Signaling. Springer. Berlin. p. 379. ISBN: 9783540775898.

Česká, J., Hejnák, V., Ernestová, Z., Křížková, J. 2008. The effect of soil drought on photosynthesis and transpiration rates of maize (*Zea mays* L.). Cereal Research Communication. 36 (5). 823-826.

Česko. Zákon č. 78 ze dne 22. 1. 2004 o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty. In: Sbírka zákonů České republiky. 2004, částka 25. Dostupné také z: <<http://www.szpi.gov.cz/docDetail.aspx?docid=1006187&docType=ART&nid=11816>>.

Český statistický úřad [online]. Praha. publikováno: 23. listopadu 2011, upraveno: 22. února. 2012 [cit. 16. března 2012]. Dostupné z: <<http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/kapitola/00011120101300>>.

Dostál, J. 1950. Květena ČSSR. Přírodovědecké nakladatelství. Praha. 2269 s.

Dostál, J. 1998. Nová Květena ČSSR. Academia. Praha. 1563 s. ISBN: 802000095X.

Dušková, S., Hejnák, V., Martinková, J., Ernestová, Z., Křížková, J. 2008. The effect of soil drought on the water use efficiency in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). Cereal Research Communications. 36 (5). 819-822.

Elzebroek, T., Wind, K. 2008. Guide to cultivated plants. CAB International. London. p. 496. ISBN: 9781845933562.

Francis A. 1990. The Tripsacinae: An interdisciplinary review of maize (*Zea mays*) and its relatives. Acta Botanica Fenica 140. Helsinki. p. 51. ISBN: 9519469346.

Gloser, J., Havel, L., Krekule, J., Macháčková, I., Nátr, L., Prášil, I., Procházka, S., Sladký, Z., Šantrůček, J., Šebánek, J., Tesařová, M., Vyskot, B. 1998. Fyziologie rostlin. Academia. Praha. 484 s. ISBN: 8020005862.

Grzesiak, M. T., Rzepka, A., Hura, T., Grzesiak, S., Hura, K., Filek, W., Skoczowski, A. 2007 In: Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Kráľová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchetová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN:: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).

Harshberger, J. W. 1893 In: Balounová, N., Cerkal, R., Červinka, J., Doležal, P., Dvořák, J., Fajman, M., Hrstková, P., Jánský, J., Křen, J., Palík, S., Poláčková, J., Polišenská, I., Povolný, M., Procházková, M., Prokop, M., Richter, R., Ryant, P., Říha, K., Smutný, V., Tichý, F., Vaculová, K., Winkler, J., Zeman, L., Zimolka, J. 2008. Kukuřice, hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press. Praha. 200 s. ISBN: 97880867261.

Hejnák, V. 2005. Použití přístroje: LCpro +. [online]. Praha. Publikováno: 24. 1. 2005, upraveno: 24. 1. 2005 [cit. 15. března 2012]. Dostupné z: <<http://kbfr.agrobiologie.cz/download/lcproplus.pdf>>.

Hejnák, V., Skalický, M., Ernestová, Z., Křižková, J. 2008. The effect of soil drought on gases exchange in the leaves of beet (*Beta vulgaris* L.). Cereal Research Communications. 36 (5). 827-830.

Hnilická F., Hnilicková, H., Hola, D., Kocová, M., Rothová, O. 2008. The effect of soil drought on Gases exchange in the leaves of maize (*Zea mays* L.). Cereal Research communication. 36 (S). 895-898.

Hnilička F., Hnilíčková H., Krofta K. 2008. The effect of weather on the Hops's photosynthesis and transpiration rate. Cereal Research Communications. 36 (5). 887-890.

Chloupek, O. 2008. Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. Academia. Praha. 312 s. ISBN: 9788020015662.

Jones, G. H., Flowers, T. J., Jones, M. B. 1989. Plants under stress. Cambridge university press Cambridge. p. 257. ISBN: 9780521050371.

Judd, S. W., Campbell, S. C., Kellogg, A. E., Stevens, F. P., Donoghue, J. M. 2007. Plant systematics: a phylogenetic approach. Sinauer Associates, INC. Massachusetts USA. p. 620. ISBN: 9780878934072.

Jugenheimer, R. W. 1976. In: Balounová, N., Cerkal, R., Červinka, J., Doležal, P., Dvořák, J., Fajman, M., Hrstková, P., Jánský, J., Křen, J., Palík, S., Poláčková, J., Polišínská, I., Povolný, M., Procházková, M., Prokop, M., Richter, R., Ryant, P., Říha, K., Smutný, V., Tichý, F., Vaculová, K., Winkler, J., Zeman, L., Zimolka, J. 2008. Kukuřice, hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press. Praha. 200 s. ISBN: 97880867261.

Kerstiens, G. 1996. In: Madhava, K. V. R., Raghavendra, A. S., Reddy, K. J. 2006. Physiology and molecular biology of stress tolerance: in plants. Springer. New York. p. 345. ISBN: 13 9781402042249.

Kučera, J., Kubešová, S., Hájek, M., Holá, E., Němcová, L., Plášek, V. 2010. Nová bryologická literatura XXII. – Bryonora 45: 63-84.

Larcher, W. 1995. In: Atwell, B., Kriedeman, P., Turnbull, C. 1999. Plants in action. The Australian Society of Plant Physiologists and The New Zealand Society for Horticultural Science, pp. 202-300.

Ma, L., Li, C., Fu, J., Guo, X., Zhao, X., Gao, C., Wang, L. 2011. Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field. Acta Ecologica Sinica. 31 (23). 7141 – 7150.

Madhava, K. V. R., Raghavendra, A. S., Reddy, K. J. 2006. Physiology and molecular biology of stress tolerance: in plants. Springer. New York. p. 345. ISBN: 13 9781402042249.

Mangelsdorf, P. 1958. In: Schwanitz, F. 1969. Vývoj kulturních rostlin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 544 s.

Mártonfi, P. 2006. Systematika cévnatých rostlin. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika. Košice. 220 s. ISBN: 8070976284.

Mohammadkhani N., Heidari R. 2008. Water Stress Induced Stomatal Closure in Two Maize Cultivars. *Research Journal of Biological Sciences*. 3 (7). 750-754.

Moussa, H. R. and Abdel-Aziz, S. M. 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crop Science*, 1 (1). pp. 31-36.

Nielsen, E. T., Orcutt, D. M. 1996. *Physiology of Plants under Stress*. Virginia Polytechnic Institute and State University, USA. p. 689.

Öpik, H., Stephen, A. R., Willis, J. A. 2005. *The fysiology of flowering plants* Cambridge University Press. Cambridge. p. 392. ISBN:10 0521664853.

Pépo, P. 2009. Effects of water supply as an abiotic stress on the yields and agronomic traits of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on chernozem soil. *Cereal Research Communications*. 37 (1). 29-32.

Prokeš, K. 2009. Kukuřice v praxi 2009, Sborník z odborného semináře. MZLU a KWS osiva, s.r.o. Brno. 47 s. ISBN: 9788073752637.

Queiroz, R.J.B., dos Santos, D.M.M., Ferraudo, A.S., Carlin, S.D., Silva, M.A. 2011. Biochemical and physiological responses of sugarcane cultivars to soil water deficiencies. *Scientia Agricola*. 68 (4). 469-476.

Ripley B., Frole K., Gilbert M. 2010. Differences in drought sensitivities and photosynthetic limitations between co-occurring C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> (NADP-ME) Panicoid grasses. *Annals of Botany*. 105 (3). 493-503.

Schwanitz, F. 1969. *Vývoj kulturních rostlin*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 544 s.

Scott, P. 2008. Physiology and behaviour of plants. John Wiley and Sons Ltd. Chichester. p. 318. ISBN: 9780470850244.

Šlechtová, D. 1960. Kukuřice, plodina budoucnosti. Svět sovětů. Praha. 23s.

Šmíd, M. 2002 Průvodce odbornými názvy rostlin. Nakladatelství Brázda. Praha. 320 s. ISBN: 8020903023.

Soler, C.M.T., Hoogenboom, G., Sentelhas, P.C., Duarte, A.P. 2007. Impact of water stress on maize grown off-season in a subtropical environment. Journal of Agronomy and Crop Science. 193 (4). 247-261.

Šuk, J., Balík, J., Jacobe, P., Jambor, V., Kohout, V., Loučka, R., Táborský, V., Vrzal, J. 1998. Kukuřice. VP Agro spol. s r. o. Kněževés. 131 s. ISBN: 8086153991.

Vrzal, J., Novák, D. 1995. Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícein. Institut výchovy a vzdělávání Mze ČR. Praha. 32 s., ISBN: 8071050970.

Vitkauskaitė, G., Venskaityte, L. 2011. Differences between C<sub>3</sub> (*Hordeum vulgare* L.) and C<sub>4</sub> (*Panicum miliaceum* L.) plants with respect to their resistance to water deficit. Zemdirbyste. 98 (4). 349-356.

White, P. J., Johnson, A. L. 2003. Corn: chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota. 2003. p. 892. ISBN: 1891127330.

Wood, A. J. 2003 In: Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Kráľová, K., Majecková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).



Xianshi, G., Sinclair, T.R., Ray, J.D. Effect of drought history on recovery of transpiration, photosynthesis, and leaf area development in maize. 1998. Annual Proceedings Soil and Crop Science Society of Florida. (57). 83-87.

Yu G.-R., Wang Q.-F., Zhuang. J. 2004. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: Application of a synthetic model of photosynthesis- transpiration based on stomatal behavior. Journal of Plant Physiology. 161 (3). 303-318.

Zeig, J., Zeiger, L. H. 2002 In: Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánková, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Králová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).

Zand, E., Soufizadeh, S., Eskandari, A. 2006. Water stress and nitrogen limitation effects on corn (*Zea mays* L.) competition with a C<sub>3</sub> and a C<sub>4</sub> weed. Communications in agricultural and applied biological sciences. 71 (3). 753-760.

Zheng, S.-H., Yan, C.-R. 2006. The ecophysiological and morphological characteristics of maize in seedling stage under water stress. Acta Ecologica Sinica. 26 (4). 1138-1143.