

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, přírodních a potravinových zdrojů
Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Vliv vodního deficitu na vodní režim juvenilních rostlin bėru a ěiroku
Influence of water deficit on the water regime of juveniles plants by foxtail
and sorghum

BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: Josef Kott

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

© Praha 2017

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 1.04.2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za odborné vedení při vypracování mé bakalářské práce. Děkuji za jeho čas a neocenitelné rady v průběhu provádění pokusu, laboratorní činnosti i při psaní bakalářské práce.

Vliv vodního deficitu na vodní režim juvenilních rostlin béru a čiroku

Souhrn

V bakalářské práci byl ověřován vliv vodního deficitu na rostliny čiroku obecného a béru italského. Cílem pokusu proto bylo stanovit u těchto rostlinných druhů vodní sytostní deficit (VSD) a osmotický potenciál listu v závislosti na působení vodního deficitu s následnou rehydratací.

Rostliny béru italského odrůdy Ruberit a čiroku obecného, tento druh byl zastoupen genotypy 1216, 304 a odrůdami Ruzrok a Bernard Red, byly pěstovány v nádobovém pokusu ve sklenicích FAPPZ ve čtyřech variantách. Kontrolní varianta byla po celou dobu pokusu zavlažovaná na 70 % polní vodní kapacity. Pro navození vodního deficitu nebyla stresovaná varianta 10 dní zalévána a následně byla 4 dni rehydratovaná. V průběhu pokusu se ve dvou denních intervalech měřil přístrojem WP4C osmotický potenciál a vodní sytostní deficit dle metody Čatského.

Ze získaných výsledků vyplývá, že u kontrolní varianty byla naměřena průměrná hodnota vodního sytostního deficitu 5,16 % a hodnota osmotického potenciálu -1,76 MPa. U rostlin čiroku kontrolní varianty byla nejnižší hodnota osmotického potenciálu -1,89 MPa a nejvyšší -1,63 MPa. U kontrolní varianty béru byla naměřena v průměru nižší hodnota osmotického potenciálu -1,84 MPa. Varianta 2., která byla prvních deset dní pokusu stresována a od jedenáctého dne až do ukončení pokusu již byla plně obnovena zálivka na úroveň kontrolních rostlin. U rostlin čiroku pěstovaných v této variantě byla v období stresu nejnižší hodnota osmotického potenciálu -3,05 MPa a nejvyšší -1,63 MPa. U béru byla naměřena v průměru nižší hodnota osmotického potenciálu -2,23 MPa. U rostlin čiroku a béru následné varianty, kdy rostliny byly zavlažovány po dobu prvních deseti dní s následným obdobím bez závlahy do ukončení pokusu, byla nejnižší hodnota osmotického potenciálu -3,13 MPa u rostlin béru a -3,02 MPa u rostlin čiroku, nejvyšší hodnota osmotického potenciálu byla -1,77 MPa u béru a -1,63 MPa u čiroku. U stresované varianty béru byly zjištěny v průměru vyšší hodnoty osmotického potenciálu než u většiny genotypu čiroku. Průměrné hodnoty u stresovaných rostlin čiroku se pohybovaly okolo hodnoty -2,65 MPa a u rostlin béru to bylo -2,7 MPa. V prvním období působení vodního stresu dosáhly nejnižší hodnoty z genotypu čiroků genotyp 1216 (12. den) -3,03 MPa a u genotypu béru (10. den) -2,71 MPa. V období čtyřdenní rehydratace se osmotický potenciál u všech sledovaných genotypů zvýšil.

V následném období stresu byl zaznamenán opětovný pokles vodního potenciálu. Následovalo opětovné čtyřdenní období rehydratace, spojené s nárůstem osmotického potenciálu, pouze u čiroku odrůdy Ruzrok se osmotický potenciál nadále snižoval.

Hodnota vodního sytostního deficitu u kontrolních rostlin čiroku nejnížší 4,13 % a 6,42 %. U kontrolní varianty bérů byla naměřena v průměru nižší hodnota vodního sytostního 3,87 %. Hodnota VSD u rostlin čiroku ve variantě 2. byla v rozmezí 19,78 % až 26,3 %. U bérů v této variantě bylo v průměru dosažena nižší hodnota VSD 15,65 %. U rostlin čiroku a bérů varianty, kdy rostliny byly zavlažovány po dobu prvních deseti dní s následovným obdobím bez závlahy do ukončení pokusu, byla průměrná hodnota VSD čiroku nižší než u rostlin bérů. Průměrná hodnota vodního sytostního deficitu čiroku se pohybovala v rozmezí od 14,24 % do 16,16 %. Hodnota VSD u bérů byla v průměru 16,17 %. U stresované varianty bérů byly zjištěny v průměru nižší hodnoty vodního sytostního deficitu než u většiny genotypu čiroku. Průměrné hodnoty u stresovaných rostlin čiroku se pohybovaly v rozmezí 18,39 % až 25,11 % a rostliny bérů dosáhly 19,89 %. Nejvyšší průměrná hodnota VSD byla dosažena ve variantě, která byla členěna tak, že v prvních 10. dnech pokusu byly rostliny vystaveny vodnímu stresu s následným obdobím závlahy do ukončení pokusu, tato byla 27,22 % u čiroku genotypu 304.

Na základě měření byly potvrzeny mezidruhové rozdíly v reakci na vodní deficit a sledované charakteristiky. Z měření vyplynulo, že na vodní deficit reagují citlivěji rostliny genotypu Ruzrok v porovnání s ostatními genotypy.

Klíčová slova: vodní režim, VSD, bér, čirok, vodní stres

Impact of water deficit on the water regime of juvenile plants of bristle grass (Setaria) and sorghum (Sorghum).

Summary

The Bachelor thesis verifies the impact of water deficit on plants of common sorghum (*Sorghum vulgare*) and Italian millet (*Setaria italica*). Therefore the aim of the experiment was to set the "water richness deficit" (WRD) for these plant species and osmotic potential of the leaf depending on the impact of water deficit followed by rehydration.

Plants of Italian millet in variety Ruberit and common sorghum represented by genotypes 1216, 304 and varieties Ruzrok and Bernard Red, were grown in a vessel experiment in the greenhouses of the Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources in four variants. The control variant was irrigated to the extent of 70% of field water capacity during the entire experiment time. In order to induce water deficit, the stressed variant was not irrigated for 10 days and after that it was rehydrated for 4 days. During the experiment the WP4C apparatus was used in two-day intervals to measure osmotic potential and water richness deficit in compliance with Čatky's method.

The gathered data show that in the case of the control variant the average measured value of water richness deficit was 5.16 % and the value of osmotic potential was -1.76 MPa. With sorghum plants of the control variant the lowest value of osmotic potential was -1.89 MPa while the highest value equaled - 1.63 MPa. With the control variant of Italian millet the average measured value of osmotic potential was lower: - 1.84 MPa. Variant 2 was stressed for the first ten days of the experiment, and then from the eleventh day up to the end of the experiment was fully irrigated on the same level as the control plants. The sorghum plants grown in this variant had the lowest value of osmotic potential in the period of stress equaling to -3.05 MPa, while the highest value was -1.63 MPa. Italian millet showed on average a lower value of osmotic potential, namely -2.23 MPa. The sorghum and millet plants in the following variant, when they were irrigated for the first days followed by no irrigation until the end of the experiment, showed the lowest value of osmotic potential -3.13 MPa (for sorghum) and -3.02 MPa (for Italian millet), while the highest values of osmotic potential were -1.77 MPa and -1.63 MPa respectively. The stressed variant of Italian millet showed on average higher values of osmotic potential than were those of most of sorghum genotype. The average values of stressed sorghum plants were around -2.65 MPa and those of Italian millet plants were - 2.7 MPa. During the first stage of water stress, within the sorghum genotypes

the lowest values were shown by genotype 1216 (12th day): - 3,03 MPa, and with Italian millet genotype the lowest value was -2,71 MPa (10th day). In the period of four-day rehydration osmotic potential increased in all genotypes. The following period of stress recorded decrease in water potential again. Then another 4-day period of rehydration brought increase in osmotic potential, the only exception being sorghum in variety Ruzrok, the osmotic potential of which was still decreasing.

The lowest values of water richness deficit for the control plants of sorghum ranged between 4.13 % and 6.42 %. In the case of the control variant of Italian millet, the measured value of water richness deficit was on average lower: 3.87 %. The WRD value for sorghum in variant 2 ranged between 19.78 % and 26.3 %. The sorghum plants in this variant measured on average a lower value of WRD: 15.65 %. In the case of sorghum and millet plants in the variant when they were irrigated for the first days followed by no irrigation until the end of the experiment, the average value of WRD of sorghum was lower than that of Italian millet. The average value of water richness deficit ranged between 14.24 % and 16,16 %. The WRD value of Italian millet was 16.17 % on average. The stressed variant of Italian millet showed on average lower values of water richness deficit than most sorghum genotypes. The average values for the stressed sorghum plants ranged between 18.39 % and 25.11 % and those for the Italian millet plants reached 19.89 %. The highest average value of WRD was achieved in that variant where the plants were exposed to water stress for the first 10 days of the experiment followed by a period of irrigation lasting till the end of the experiment, this being 27.22 % for sorghum genotype 304.

The results of the experiment have proved interspecific differences in response to water deficit and the observed characteristics. The measurements show that plants of Ruzrok genotype respond to water deficit more sensitively than other genotypes.

Keywords: water regime, WRD, Italian millet, sorghum, water stress

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíle a hypotézy	11
3	Literární přehled	12
3.1	Botanická charakteristika čiroku a béru	12
3.1.1	Čirok obecný (<i>Sorghum bicolor</i>)	12
3.1.2	Bér italský (<i>Setaria italica</i>).....	17
3.2	Historie a současnost pěstování	20
3.2.1	Čirok obecný (<i>Sorghum bicolor</i>)	20
3.2.2	Bér italský	23
3.3	Obecná charakteristika stresu.....	25
3.4	Vodní deficit.....	30
3.4.1	Sucho.....	32
3.5	Vliv vodního deficitu na rostlinu	37
4	Metodika.....	44
4.1	Popis pokusného materiálu	44
4.2	Založení pokusu	45
4.3	Měření fyziologických charakteristik	48
4.3.1	Vodní sytostní deficit	48
4.3.2	Osmotický potenciál	48
5	Výsledky.....	50
5.1	Osmotický potenciál.....	50
5.2	Vodní sytostní deficit	59
6	Diskuze	61
6.1	Osmotický potenciál.....	61

6.2	Vodní sytostní deficit	62
7	Závěr.....	64
8	Seznam použité literatury	65

1 Úvod

Jednou z významných světových plodin je čirok. Dominantním místem pěstování je Afrika, kde je tato plodina jedním z hlavních zdrojů potravy jak pro lidskou výživu, tak i pro zvířata. Dalším důležitým místem pěstování jsou Spojené státy americké, odkud je většina produkce vyvážena do Afriky.

Klimatické podmínky České republiky jsou ovlivňovány polohou našeho státu ve střední Evropě. V roce 2015 byl významný nedostatek vody, velká část zemědělské výroby byla prověřena tímto nedostatkem. Jedna z nejvíce postižených plodin byla kukuřice, která by měla být schopná těmto podmínkám odolávat. Proto by bylo vhodné zjistit, jestli by se do těchto podmínek nehodil více čirok, který je stejně jako kukuřice C4 rostlinou.

Užití čiroku je velmi podobné jako u kukuřice. Zrno je možné použít pro lidskou výživu nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata. Celé rostliny této plodiny je také vhodné využít pro výrobu siláže. Prvním využitím čirokové siláže je jako krmivo pro dojnice, kdy svým nutričním složením je velmi podobná kukuřičné siláži a složení mléka vykazuje lepší hodnoty než při krmení kukuřičnou siláží.

Další možností využití této čirokové siláže je použití v bioplynových stanicích, kterých je v České republice velké množství. Čiroková siláž má více energie oproti siláži z kukuřice, proto se musí počítat s tím, že fermentace v bioplynové stanici probíhá delší dobu než u kukuřičné siláže.

Pěstování čiroku je v ČR jen okrajovou záležitostí. Statistický úřad o této plodině nevede ani záznamy. Tato plodina ovšem skrývá možný potenciál a to zejména v rozšiřujících se suchých oblastech. Jelikož je málo pěstován, tak se jeho šlechtění v České republice uskutečňuje pouze ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v. v. i. v. v Praze – Ruzyni. Jestliže by se zvýšila poptávka po této plodině, mohlo by se více rozvíjet i jeho šlechtění do podmínek České republiky.

Bér patří mezi starodávné plodiny, je však v dnešní době zapomenuta. Jeho využití je téměř stejné jako u čiroku. Velkou výhodou béru je to, že ke svému růstu potřebuje jen malé množství vody. I přestože je bér odolnější k suchu, vyžaduje vodu v kritických fázích růstu. V České republice se bér pěstuje pouze v rámci pokusů. Přitom je tato plodina jedna z těch,

které by mohly nahradit kukuřici. Bér je ovšem stejně jako čirok pro naše podmínky málo prošlechtěn a bylo by vhodné vyšlechtit více odrůd.

2 Cíle a hypotézy

Vodní deficit patří mezi stresové faktory, které mají v celosvětovém měřítku významné negativní dopady na pěstování plodin. Různé druhy rostlin reagují na vodní deficit odlišným způsobem. Mezi rostliny vyznačující se vyšší odolností vůči nižšímu obsahu vody v půdě patří čirok (*Sorghum* sp.). Mezi plodiny snášející horší půdní podmínky, ale vykazují vyšší odolnost či citlivost vůči nedostatku vody v půdě, patří např. bér italský (*Setaria italica*).

Na základě těchto skutečností byl navržen následující cíl práce:

1. Cílem práce je stanovení a vyhodnocení vlivu vodního deficitu na vodní režim juvenilních rostlin vybraných genotypů čiroku a béru.

Na základě stanoveného cíle práce byly navrženy následující hypotézy:

1. Existují rozdíly v hodnotách vodního potenciálu a VSD mezi sledovanými genotypy čiroku na působení vodního stresu?

2. Existují rozdíly v hodnotách VSD a vodního potenciálu na vodní stres mezi čiroky a bérem?

Zvolené pokusné druhy rostlin byly vybrány s ohledem na oblast jejich domestikace a pěstování, kdy se jedná především o aridnější oblasti Země. Dalším výběrovým kritériem byl předpoklad rozdílného chování sledovaných druhů rostlin vůči nedostatku půdní vody.

3 Literární přehled

3.1 Botanická charakteristika čiroku a béru

3.1.1 Čirok obecný (*Sorghum bicolor*)

O čiroku poprvé psal v roce 1753 Linné, ve své práci ho nazývá *Holcus*. V roce 1794 se rod čirok vydělil z rodu *Holcus* a zástupci v nově vzniklém rodu získali pojmenování *Sorghum bicolor*. Autorem tohoto díla je německý botanik Conrad Moench. Dnes je nejvíce užívaná klasifikace, kterou vypracovali Wett and Huckaby (1997), jenž zahrnuje všechny kulturní čiroky v jeden mnohotvarý druh, *Sorghum bicolor*, se dvěma poddruhy, které se dělí dále několika varietami a množstvím forem (Kára et al. 2005).

Rod čirok (*Sorghum* Moench.) náleží do skupiny vousatkovité (*Andropogoneae*) čeledi lipnicovité (*Poaceae*), podčeleď prosovitých (*Paniciodae*). Toto členění uvádí autoři Stražil (1999) a Hermuth (2010). Rod čirok zahrnuje mnoho jedno i víceletých druhů, převážně planě se vyskytujících v oblastech subtropů a tropů.

Čiroky, jež jsou zařazeny do kulturní produkce, se vyznačují širokou ekologicko-geografickou, ale i odrůdovou různorodostí. (Petr et al., 1997). Kulturní formy společně se všemi původními plevelnými typy, které jsou typické pouze pro Afriku, jsou zahrnovány pod označení *Sorghum bicolor* subsp. *bicolor*. *Sorghum bicolor* subsp. *halepense* je biologické označení pro plevelné formy, rozšířené od ostrovů jihovýchodní Asie až do oblasti Středozemního moře. V zemědělské praxi se však používá klasifikace, kterou uveřejnil Mansfeld (1952). Čirok, viz obr. 1, zařazený do kultury se dělí na čtyři variety, a to podle jejich praktického využití:

- a) **Čirok obecný zrnový** (*Sorghum vulgare* var. *eusorghum*). Tato varieta čiroku je pěstovaná pro obilky se značným obsahem bílkovin a škrobu. Tyto variety většinou zahrnují formy s nižším vzrůstem.
- b) **Čirok obecný technický** (metlový) (*Sorghum vulgare* var. *technicum*). Varieta čiroku pěstovaná pro latu, ze které se ve zpracovatelském průmyslu vyrábějí košťata a kartáče. Zrno je u této variety vedlejším produktem.

- c) **Čirok obecný cukrový** (*Sorghum vulgare* var. *Saccharatum*) má vysoký obsah sacharidů v dřeni stébla, pěstován jako krmná a silážní plodina. U této variety se ze stébel lisováním uvolňuje šťáva, která je dále použita při výrobě lihu nebo pro potravinářský průmysl k výrobě sirupů apod.
- d) **Čirok súdánský – súdánská tráva** – (*Sorghum vulgare* var. *sudanense*). Tato varieta čiroku se vyznačuje bujným růstem (Valíček et al., 2002). Dále se vyznačuje tenkými stébly, bohatým olistěním a vytvářením velkého množství nadzemní biomasy. Jedná se o kvalitní pícní druh. Výhodné je jeho použití pro energetické účely (Hermuth et al., 2012).



Obr. 1: Čirok obecný *Sorghum bicolor* Bernard Red

Zdroj: foto Hrkotová (2015)

Při pohledu na čirok se zdá, že je podobný kukuřici. Oba tyto druhy mohou dosahovat výšky 1 až 3 (5) m (Pavliš et al., 2002). Oproti tomu při pohledu na květenství a další biologické a fyziologické procesy se čirok spíše podobá prosu. Oproti kukuřici zde nedochází k vývoji klasu, ale laty (Chobotová a Pokeš, 2013).

Tito autoři dále uvádí, že objem vody potřebný pro tuto plodinu je překvapivě malý. Jako C4 rostlina vyžaduje jen asi 200 až 300 l vody k vytvoření 1 kg sušiny. Díky této vlastnosti je vhodná pro pěstování v regionech s ročním úhrnem srážek od 400 do 600 mm. Vysoká tolerance čiroku k suchu a horku z něho dělá atraktivní plodinu především v regionech s periodicky se opakujícím suchem. V těchto oblastech kukuřice není schopna dosahovat optimálního výnosu, a proto je zde vhodné pěstování čiroku.

Kořenový systém čiroku dosahuje hloubky od 140 do 170 cm a šířky 60 -až 120 cm. Primární kořínky se objevují během klíčení, nejsou větvené, pokud ano tak jen velmi málo. Sekundární kořeny vyrůstají z prvního nodu. Ze sekundárních kořenů se vyvíjí základ mohutného kořenového systému. Primární kořeny postupně odumírají. Z nejnižších nodů mohou vyrůstat také opěrné kořeny, které se vyvíjejí za nepříznivých podmínek. Tento typ kořenů není schopen přijímat živiny a vodu, ale velmi dobře upevňují rostliny v zemi, takže ani při silných větrech rostliny nepoléhají (House, 1985). Ust'ak (2014) uvádí, že čirok výborně odolává suchu a osvojuje si živiny i z hlubších půdních horizontů. Ve srovnání s kukuřicí dochází k vývoji dvojnásobného množství kořenových vlásků na jednotku hlavních kořenů. Potřeba vody je proto asi o třetinu nižší než u kukuřice a v extrémním suchu má dokonce schopnost přejít do klidového stavu a obnovit růst až v okamžiku přísunu vody, z dostatečných dešťových srážek.

Stéblo čiroku je silné, tvrdé, hladké, kolénky rozdělené na články a dlouhé 1,5 až 5,5 m. Stébla jsou bohatě olistěná a vytváří velké množství zelené hmoty (Strašil, 1999). Do doby kvetení je dřev ve stéble šťavnatá a sladká, při dozrávání vysychá a tvrdne (Hermuth, 2010). Výška stébla je podle Dostála (1989) velmi rozdílná, rozlišuje se čirok zakrslý – nižší jak 1 m, nízký 1 – 1,5 m, středně vysoký 1,5 – 2 m, vyšší 2 – 2,5 m a vysoké nad 2,5 m. Stéblo je rozděleno kolénky na jednotlivá internodia. Jejich počet závisí na délce stébla a počet hlavních článků přímo souvisí s délkou vegetačního období. Genotypy s počtem článků 5 až 11 řadíme mezi rané, 11 – 16 mezi polorané a 16 – 20 a více článků mezi pozdní genotypy. U každého stéblového kolénka se vytváří pupen, který je pod praporcovým listem a může z něho vznikat nové stéblo.

Čirok má listy široké v průměru přibližně 10 cm ale mohou dosáhnout až 15 cm. Jejich uložení na stéblech souvisí s genotypem rostliny. Délka listů se pohybuje v rozmezí od 40 do 100 cm. Největší délky dosahují listy v nižších částech stonku, na vrcholu rostlin jsou listy kratší. Listy jsou lysé nebo poněkud pomoučené listové pochvy; jazýček je zaokrouhlený,

jemně brvitý a čepel je čárkovitá až čárkovitě kopinatá a plochá. Listy jsou také kryty slabou voskovou vrstvou, která zapříčiní jejich zbarvení do šedo zelené. Ve vhodných podmínkách má čirok méně listů než v nevhodných, příkladně v Indii ve vhodných podmínkách je průměrný počet listů na rostlinu 14 až 17, v nevhodných podmínkách dosahuje počtu i přes 30 (House, 1985).

Moudrý et al. (2011) uvádí, že květenstvím je lata, jak dokládá obr. 2, která je svým habitem charakteristická pro jednotlivé hospodářské skupiny. Lata mohou být vzpřímené, nakloněné nebo ohnuté. Délka latory dosahuje velikosti od 4 až 25 cm i více, šířka je od 2 cm do 20 cm. Lata je tvořená z klásků, jež vyrůstají vždy v páru. Jeden přisedá a je oboupohlavní a fertilní, druhý je stopkatý a pouze samičí. V každém klásku se vždy nachází dva kvítky, vždy jeden fertilní (Rooney, 2007).



Obr. 2: Detail květenství čiroku

(http://krv.agrobiologie.cz/atlas/katalog/plodiny/detail/?plodina_id=38&ref=%2FAtlas%2Fkatalog%2Fplodiny%3Fstr_aktualni%3D4)

Čirok náleží mezi rostliny primárně samosprašné, ale při pěstování dochází i k určitému procentu cizosprašnosti. To se odvíjí od typu květenství. Např. u rozkladitých otevřených květenství může být procento cizosprašnosti až 60 % (Doggetta 1995). Teplota, při které nastává optimální kvetení, je u čiroku 21 – 35 °C. Kvetení začíná obvykle v ranních hodinách od vrcholu latory a postupuje směrem dolů (Rooney, 2008). Kvítky ve spodní části latory bývají neplodné nebo nedozrávají. Kvetení trvá podle Dostála (1989) obvykle 7 – 10 dnů.

Stuchlík (1951) uvádí, že čirok se do mléčné zralosti dostává už brzy po opylení, ale k plné zralosti je obvykle potřeba poměrně dlouhý čas, protože rostlina zůstává dlouho zelená a zásobuje zrno vodou. Obilka je obalena tenkou, bezosinnou pluškou, osinatou pluchou a vně tuhými pluchami. Tvar semen je oválný až eliptický a dosahují různé velikosti a zbarvení – od černé, hnědé, červené, žluté až po bílou, objevují se i dvoubarevná semena.

Hermuth (2010) konstatuje, že hmotnost tisíce semen (HTZ) se pohybuje v rozmezí 30–80 g. U odrůd pěstovaných v kultuře bývá hmotnost tisíce zrn 25 a 30 g. Dle hmotnosti tisíce zrn rozeznáváme genotypy drobnozrnné s HTZ nižší než 20 g, se středně velkým zrnem s HTZ 20–30 g a velkozrnné s HTZ nad 30 g. Detail semen čiroku je uveden na obr. 3 a 4.



Obr. 3: Semena čiroku zrnového

(http://krv.agrobiologie.cz/atlas/katalog/plodiny/detail/?plodina_id=39&ref=%2FAtlas%2Fkatalog%2Fplodiny%3Fstr_aktualni%3D4)



Obr. 4: Detail semena čiroku cukrového

(http://krv.agrobiologie.cz/atlas/katalog/plodiny/detail/?plodina_id=38&ref=%2FAtlas%2Fkatalog%2Fplodiny%3Fstr_aktualni%3D4)

Pro pěstování čiroku je nejdůležitějším krokem vhodně zvolený termín setí a to především s ohledem na teplotu půdy a předpovědi průběhu počasí. Doporučená teplota půdy by měla být 15 °C. Před setím je důležité, velmi kvalitní příprava půdy tak, aby došlo k rovnoměrnému vzházení. Nutným pěstitelským opatřením je důsledné odplevelení vzházejícího porostu čiroku. Čiroku díky svému mohutnému kořenovému systému, dokáže získávat živiny ze značných hloubek (Pištínek, 2015).

3.1.2 Bér italský (*Setaria italica*)

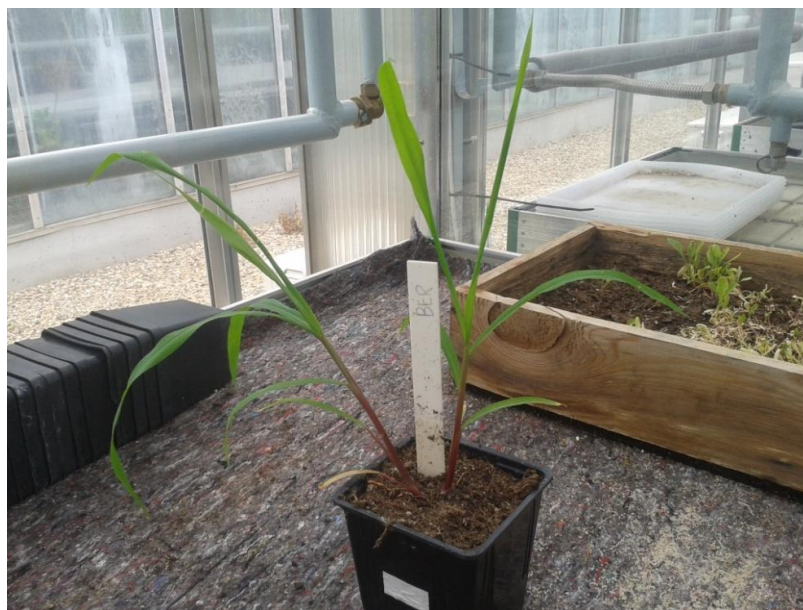
Bér italský (*syn. vlašský*) je statná bylina z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) s jednotlivými rovnými hladkými stébly (obr. 5), 100 – 150 cm vysokými, někdy zbarvenými antokyany. Pochvy listů jsou lysé nebo řídce chlupaté, slabě drsné, čepele tuhé, 15 – 45 cm dlouhé, ploché 8 – 15 (6 – 20 mm) široké,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



Obr. 5: Detail květenství bérů italského – (*Setaria italica*)

(http://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz&latName=Setaria%20italica&title=Setaria%20italica%20%7C%20b%C3%A9r%20italsk%C3%BD&showPhoto_variant=photo_description&show_sp_descr=true&spec_syntax=species&sortby=cz)

Cheng and Dong (2010), Brink and Beley (2006) uvádějí, že kořenový systém je v porovnání s prosem setým rozvinutější, viz. obr. 6. Ve vhodných půdních podmínkách může stéblo bérů narůst až do výšky 1,5 m. Jedná se o rostlinu, která je převážně samosprašná. Poměr cizosprašení je do 4 %. V lichoklasu může být od 3 do 5 tisíc obilek, které mají obvykle žlutě, krémově, rezavě, hnědě nebo černě zbarvené, jak dokládá obr. 7. Semena bérů jsou drobná a před zpracováním je nutné je oloupat. Po vyloupání je výtěžnost obilek 77 %. Velikost obilek se pohybuje v rozmezí 1 – 1,7 mm, HTS činí 2 – 4 g.



Obr. 6: Bér italský

Zdroj: foto Hrkotová (2015)

Bér na zrno se podle Hermutha et Hýska (2010) sklízí v době dosažení plné zralosti. Bér je také často pěstován za účelem produkce na zelenou hmotu. Při tomto použití se provádí sklizeň v období od začátku metání nebo až plného metání. Dřívější sklizeň je nežádoucí, neboť snižuje výnos hmoty z jednotky plochy, při pozdější sklizni obsahuje rostlina značné množství vlákniny a je hůře stravitelná. Zelenou hmotu můžeme zkrmovat přímo nebo silážovat či sušit na seno.



Obr. 7: Detail semena béru

Zdroj: foto Hrkotová (2015)

Ideální oblastí pro pěstování bérů je ta oblast, která má ročním úhrn srážek 500 – 700 mm s maximem srážek v letním období. Bér potřebuje méně srážek než čirok nebo kukuřice. Úspěšné pěstování je ovlivněno tím, kdy dochází k přísunu srážek. Jedná se o rostlinu, která je také schopna vyhnout se období sucha tím, že urychlí dozrání. Má schopnost snést i zamokření. Rostliny bérů však nejsou přizpůsobeny čelit nízkým teplotám (www.fao.org, 2017).

3.2 Historie a současnost pěstování

3.2.1 Čirok obecný (*Sorghum bicolor*)

O oblastech, ze kterých se čirok rozšířil a kde se čirok množil a rozvíjel nově získané vlastnosti, existuje mnoho názorů. Například, dle Vavilova (1926) se čirok vyvíjel především ve třech genetických centrech: východoasijského, indického a afrického. Toto ve své práci potvrzuje také Valíček et al. (2002). Podle Káry et al. (2005) pěstovali čirok již staří Egypťané.

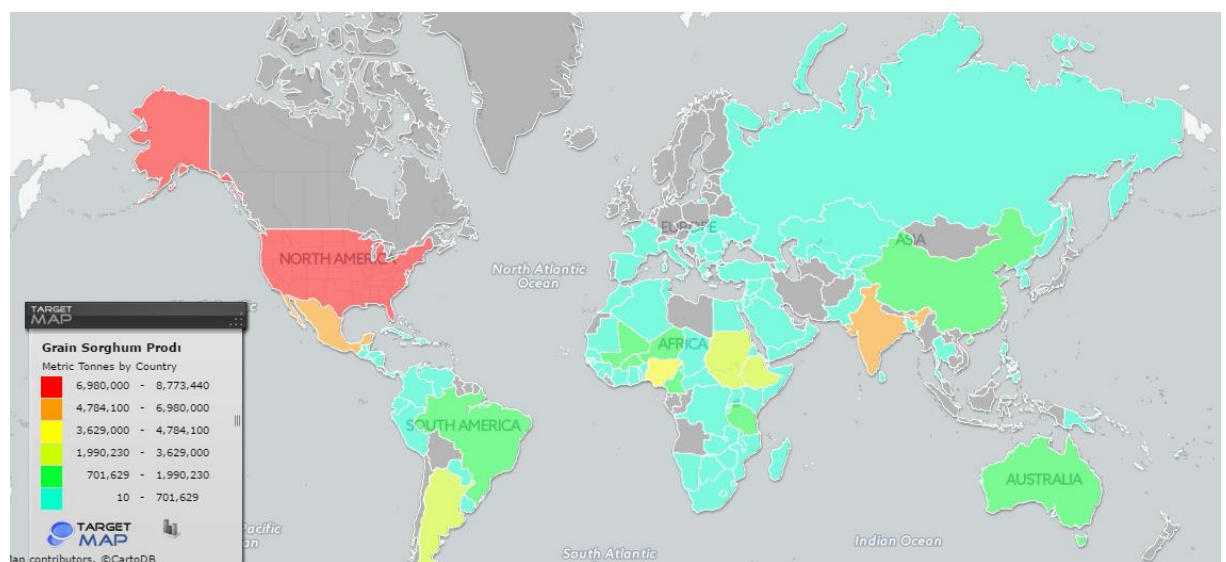
Hermuth et al. (2012) uvádí, že čirok se do Evropy poprvé dostal do Itálie z Indie za doby Plinia Staršího, ale poté se na čirok zapomnělo. Do severní Afriky a znovu do Evropy se dostal prostřednictvím Arabů. Jedná se o světově významnou plodinu především v oblastech Asie a saharského a subsaharského pásu Afriky, kde je nedostatek dešťových srážek a tak je čirok jednou z mála dobře prosperujících plodin.

Uvedení autoři dále konstatují, že, čirok byl do Čech ve větší míře zařazen ve 20. letech minulého století, kdy bylo pěstováno značné množství technického čiroku. Další období použití následovalo v 50. letech, později však došlo k jeho vytlačení kukuřicí. V poslední době se zvýšil zájem o pěstování čiroků v rámci ČR. Toto souvisí především s rozvojem bioplynových stanic a změnami klimatu.

V současné době se pěstuje na všech světadílech, mimo Antarktidy, jak je patrné z obr. 8. V celosvětové produkci zaujímá páté místo v pěstovaných obilovinách hned za pšenicí, kukuřicí, rýží a ječmenem a sedmé místo ve všech pěstovaných plodinách, zde jsou před ním ještě sója a brambory. Celková světová produkce v roce 2010 činila 55 646 992 t a to na

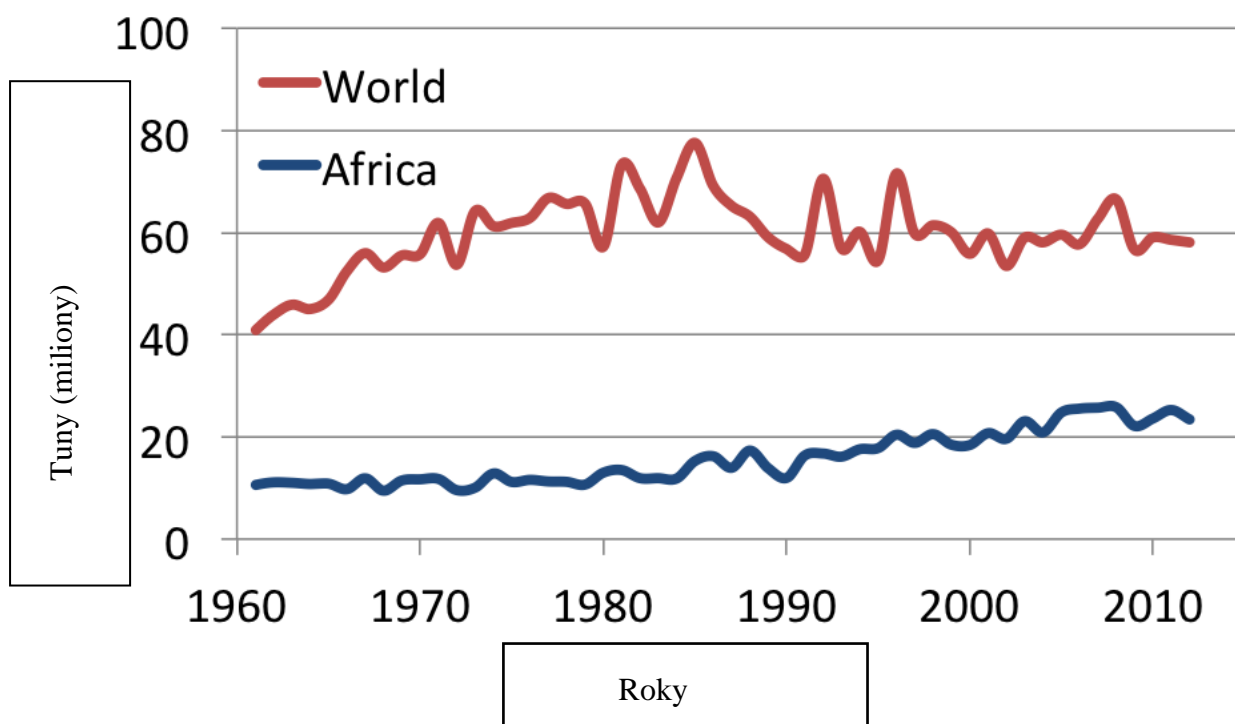
celkové rozloze 40 508 600 ha (FAO, 2017). Ve světě jsou největšími pěstiteli Spojené státy (17 % ze světové produkce), Nigérie, Indie a Mexiko. Hermuth (2010) uvádí, že největším producentem čiroku v Evropě jsou Francie, Itálie a Španělsko.

Chobotová a Prokeš (2013) uvádí, že plocha, na níž je čirok ve světě pěstován činí 60 milionů hektarů. Místa častého pěstování, viz obr. 8 se nachází především v Africe (Nigérie a Súdán), Asii a Indii zde probíhá i jeho šlechtění. Ve výše uvedených oblastech je používán zároveň jako velmi důležitá plodina určenou k výživě lidí. Nejvyšší výnosy v průměru okolo $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ dosahuje čirok v Evropě a USA. Tento výnos je dosahován díky intenzivní agrotechnice. Zejména je zde dodávána dostatečná dávka hnojení, ochrany rostlin a v některých oblastech i zavlažování. Naopak nejnižších výnosů dosahuje tato plodina v Africe, kde je pěstován s minimálními vstupy.



Obr. 8: Mapa rozšíření pěstování čiroku

Zdroj: www.targetmap.com



Obr. 9: Srovnání produkce čiroku ve světě a v Africe

Zdroj: www.zernoexport.com

Z uvedených schémat vyplývá, že pěstování čiroku je v současné době rozšířeno téměř na všech světadílech. Nejvyšších výnosů je dosahováno v Severní Americe a v oblastech kde je čirok pěstován se závlahou, jak uvádí mapa rozšíření pěstování obr. 8. a obr. 9 znázorňuje celkovou produkci v miliónech tun, z nich vyplývá, že jedna čtvrtina světové produkce je produkována v Africe; jedná se o 20 mil. tun z celkového objemu přibližně 80 mil. tun zrna.

Použití čiroku je značně široké. Může být využit jako zdroj suroviny pro výrobu potravin, krmiv, jako technická plodina. Zrno čiroku je dle Ali et al., (2009) a Bibi et al., (2010) základem potravy chudých lidí, kteří žijí v semiaridních topických oblastech.

Pěstování čiroku v těchto oblastech poskytuje lepší výsledky, i za nepříznivých půdních a povětrnostních podmínek ve srovnání s jinými plodinami (Ejeta and Knoll, 2007). Kára et al., (2005) uvádí, že největší část osiva čiroku dostupná v ČR má původ v zahraničí a je zde distribuováno přes distribuční osivářské firmy.

Pro potravinářské zpracování je čirok cukrový dále využíván podle Hermutha (2010) pro výrobu sirupů, cukrovinek, lihu, lihových nápojů a piva (jednoduše zkvašuje). Dále je jeho zrno určeno na výrobu mouky, kaší a krup.

Čirok jako krmivo je používán k výkrmu drůbeže, prasat a to hlavně v oblastech, kde je pěstování rozšířené na rozlehlých výměrách (Hermuth, 2010). Čirok je podle Pištínka (2015) vhodným doplňkem ke krmné dávce, vzhledem k jeho nutričnímu složení, kdy např. krávy s krmnou dávkou 10 kg čiroku mají zlepšený metabolismus, který se následně pozitivně projevuje i na kvalitě mléka.

Martin and MacMasters (1950) uvádí, že v průmyslu je čirok používán pro výrobu lepidel, olejů a škrobů.

Čirok je mimo produkci pro výživu zvířat a člověka, používán například k produkci bioetanolu a bioplynu. Výroba bioetanolu z čiroku je uskutečňována především ze zrna a někdy i části rostlin. Oproti tomu výroba bioplynu zpracovává celé rostliny, protože obsah vodorozpustných cukrů dosahuje vysokého podílu. Čirok, jenž je pěstována do bioplynových stanic, je nutné před použitím nejdříve silážovat. Pro výrobu siláže je nutné čirok sklízet v období mléčně-voskové zralosti semen a při dosažení sušiny 28 – 38 %. Při tom to využití nastává omezení. Například to, že pro uvolnění metanu je nutné dvakrát víc času než kukuřice (Hermuth, 2010; Šantrůček, 1995; Chobotová a Prokeš, 2013).

Velikost genomu čiroku jakožto C4 rostliny je ve srovnání s kukuřicí menší a proto je označován jako malý genom. Plně sekvenovaný genom představuje důležitý nástroj pochopení fungování jeho genomiky, které mohou přiblížit vývoj čiroku (Hermuth, 2010).

3.2.2 Bér italský

Bér italský patří mezi jednu z prvních domestikovaných plodin Asie, které byly zařazeny do kulturní produkce. První doložené informace o jeho pěstování pochází z období přibližně 6 tisíc let před Kristem a to z oblasti severní Číny nacházející se okolo Žluté řeky, odkud se nadále rozšířil do světa. Již císař Šen-nong (asi 2737 – 2699 př. Kr.) určil pět nejdůležitějších plodin pro Čínu a zařadil mezi tyto plodiny i bér. Těchto pět rostlin bylo považováno za posvátné (Austin, 2006).

Informace o pěstování bérů v Evropě, Blízkém a Středním Východě se datují do doby bronzové. V Evropě se bér stal významnou obilovinou především pro obyvatele starověkého Říma. V současné době se bér ve světě pěstuje v Číně, Indii, na Korejském poloostrově, Indonésii, Africe a jižních státech Evropy. Jedná se o druhou nejpěstovanější plodinu řazenou mezi prosa na světě (Leder, 2004).

Hermuth et al. (2015) uvádí, že v Asii je bér v současnosti pěstován hlavně jako obilovina pro konzumní účely, tedy pro výrobu mouky, placek, kaše apod. V Číně, Koreji a Japonsku je používán místo ječmene pro výrobu piva. V lidské výživě je možné použít jeho semeno podobně jako jáhly. Neobsahuje lepek, takže je vhodný i při bezlepkové dietě. Pro schopnost přizpůsobovat se půdně-klimatickým podmínkám je možné jeho pěstování po celém světě (www.fao.org, 2015).

Často je bér také využíván i jako pícnina a to buď na zelené krmení, nebo jako seno (Evropa, USA, Asie). Obilky bérů je také možné využívat jako krmivo pro drůbež. Sláma je ideální pro dobytek kvůli jeho vysoké výživové hodnotě. Navíc tato sláma je relativně měkká a snadno stravitelná pro dobytek (Cheng and Dong, 2010).

Biomasa bérů je vhodná i jako zdroj silážované hmoty pro bioplynové stanice. Bioplyn má velmi pozitivní efekt na životní prostředí, protože při jeho uvolňování se vytváří méně CO₂, než kolik rostliny během fotosyntézy zpracovávají (Mursec et al., 2009).

Šlechtění bérů se uskutečňuje především v oblastech Číny a Indie. Hlavními šlechtitelskými cíli jsou vytvoření vysoko produkční odrůdy, které produkují obilky bohaté na bílkoviny a jsou resistantní k chorobám, škůdcům, poléhání a jsou adaptované k místním agro-ekologickým podmínkám. Jako příklad je odrůda, která byla vytvořena v Číně, která je velmi raná a tolerantní k suchu a chladu. To ji předurčuje k zařazení do osevního postupu po sklizni ozimé pšenice (Brink and Belay, 2006).

V ČR se šlechtění uskutečňuje pouze ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v. v. i. (VÚRV, v. v. i.) v Praze. V Genové bance (GB), která je součástí VÚRV, v. v. i., se nachází kolekce genetických zdrojů bérů. Šlechtění zde probíhá formou selekce. V roce 2014 byla udělena ochranná práva k odrůdě Ruberit (Hermutha et al., 2015).

3.3 Obecná charakteristika stresu

Z pohledu biologie je těžké definovat stres, jelikož stav, který se může objevit jako napětí pro jednu rostlinu, může být optimální pro jinou. Nejpraktičtější definice biologické zátěže je nepříznivý stav, při kterém se omezuje normální fungování a přezásobení v biologickém systému (Mahajan and Tuteja, 2005).

Obvykle se termín stres používá k pojmenování stavu, v němž je rostlina pod vlivem stresových faktorů. Stresové faktory (stresory) prezentují rozdílné negativní dopady na životní prostředí rostlin a zároveň zpravidla rostliny závažně ohrožují. Projev stresorů může zapříčinit omezení důležité funkce rostlin, způsobit škodu na jejich orgánech nebo dokonce smrt rostliny (Wang et al., 2008).

Biotické a abiotické stresy obvykle rozdělujeme do několika podkategorií na základě rozlišování stresorů, například voda, světlo, chlad a atd. (Kadukova a Kavulicova, 2010). Odklony od „normálního fyziologického stavu“ jsou pokládány za odpovědi na nepříhodné nebo dokonce škodlivé množství, intenzitu faktorů prostředí, to je v případech, pro ně je užíváno označení stres. Stres a jím vyvolané odezvy rostlin (stresové reakce) je možno použít jako měřítko síly nebo intenzity stresu a to od nedostatku až k přebytku. Faktory klimatu, odklon od nejvhodnější intenzity nebo množství, jsou označovány jako stresové faktory. V přírodě se však vyskytuje také vícenásobný stres, jedná se o společné působení více různých stresorů (Schulze et al., 2005). Libovolný nepříznivý stav nebo látka, jenž pozměňuje fungování nebo brání rostlinný metabolismus v růstu nebo vývoji, je pokládáno za napětí (Lichtenthaler, 1998).

Podle Lewitt (1980) je stres definován jako působení přírodních faktorů potencionálně nepříznivých pro živý organismus. Ashraf et al. (2005) k definici stresu uvádí, že stres má přesnou definici fyzikální vědy, popisují sílu na jednotku plochy, která jedná na základě materiálu, navozující napětí a vede k rozměrové změně.

Rostlinné stresory ve většině případů neprezentují stálý stav, častěji se jedná o dynamický komplex mnoha reakcí. Na základě různých okolností vzniku je možné rozdělit stresory na přirozené (abiotické, biotické) a antropogenní, vzniklé působením lidské činnosti (Jones et al., 2008). Tyto faktory lze posuzovat jako krajní podmínky prostředí a zároveň může docházet ke změně ve fungování rostlin v takovém rozsahu, že dochází k zábraně růstu,

fyziologickému přizpůsobení, adaptace druhu na dané stresové činitele nebo nějaké kombinace těchto změn (Nilsen and Orcutt, 1996).

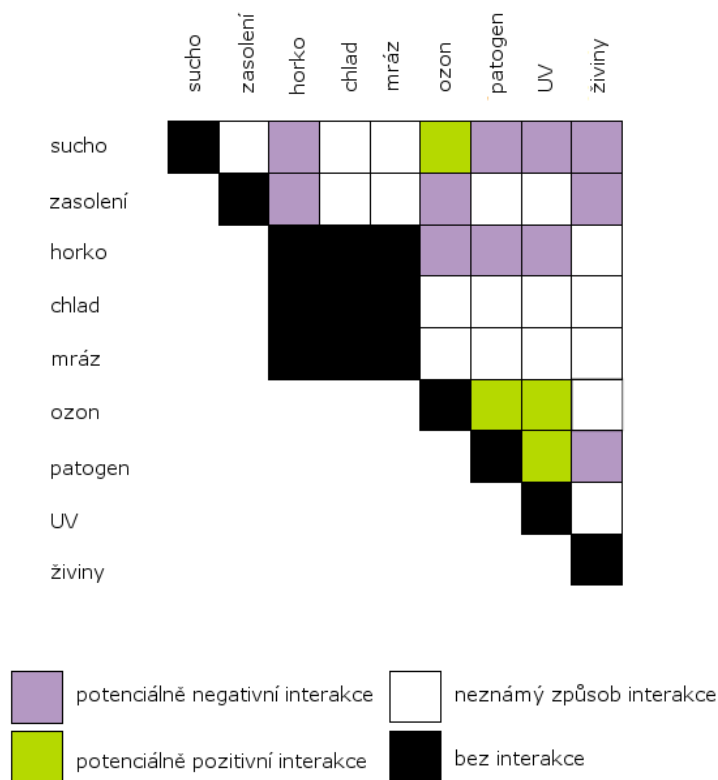
Růst a vývoj rostlin v ekosystémech je omezován současným působením abiotickým a biotickým stresorů. Komplexní odpovědi na vzniklé napětí jsou do určité míry změněny rostlinnými hormony, jež ovlivňují různé biochemické a molekulární dráhy a pomáhají tak rostlinám s tolerancí vůči stresům. Například protein PR - 10 se účastní na odpovědi rostlin na stres, růst a vývoj rostlin, jak uvádí Agrawal et al. (2016).

Výsledkem tohoto působení stresorů na rostliny bývají morfologické, biochemické, fyziologické a molekulární změny. Během působení těchto stresorů dochází k poškození membránového systému, změnám rostlinného metabolismu a buněčných procesů. Může se jednat také o dočasnou ztrátu buněčného turgoru, uzavírání průduchů a následnou změnu ve vodním provozu rostlin (Munns, 2002; Jones and Jongen, 2008). Munns and Tester (2008) dále uvádí, že uzavírání průduchů omezuje příjem CO₂, což má za následek snížení fotosyntézy, ale zvýšení energetických nákladů na následné morfologické změny ve velikosti listů, množství chlorofylů apod.

Dlouhodobá perioda stresu vede k ovlivnění růstu, dále může vést k redukci nadzemní biomasy rostlin a v extrémních případech k úhynu rostlin (Madhava et al., 2006). Na základě působení stresorů často dochází ke snížení růstu, jenž směřuje k opoždění doby kvetení a snižuje výnos (Munns and Tester, 2008). Vedle těchto dlouhodobých účinků stresorů často dochází k prozatímní ztrátě buněčného turgoru, jenž je důvodem náhlých přeměn vodního provozu. Rozpuštěné soli ve vodě působí, že je půdní potenciál negativnější a proto je přijímání vody z kořenů nesnadné (Munns, 2002).

Vyjma snížení rychlosti růstu, dochází taktéž k omezení velikosti průduchů v rostlinách pro vhodné hospodaření s vodou (Jones and Jongen., 2008). Uzavírání průduchů omezuje příjem CO₂, což má za účinek snížení poutání uhlíku a přeměnám v listovém pletivu. Produkce sacharidů během fotosyntézy klesá, toto má vliv na nárůst rostlin a výnos plodin. U některých rostlin dochází k náhradě snížení příjmu CO₂ tím, že vznikají listy, které jsou menší, tlustší a s větším počtem chloroplastů na jednotku plochy listu. Tato morfologická změna znamená pro rostlinu vysoké energetické náklady (Munns and Tester, 2008).

Vyhnutí se nepříznivým vlivům prostředí není pro organismy rostlin možné, protože jsou vázány na stanoviště. Jsou tedy nuceny využít jiných metod obrany. V základu se jedná o dvě primární reakce – vyhýbání se stresu a snášenlivost vůči stresu (Flowers, 2004).



Obr.10: Zobrazení stresových faktorů a jejich vlivu

Zdroj: Mittler, 2006

Ve stresové matici (obr.10) jsou prezentovány různé typy kombinací biotických a abiotických významných stresových faktorů a jejich potenciálních interakcích na zemědělskou produkci. Rozdílné interakce jsou odlišeny barevnou škálou, indikující potenciálně negativní nebo potenciálně pozitivní vliv na rostlinu. Potenciální efekt kombinace stresového faktoru závisí na relativní hodnotě každého ze stresových faktorů (např. silný versus slabý) a na typu rostliny nebo na vývoji patogenu (Mittler, 2006).

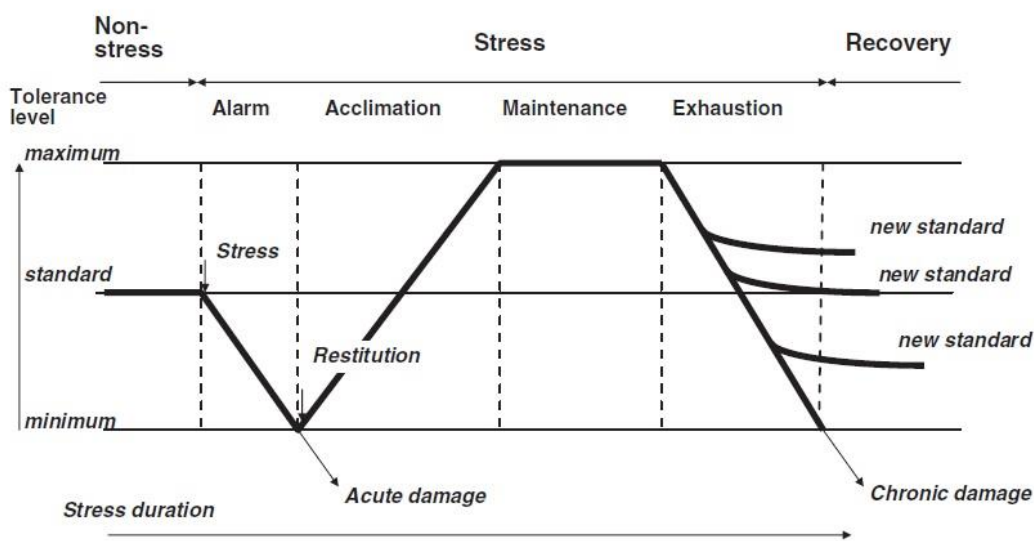
Stres, jenž je důsledkem transformací fyzikálních vlastností klimatu, je častokrát posuzováno jako environmentální zatížení (Qureshi et al., 2007).

Podle Shao et al. (2007) rostliny nemohou uniknout od stresu přesunem z místa. Z tohoto důvodu byly rostliny nuceny vytvořit řadu molekulárních reakcí, aby se byly schopny vyrovnat s působícími stresory. Reakce rostlin na stres není stálá nebo jednoduchá.

Jedná se spíše o dynamický komplex mnoha reakcí, které vytvářejí komplexní sítě signálních drah, které dle Wang et al. (2008) nemusí být specifické, neboť buněčné odpovědi a signální dráhy mnohdy aktivují rozdílné environmentální stresy.

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

Stresovou reakci podle Kosové (2011), lze rozdělit do několika na sebe navzájem navazujících částí, období beze stresu, období stresu a období zotavení. Období stresu dále rozděluje na období znepokojení, zde dochází k poklesu hodnoty tolerance. Následuje období aklimatizace, v tomto období dosahuje hodnota tolerance maxima. Následné období je označováno jako udržovací, následuje období poklesu označované jako vyčerpání, jak dokládá obr. 11.



Obr. 11: Průběh stresové reakce

Autor: Kosová (2011)

Z uvedeného schématu vyplývá, že na rostliny působí různé stresory, na tyto reagují nejprve prudkou změnou na spodní hranici tolerance. V následném období rostlina dosáhne maximální tolerance. V této fázi rostlina přetrvává, dokud nedojde ke změně prostředí. Pokud dojde k změně podmínek na původní hodnotu rostlina přejde do fáze označované jako nový standart, nedojde-li k této změně, u rostlin nastává trvalé poškození.

Stresová rezistence nutně není vyvolána pouze abiotickými stresory, ale i biotickými stresory. Mohou ji totiž produkovat i elicitory, jež právě patogenní organismy produkují a to složkami nebo fragmenty buněčných stěn, jež se vyvíjí jako produkt enzymatického štěpení v následku patogeneze. Získanou rezistenci lze vyvolat i jinými elicitory, například chitosan (Angelova et al., 2006). Bjedov et al. (2003) uvádí, že elicitory jsou definovány jako fyzikální, chemické, biotické nebo abiotické, či komplexní nebo vymezené ve vazbě na jejich původu a molekulární struktuře. Stresy vznikající interakcí mezi organismy označujeme za biotické, oproti tomu jako abiotické stresy označujeme ty stresy, jež jsou výsledkem interakcí mezi organismy a fyzickým prostředím (Ashraf et al., 2005).

V aktuálních systémech hospodaření existuje mnoho způsobů, jakými lze vylepšovat hospodářský výkon rostlin, i v oblasti tolerance rostlin k vnějším negativním podmínkám. Někdy doposud relativně málo využívaných potenciálů, je i zlepšování jakosti semen a celého kořenového systému rostlin (Hnilička a Bláha, 2006). Tito autoři uvádějí, že i sebelepší odrůdy dané plodiny bez uspokojivě vyvinutého kořenového systému při zhoršení podmínek vnějšího prostředí nevykazují schopnost odolnosti a rezistence vůči stresovým faktorům (jak fyzikálně-chemickým, tak i k biotickým), takto postižené rostliny mají snížený výnos ve srovnání s odrůdami s mohutnějším kořenovým systémem.

Porozumění fyziologických, molekulárních a biochemických výsledků působení těchto stresorů prezentuje základní krok vedoucí k vývinu strategií pro stres - rezistentní genotypy. Nalezení DNA markerů rozpoznávaných pro snášenlivost na hliník a sucho. Může být počátečním bodem pro určení specifických genů odpovědných za rozdíly v reakcích rostlin na toxický hliník, sucho a úrovně zasolení (Ashraf et al., 2005).

Přizpůsobení se změnám životního prostředí je velmi důležité pro růst rostlin a jejich přežití.. Aktivní formy kyslíku byly navrženy jako centrální součást adaptace rostlin na obou biotických a abiotických stresů (Dat et al.,2000).

Griffith and Watson (2005) uvádí, že zástupci jednotlivých rostlinných druhů jsou schopny adaptace na místní životní prostředí, toto je důležitým faktorem určujícím geografické rozšíření. Málo se ví o tom, které vlastnosti přispívají k adaptaci, nebo zda jejich další vývoj by usnadnil rozšiřování. Rostliny rozšířeny od severních vegetačních pásů, kde vegetační období jsou chladnější a kratší, zde k reprodukci dochází dříve než u původní populace v jižnějších zeměpisných šířkách. Werner et al. (2001) uvádí, že rostliny se stresu vyhýbají tím, že jsou schopny měnit postavení listů na rostlině, stavbu listů a díky tomu

omezovat příjem fotonu, průběh fotosyntézy a tedy i ztráty vody. Rostliny na každý z působících stresů reagují specifickým mechanismem rezistence. Mechanismus rezistence k suchu (tab. 1) řadí Kůdela et al. (2013) do těchto tří kategorií: unikání suchu, zamezení suchu a tolerance sucha.

Tab. 1: Přehled mechanismu rezistence

Způsob (typ) rezistence	Mechanismus rezistence
A. Obrana před vznikem nedostatku vody v rostlině	
1. Uniknutí suchu	<ul style="list-style-type: none"> • Schopnost rostlin dokončit životní cyklus předtím, než nastává nedostatek vody
2. Zachování vysokého obsahu vody v rostlině	<ul style="list-style-type: none"> • Zvětšený příjem vody např. zvětšení plochy kořenů • Snížení ztráty vody např. snížením počtu listů, rolováním listů, uzavřením průduchů, zvýšením ochranných látek (např. vosků) a počtu trichomů na povrchu • Tvorba zásobních pletiv naplněných vodou, např. u sukulentů
B. Obrana před poškozením pletiv rostli v důsledku nedostatku vody	
1. Zmírnění vlivu nedostatku vody	<ul style="list-style-type: none"> • Akumulace osmoprotektantů (např. cukrů, některých aminokyselin a iontů), které umožňují udržet turgor rostlin, tj. růst i za nedostatku vody • Zmenšit velikost buněk
2. Tolerance nedostatku vody	<ul style="list-style-type: none"> • Indukce tvorby ochranných proteinů, které ochraňují struktury buněk při odvodnění buněk

Zdroj: Kůdela et al. (2013)

3.4 Vodní deficit

Degradace půdy v důsledku nevhodného hospodaření s vodou je jednou z hlavních hrozeb pro lidstvo. Sucho může také přinést změny ve využívání půdy, migraci lidí a zvířat a snížení průmyslové výroby (Ashraf et al., 2005).

Převažujícím stresovým faktorem v budoucnu bude sucho a vysoké teploty. Stres suchem ovlivňuje hospodaření rostlin s vodou, čímž ovlivňuje výkonnost fotosyntézy. Na makroskopické úrovni nižší intenzita fotosyntézy vede k realizaci nižšího výnosu, ale i k tvorbě méně kvalitních semen. Na rostlinách se stres projevuje vadnutím listů, inhibicí růstu nadzemní části a kořenů, opadem listů, opadem květních poupat, zasycháním květů, poškozením květů a redukcí výnosu (Guilioni et al., 2003). Na buněčné úrovni vede stres k různým specifickým a nespecifickým reakcím, spočívajících v aklamaci a adaptaci rostlin, nebo častěji k jejich poškození (Beck et al., 2007).

Jako životně důležitý pro růst a vývoj rostlin je označován dostatek vody. Při nedostatku vody v průběhu vegetace způsobuje rostlinám trvale nebo dočasně omezení růstu a narušení jejich přirozeného vývoje. Mezi všemi abiotickými faktory, jež snižují růst a produktivitu rostlinstva, je mezi prvními nejvíce ovlivňujícími faktory nedostatek vody. Voda, oproti koloběhu minerálních živin, má velmi rychlý přesun v ekosystémech a množství dostupné v rostlinách i v půdě je dostačující pouze na relativně krátkou dobu. Doplnění zásobních vod dešťovými srážkami bývá obvykle nerovnoměrné a nepředvídané (Kúdela et al., 2013).

Vodní deficit v reprodukčním stádiu způsobí nejznatelnější pokles ve výnosu po srovnání s působením tohoto stresového děje v jakékoliv jiné růstové fázi. Výkyvy v bilanci vody a v půdě dostupné vody jsou rozhodující pro výnosy plodin, protože přímo ovlivňují fyziologické procesy a odpovědi (Kramer and Boyer, 1995; Miyashita et al., 2005)

Při deficitu vody dochází k poklesu množství vody, jenž je dostupná pro rostliny. Klíčovým vlivem vodního stresu je obecně považován vliv na pokles fotosyntézy a omezení růstu v důsledku uzavření průduchů (Mwanamwenge et al., 1999).

Boyer (1982) uvádí, že vodním deficitem je ohroženo více než 45 % zeměpisných oblastí po celém světě. Brown (2011) konstatuje, že v současné době je vodním deficitem po celém světě ohroženo více než 80 % zeměpisných oblastí.

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

Podle Kůdely et al. (2013) lze poškození rostlin vodním deficitem rozdělit na mírné ztráty a silné ztráty vody. Mírné ztráty vody se označují jako vratné změny, které se projevují poklesem turgoru, snížením příjmu živin a vody (uzavřením průduchů, poklesem fotosyntézy, deficiencí živin). Silné ztráty vody se označují jako nevratné změny. Ty se projevují poškozením membrán a poruchami metabolismu (změny aktivních enzymů, výtok elektrolytů, zvýšení koncentrace látek). Při tomto dělení dochází k tomu, že mírné ztráty, které mají delší dobu trvání mohou vést k silné ztrátě vody, nelze tedy tato dvě označení oddělit.

Jako vodní deficit označujeme stav, při němž objem vody obsažený v rostlině je nižší než při nejvyšším nasycení. Deficit vody má důsledek ve ztrátě turgoru, jehož projevem je zastavením růstu a vadnutí. V období nedostatku vody jsou rostliny citlivější k působení dalších stresorů, např. ke zvýšené teplotě okolí, protože při vodním deficitu dochází k uzavírání průduchů a snižuje se transpirace, jenž přispívá k ochlazení rostliny. Vzhledem ke složitým vztahům mezi množstvím vody v rostlině a v okolním prostředí nelze dosti dobře zavést jednoduché kritérium, podle kterého se hodnotí, jak velkému stresu je rostlina vystavována z nedostatku vody (Kůdela et al., 2013).

Ruf and Brunner (2003) uvádí, že u kořenů ovlivněných stresorem označovaným jako sucho dochází k charakteristickému snížení aktivity enzymů mitochondriálního řetězce, a tím i k značnému snížení jejich vitality. U kořenů smrku ztepilého, které byly vystaveny jedno-dennímu stresu suchem, činil pokles vitality oproti nestresovaným kořenům až 84%. Rostliny na půdách bohatých na kovy často trpí suchem, toto je zapříčiněno především kvůli mělkému kořenovému systému a půdním podmínkám (Taulavuori et al., 2005).

3.4.1 Sucho

Multilingual Tech. Dictionary (1996), definuje sucho jako trvalou dobu, s nedostatečným objemem srážek. Existují však i různé definice, ve kterých se sucho, považuje za určitý stav ne jako časový interval, ve kterém nedostatek vody trvá.

Olšovská (2008) definuje sucho pomocí 4 základních definicí, a to na tzv. meteorologické, hydrologické a agronomické sucho. Meteorologické (klimatické) sucho znamená situaci, když aktuální srážky jsou dlouhodobě pod úrovní průměru pro daný region. Klimatické sucho vyvolává následně agronomické sucho, představující nedostatek půdní vlhkosti potřebné pro růst a produkci pěstovaných rostlin, v důsledku čehož dochází k redukci

úrody. Hydrologické sucho zase znamená redukci rychlosti (objemu) toku vody v tocích, které napájí vodní rezervoáry, čímž se snižuje celková zásoba povrchových i podpovrchových vodních zdrojů. Vzhledem k obrovským dopadům sucha na celou lidskou společnost a její potřeby se častokrát skloňuje i termín sociálně - ekonomické sucho.

Při nedostatku půdní vláhy potřebné pro růst a produkci pěstovaných rostlin, v důsledku čehož dochází k redukci sklizní, mluvíme o suchu agronomickém. Při nedostatku vody z hlediska potřeb rostlin o suchu fyziologickém (Seifert, 1994)

Sucho je většinou jevem nahodilým, který se vyskytuje z velké části nepravidelně v období podnormálních srážek s trváním od několika dní až po několik měsíců. Srážkový deficit v určitém časovém intervalu a na určitém místě je v podmínkách České republiky bez výjimky primární příčinou vzniku sucha. Sucho bývá velmi často doprovázeno nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu. Důsledkem těchto faktorů je vyšší výpar (evapotranspirace) a další prohlubování nedostatku vody (www.chmi.cz, 2017).

Klimatické sucho

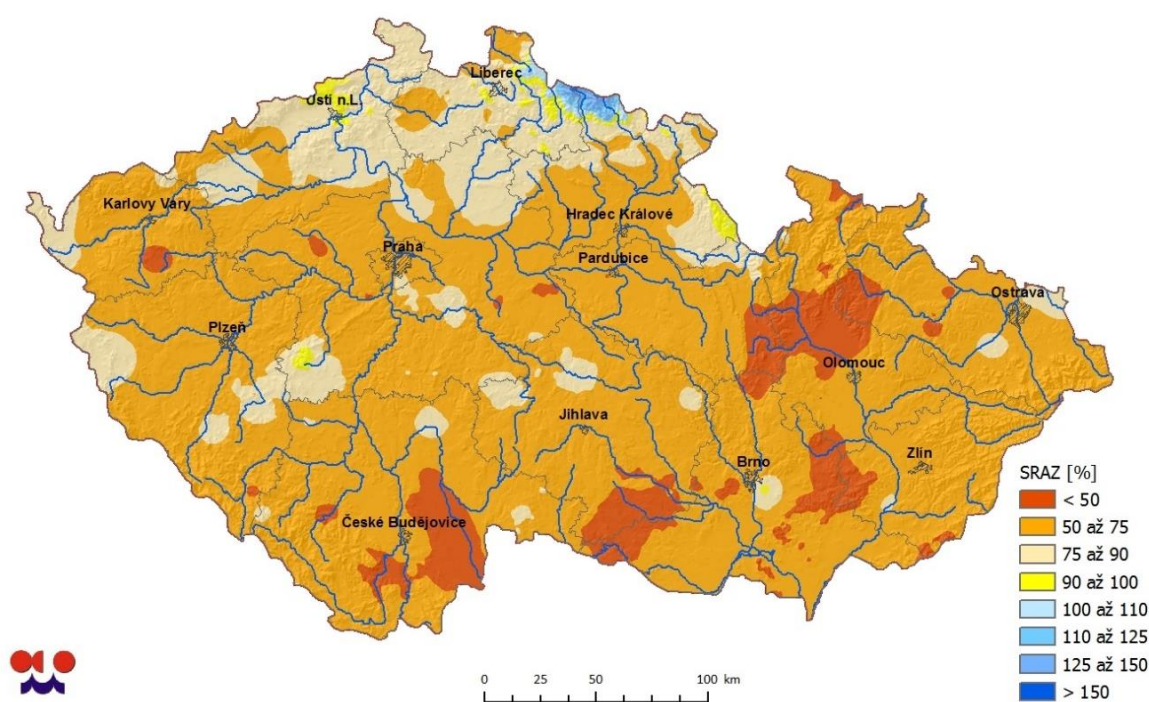
Klimatické sucho se nejčastěji definuje srovnáním srážkových poměrů (méně často poměrů evapotranspiračních nebo bilančních) aktuálního období k období dlouhodobému. Pod pojmem srážkový deficit v tomto případě rozumíme záporný rozdíl mezi množstvím aktuálně spadlých srážek a jejich dlouhodobým průměrem (normálem) za určité časové období. Při hodnocení klimatického sucha je nutno zohledňovat velikost tohoto deficitu včetně časového rozložení srážek v příslušném období (www.chmi.cz., 2017).

Kůdela et al., (2013) definují klimatické sucho jako zápornou odchylku srážek od normálu během určitého časového období, například období 3 měsíců. Součástí klimatického sucha je sucho atmosférické, které je definováno jako nízká relativní vlhkost vzduchu, při které rostliny nejsou schopny nahradit vodu odpařenou transpirací příjmem půdní vody kořenem.

Kromě množství a intenzity spadlých srážek vztažených k dlouhodobým srážkovým poměrům pro dané místo a roční dobu, stanovili mnozí autoři různé definice klimatického sucha pomocí klimatologických indexů, a to v závislosti na dalších meteorologických prvcích (teplota vzduchu, výpar, rychlost větru, sluneční svit, vlhkost vzduchu aj.), jejichž hodnoty

mohou v příslušném období dopady srážkového deficitu na sucho zmírnit nebo naopak výrazně prohloubit. Základním předpokladem identifikace možného klimatického sucha je tudíž srovnávací analýza hodnot vybraných klimatických prvků (především srážek a výparu, resp. evapotranspirace) dosažených v aktuálním období a v dlouhodobém průměru (www.chmi.cz., 2017).

Na obr. 12 jsou zahrnuty srážky na území České republiky ve srovnání úhrnu za období od 1.1. do 5.3. 2017 s dlouhodobým průměrem od roku 1961 do roku 2010. Z mapy vyplývá, že objem srážek dosahuje v procentickém přepočtu, na většině území České republiky pouze 75 % dlouhodobých průměru srážek v sledovaném období.



Obr. 12: Srážky na území ČR od 1.1. do 5.3. 2017 k dlouhodobému průměru

Zdroj: <http://portal.chmi.cz/>

Půdní sucho

Půdní sucho lze obecně definovat jako nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, který způsobuje poruchy ve vodním režimu zemědělských plodin i volně rostoucích rostlin. Nedostatek vody ve svrchních částech půdního horizontu je důsledkem předchozího

nebo ještě nadále trvajících sucha klimatického. Účinky půdního sucha se projevují u jednotlivých druhů rostlin různě, navíc vždy závisí na vývojové fázi rostliny, nárocích na vodu v různých obdobích vývoje, na stáří rostliny apod. Vlhkost půdy je vedle teploty půdy a teploty vzduchu nejdůležitějším meteorologickým faktorem ovlivňujícím vývoj rostlin. Je závislá na množství, intenzitě a časovém rozložení srážek, na výparu a na vlastnostech půdy, v hydrologii vyjadřovaných tzv. hydrolimity (www.chmi.cz., 2017).

Pojem půdní sucho podle Kůdely et al. (2013) zahrnuje následující faktory: nedostatek vody v půdě v oblasti kořenového profilu. V přírodě je obvykle způsobeno vysušováním půdy výparem při déletrvajícím atmosférickém suchu.

Z obr. 13 a 14 vyplývá, že míra ohrožení vodním stresem se v jednotlivých letech (ve stejné dekádě měsíce) velmi liší v hodnotách, které jsou dosahovány. Důvodem těchto rozdílů je odlišný průběh meteorologických jevů, které vznik či průběh půdního sucha ovlivňují.

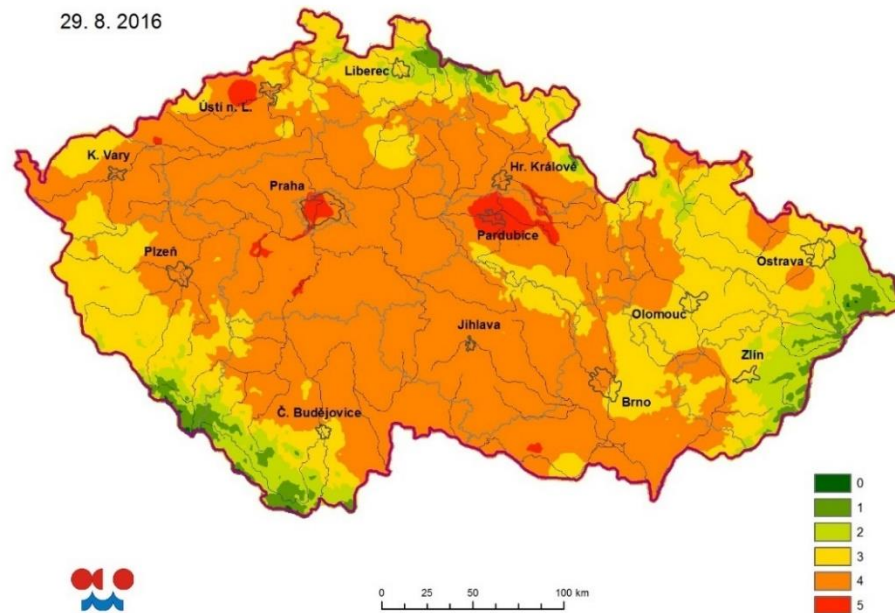
Na obr. 14 je zachycen stav v roce 2015 na území ČR, ze kterého vyplývá, že hrozí střední až vyšší míra půdního sucha na většině území. Zaměříme-li se na obr. 13, který zachycuje stav v roce 2016 na území ČR, zjišťujeme, že hrozí střední až vyšší míra půdního sucha na většině území, zároveň se na tomto obrázku nachází oblasti, která nejsou půdním suchem ohrožena, tento stupeň ohrožení na obrázku z předešlého roku chybí.

Ovšem toto není jediný faktor, který by měl být sledován. Při vysazování rostlin bychom si měli dávat pozor nejen, aby nedocházelo k tomu, že rostlina bude trpět nedostatkem vláhy, ale i na jiných klimatických a půdních podmínkách, abychom rostlinu nevystavovali zbytečnému stresu. Nesmíme však zapomínat, že uvedené mapy nám demonstrují míru ohrožení půdním suchem do hloubky 20 a 40 cm. Proto se tímto budeme řídit v případě rostlin, které mají kratší kořenový systém, nebo kořeny, které rostou spíše do šířky (Kůdela et al.,2013).

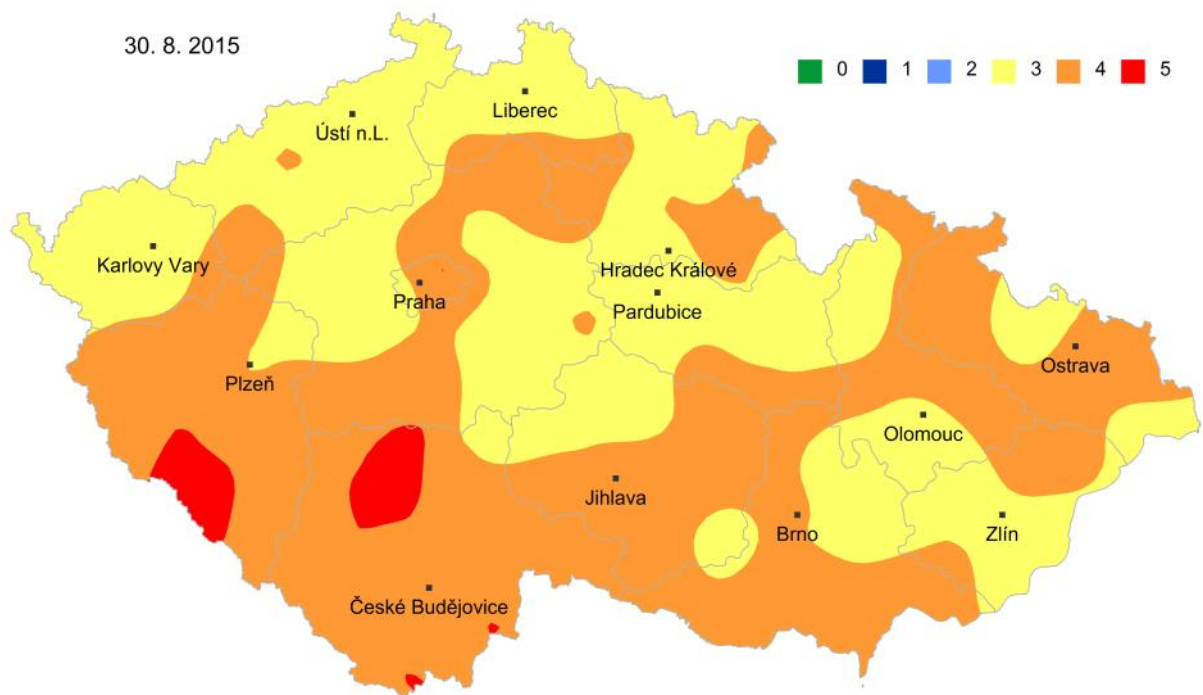
Míra ohrožení půdním suchem

0 - bez ohrožení, 1 - malá, 2 - nízká, 3 - středně velká, 4 - vysoká, 5 - velmi vysoká

Zdroj: <http://portal.chmi.cz>



Obr. 13: Míra ohrožení půdním suchem ve vrstvě 0 až 20 cm



Obr. 14: Míra ohrožení půdním suchem ve vrstvě 0 až 40 cm

Fyziologické sucho

Pojem fyziologické sucho označuje nedostatek půdní vody, která je pro rostliny fyziologicky přístupná, to je volná nebo povrchovými silami jen slabě vázaná. U některých druhů půd nastupuje fyziologické sucho i při celkově značném obsahu půdní vody, příkladem může být půda jílovitá či rašelina. Tím to pojmem lze označit i půdu, ve které se voda nachází v pevném stavu, tedy zmrzlá (Kúdela et al., 2013).

Fyziologické sucho (Met. Slovník., 1993) se definuje jako vliv na, stav vody v půdě a vody v rostlinách, které vedou v omezování růstu rostlin a rostlinné výroby. Jeho vztah k různým typům sucha není jednoznačný. V případě, že nastane meteorologické sucho, nemusí to nutně znamenat, že nastane fyziologické či hydrologické sucho. S tím souvisí, že stadium fyziologického sucha závisí na rostlině, a to zejména na jejím ontogenetickém vývoji. Produkce biomasy se obvykle rozumí jako odnožování částí rostlin. Ale výnos zemědělských plodin, označovaný zemědělská produkce, se rozumí obvykle produkce biomasy konečného produktu například: zrn obilnin, nebo kořenů cukrové řepy. Avšak přesné a kvantitativní vyjádření sucha je obtížné formulovat. Může to znamenat zcela odlišné situaci, v závislosti na hledisku. Pravděpodobně nejdůležitějším aspektem sucha je nedostatek půdní vody a omezování produkce biomasy.

3.5 Vliv vodního deficitu na rostlinu

Dokonce i malé změny v zásobování vodou z půdy mohou zhoršit denní vzory, takto označujeme pravidelné změny vodního potenciálu v závislosti na části dne. V těchto vzorech jsou rostliny náchylné k dehydrataci, stomata jsou otevřená a relativní vlhkost vzduchu je během dne nízká. Oproti tomu rehydratace probíhá v noci, kdy jsou průduchy zavřené. Jestliže období sucha přetrvává a vysušení půdy se stává vážnějším, bude rostlina schopna udržet hydrataci nakonec tak, že zůstanou stomata zavřená. Rostliny se tímto chrání před suchem. Pokud sucho přetrvává delší dobu, upravuje rostlina svůj růst a dehydrataci pomocí ochranných mechanismů, tímto například je zvětšení kořenového systému (tak se zvětší kapacita příjmu vody). Období sucha může zahrnovat i dodatečné stresové faktory, které následně ovlivní růst rostlin. Nicméně je stres suchem definován jako snížená dostupnost vody a snížený vodní potenciál (Kadukova a Kavulicova, 2010).

Pro produkci obilnin, jež jsou hlavními zdroji sacharidů pro světovou populaci, je vodní stres kritický hlavně ve fázích vzcházení, odnožování, růstu a reprodukční fáze a může mít za následek významný pokles výnosu nebo dokonce smrt plodiny (Westgate et al., 1989; Ludlow and Muchow, 1990).

Brestič and Olšovská (2001) členění tvoří na základě fylogenetických stresových jevů a jevů získaných v průběhu individuálního života rostlin, rozdělují stresové reakce do 4 skupin:

- Individuální - vznikající v procesech ontogeneze,
- druhové - fylogenetické rozdíly na stejný druh podráždění,
- populační - vznikající v procesech rychlých změn podmínek prostředí v populacích,
- fytoecologické - reakce různých skupin rostlin nacházejících se v určitých vzájemných interakcích.

Podle Kostreja (1992) může poškození rostlin vyvolat vodní stres těmito způsoby:

1. přímým poškozením v tomto případě mohou být rostliny usmrceny krátkým působením stresu, jako například zamrznutí organismu,

2. nepřímým poškozením. Při dlouhotrvajícím působení stresu nastává zpomalení reakcí, růstu. Může vyvolat určitý deficit nebo produkci toxických látek,

3. poškození sekundárním stresem, kdy při déletrvajícím primárním stresu může nastat sekundární stres, který vyvolá buď přímé, nebo nepřímé poškození. Například stres z vysoké teploty vyvolá vodní deficit, přímo či nepřímo poškozující rostlinu, více než vysoká teplota.

V polních podmínkách jsou rostliny často exponovány různým environmentálním stresem. Při jejich působení je vedle regulace jejich výživného stavu a radiačního režimu pro zajišťování růstově - produkčních funkcí nezbytná především úroveň hospodaření s vodou. Sucho je nejčastějším přirozeným environmentálním limitem, vyvolávající vnitřní vodní deficit, resp. vodní stres. Je faktorem kontrolujícím produktivitu rostlin a determinuje distribuci druhů. I když se výzkum suchovzdornost zaměřuje na strukturální a funkční parametry všech orgánů rostlin, v centru pozornosti zůstávají fotosynteticky aktivní orgány (Brestič, 2001).

Vodní deficit ovlivňuje tvorbu biomasy rostlin ale i tvorbu kvality rostlinné produkce, ke snížení dochází jak v případě nedostatku vody, tak i při přebytku. Příjem potřebné vody se v průběhu vývoje určitého druhu rostliny mění (Kůdela et al., 2013).

Podle Hetherington (2001) je nezbytným předpokladem úspěšného přežívání rostlin ve stresových podmínkách, efektivní regulace výměny plynů. Proto má zásadní význam rozpoznání všech endogenních faktorů, účastnících se přenosu informace mezi kořeny a nadzemní částí rostlin a regulujících otevřenost průduchů a rychlost fotosyntézy. Při působení vodního stresu dochází v listech rostlin k zavírání průduchů. Na regulaci tohoto procesu se podílejí fyzikální a chemické signály.

Téměř všechny procesy v životě rostlin jsou přímo nebo nepřímo ovlivněny jak stresem a fytohormony. Nicméně, na rozdíl od kyseliny abscisové, role hormonů v reakci rostlin na vodní stres není ani zdaleka plně objasněn (Pospíšilová, 2003).

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

Vodivost průduchů a rychlost asimilace CO₂ na jednotku listové plochy se sníží, když dojde ke stresu. Dále je možné, že některé napětí může způsobit částečné zvýšení hladiny kyseliny abscisové v listové pokožce (Jones et al., 2008). Zvýšení objemu kyseliny abscisové (ABA) v xylému anebo v listu a její koncentrace jsou spojovány s vysušením půdy v oblasti kořene (Zhang and Davies, 1989).

Pokud jsou malé a lokalizované změny v koncentraci ABA, na které průduchy reagují, je to způsobeno částečně i v důsledku změn v prostředí, které jsou vyvolené ve schopnosti buněk stonku a různých listových pletiv odfiltrovat a odstranit ABA nebo uvolnit ABA do apoplastického toku (Slovik a Hartung, 1992). Nedostatek vody podle Brestiče a Olšovské (2005) dále vede k inhibici růstu, akumulaci ABA, prolinu, mannitolu a sorbitolu, také k tvorbě složek pro zachycování volných radikálů, k uzavření průduchů a snížení transpirace. Změnám vodního potenciálu pletiv, fotosyntetické činnosti, stejně jako k syntéze nových proteinů.

Hodnota vodního potenciálu, při níž dojde k částečnému zastavení růstu, je odvislá od druhu rostliny. Například k měřitelnému zpomalení růstu u cukrové řepy dojde již při poklesu vodního potenciálu o 0,1 až 0,2 MPa a k úplnému zastavení růstu při poklesu o 0,3 až 0,4 MPa. Při zmenšení vodního potenciálu buněk na hodnoty od -0,4 až -0,8 MPa dochází k okamžitým změnám aktivity enzymů a velmi značnému zvýšení koncentrace kyseliny abscisové. K jejímu hromadění dochází zejména v listech, zde působí na zavírání průduchů (Hejnák a kol., 2004).

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

Osmotické přizpůsobení (adjustace) je podle mnohých autorů jedním z důležitých mechanismů tolerance vůči suchu (Blum et al., 1999). Osmotické přizpůsobení představuje snižování osmotického potenciálu v buňce akumulací molekul rozpustných látek (Munns, 1988). Zvyšuje toleranci k dehydrataci, čímž se prodlužuje doba přežití rostlin v podmínkách silného sucha (Sinclair, 2000). Pouze při podmínkách nižší transpirace (17,8 a 23,2 mg cm⁻² h⁻¹) byla zjištěna kladná korelace mezi poměrem intenzity absorpce vody a intenzity transpirace (Pospíšilová, 1969). Zajišťuje zachování turgoru a jeho ztrátu až při nižších hodnotách vodního potenciálu. To je nutné například pro otevírání průduchů, průběh fotosyntézy a prodlužovací růst (Blum, 1996).

Ashraf et al. (2005) uvádějí, že deficit vody nejčastěji může snížit růst znaků spojených s velikostí a strukturou rostlin. Některé rostliny se brání nedostatku vody tím, že dokončí životní cyklus v období dešťů nebo reprodukují kdykoliv je k dispozici dostatek půdní vlhkosti.

Při omezení růstu v důsledku nedostatku vody, dochází nejprve k pozastavení prodlužovacího růstu buněk (Jones et al., 2008). Levitt (1980) uvádí, že vodní deficit citlivěji ovlivňuje fázi růstu buněk prolongační, než zárodečnou. Jestliže rostlina nepřijímá vhodné množství vody do vakuol, nedochází ke zvětšování obsahu buněčné stěny. Dochází však k přesunům sušiny a to tak, že nové stavební látky jsou vkládány mezi staré buňky kořene a tak k tzv. plošnému růstu buněčných stěn. K úplnému zastavení růstu dochází při snížení vodního potenciálu na hodnoty -0,3 až -0,4 MPa (Jones et al., 2008).

Vysycháním půdy se postupně zhoršuje příjem vody kořenovým systémem, jenž vede ke snižování jejího objemu poutaného v rostlině a k charakteristickým stresovým příznakům. Špatná dostupnost vody je omezujícím faktorem probíhající fotosyntézy a upravuje poměr uhlíku mezi kořeny a novými výnosy (Nielsen and Orcutt, 1996).

Podle Parvaiz (2012) dochází ke škodlivým změnám v buněčných složkách působením vodního deficitu. Biologicky aktivní uspořádání a závisí na prostředí nedotčené hydratací. Důsledkem tohoto je silný osmotický stres, jenž může mít za následek zhoršení tvorby aminokyselin, metabolismu bílkovin, sekundární procesy fotosyntézy a dýchání. Ve výsledku tohoto působení, může dojít ke zhroucení osmotické soustavy buňky. Neutralizování vodního deficitu může být realizováno za pomoci osmoticky aktivních látek. Slouží jako prostředek pro osmotické úpravy a také funkci jako chaperony připojením na proteiny a membrány, čím brání jejich denaturaci.

Na rozdíl od C3 fotosyntézy, odezva C4 fotosyntézy na vodní stres byla méně prostudována navzdory významnému přínosu C4 rostlin do celkového počtu přijímaného uhlíku a bezpečnosti potravin. Klíčovým rysem C4 fotosyntézy je provoz mechanismu CO₂ soustředěn v listech, které slouží k nasycení fotosyntézy a potlačení fotorespirace v normálním vzduchu (Ghannoum, 2009).

Tento autor dále předkládá důkazy naznačující, že C4 fotosyntéza je vysoce citlivá na vodní stres. S klesajícím stavem vody v listech, se snižuje rychlost asimilace CO₂ a vodivost průduchů a fotosyntéza prochází třemi po sobě jdoucími fázemi. Počáteční, zejména průduchová fáze, může, ale nemusí být detekována jako pokles míry asimilace v závislosti na okolních podmínkách. To je proto, že mechanismus akumulace CO₂ je dán schopností nasycení C4 fotosyntézy za relativně nízkých mezi-buněčných koncentracích CO₂. Hlavní faktory nestomatální inhibice zahrnují sníženou aktivitu fotosyntetických enzymů, inhibice asimilace nitrátů, indukce předčasného stárnutí a změny v anatomii listu a ultrastruktury.

Jednou z nadějných látek pro vylepšení tolerance k suchu je kyselina salicylová (Kang et al., 2012). V polní praxi jsou pak již využívány mnohé přípravky, známé pod různými názvy (Sunagreen, Atonik, Hegit, Energen, Lexin a další).

Stresové podmínky způsobují u rostlin specifické odpovědi, které jsou různé v závislosti na intenzitě a typu působícího stresoru. Stresové reakce neprobíhají náhodně, ale

jsou závislé na programech aktivace určitých genů, které mohou být za jistých okolností spuštěny, a to někdy i několika různými mechanismy (Lichtenthaler, 1998).

V reakci na nedostatek vody se v rostlině spouští kaskáda biochemických a fyziologických procesů a morfologických změn, kterými se rostlina adaptuje na sníženou dostupnost vody. Tyto adaptace můžeme pozorovat v porostu jako urychlený vývoj, vadnutí a stáčení listu za horkých větrných dnů nebo rychlejší žloutnutí a opad spodních pater listů (Haberle et al., 2008).

Kořenový systém aktivně ovlivňuje příjem vody a živin a má značný význam pro růst rostlin. S ohledem na zvyšující se počet epizod sucha roste význam kořenů jako výnosotvorného faktoru (Středa et al., 2009).

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

Nedostatek vody je stresový faktor, ovlivňující životní pochody a v extrémním případě může vést k vadnutí až odumření rostliny. Vodní deficit ovlivňuje téměř všechny pochody v rostlinách a například způsobuje:

- zpomalení růstu buněk, buněčného dělení a ovlivnění syntézy buněčné stěny,
- redukci růstu nadzemních částí rostlin, naopak stimulaci růstu kořenů a tím snížení poměru nadzemní části rostliny ku kořenům,
- urychlení stárnutí,
- tvorbu stresových proteinů,
- hromadění osmoticky aktivních látek v pletivech, především prolinu glycinbetainu, cukrů a cukerných alkoholů,
- tvorbu a odstraňování reaktivních forem kyslíku,
- inhibici fotosyntézy, zpomalení translokace asimilátů z listů, redukci respirace,
- ovlivnění aktivity enzymů (především pokles aktivity ribulosa-1,5-bisfosfát-karboxylasa/oxygenasa (Rubisco), fosfoenolpyruvát karboxyláza (PEPC), a nitrátreduktázy, ale naopak zvýšení aktivity hydroláz a dehydrogenáz),
- změny v biosyntéze a katabolizmu některých fytohormonů vedoucí ke změně jejich obsahu (zejména zvýšení obsahu kyseliny abscisové),
- změny v příjmu a transportu iontů (Bláha et al., 2003).

Kovár et al. (2003) uvádí, že schopnost osmotického přizpůsobení k mnoha environmentální stresorům je všeobecně známá téměř u všem organismů. K osmotickému přizpůsobení dochází například akumulací anorganických iontů v symplastu (zejména K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- apod.) nebo látek organické povahy (volné aminokyseliny, rozpustné cukry, karboxylové kyseliny, kvartérní amoniové soli apod.).

Podle Brestiče et al. (2008) je vyhnutí se suchu adaptační mechanismus odvozen od schopnosti rostlin udržet v pletivech vysoký turgor během vodního stresu buď zlepšenou činností kořenové soustavy v příjmu vody či efektivním zavřením průduchů a redukcí neúčinného výparu vody listy, nebo schopností redukovat osmotický a vodní potenciál některými anatomickými a morfologickými charakteristikami a procesy spojenými s osmotickou zhotovení protoplazmy buněk

V současnosti má biotechnologie značný potenciál pro zlepšení suchovzdornosti plodin využitím minimálně 4 základních strategií identifikace mechanismů suchovzdornosti na molekulární úrovni:

- strategie objevování vztahů - v níž se nejdříve identifikuje protein v cílovém organismu, u rostlin rostoucích ve stresových a nestresových podmínkách, pak se izoluje gen zodpovědný za suchovzdornost, tento se převádí do jiného organismu, který nemá vlastnosti a sleduje se, zda se organismus mění na tolerantní,
- strategie interference, kde se transformuje rostlina senzitivní na stres zabudováním genu z jiného organismu a determinuje, zda transformována linie má vlastnosti tolerance,
- strategie protismyslu DNA ("antisense" DNA strategy), v níž se druh tolerantní k suchu transformuje pomocí "antisense" konstruktů, v přítomnosti kterého se neprodukuje žádný protein. Pokud tolerantní linie transformována pomocí "antisense" konstruktů ztratí toleranci, cílový gen pravděpodobně zajistí vlastnost tolerance,
- strategie využívající mutantů, v níž se selekci mutované linie tolerantních druhů bez přítomných znaků tolerance a tyto se transformují s genem s předpokládanou vlastností tolerance (Olšovská, 2008).

4 Metodika

V částečně řízených skleníkových podmínkách byl založen nádobový pokus, který sledoval vliv vodního deficitu na vodní sytostní deficit a vodní potenciál vybraných genotypů juvenilních rostlin čiroku a béru.

4.1 Popis pokusného materiálu

Jako pokusné rostliny byly vybrány čtyři genotypy čiroku a jeden genotyp béru. Osivo bylo získáno z Genové banky VÚRV, v. v. i. v Praze – Ruzyni.

Čirok byl zastoupen genotypy 1216, 304 a dále odrůdami Ruzrok a Bernard Red.

Odrůda Barnard Red byla vyšlechtěna za pomoci volného opylení v Jižní Africe na počátku 40. let 20. století. Výběr byl proveden z čiroku pěstovaného kmenem lidí, kteří ho používají pro sladovnické účely, při výrobě Afrických neprůhledných piv. Tato odrůda má tedy velké využití v pivovarnictví, kdy její slad je velmi podobný ječnému sladu (Beta et al., 2000).

Odrůda Ruzrok byla vyšlechtěna v České republice Výzkumným ústavem rostlinné výroby v. v. i. v Praze - Ruzyni. Jedná se o liniovou, velmi ranou odrůdu, která byla vyselektována ze sběrů na pomezí Slovenska a Moravy. Výnos celkové suché hmoty i výnos celkové zelené hmoty jsou nízké. Odrůda se vyznačuje pro čirok mimořádnou raností dozrávání. Není vhodný pro krmné ani potravinářské využití, neboť obsahuje více než 2 % taninu v sušině zralého zrna. Je určena výhradně pro produkci biomasy a to v zemědělských výrobních oblastech kukuřičné a teplejší řepářské. Jedná se o jedinou českou odrůdu (www.vurv.cz, 2017; www.eagri.cz, 2017).

Genotyp 304 má plné označení IS 30485. Jedná se o genotyp, jenž byl vyselektován v Indii. Tato odrůda je odolná proti chorobám (npgsweb.ars-grin.gov, 2017a).

Genotyp 1216 je registrován pod označením DOKOK nebo Mf.G.F.:1216. Svým habitem patří mezi méně vzrůstné genotypy čiroku, je rezistentní proti chorobám. Do genofondu genové banky byl zařazen v roce 1959, jako dar od Argentiny (npgsweb.ars-grin.gov, 2017b).

Bér byl zastoupen odrůdou Ruberit, která je jedinou vyšlechtěnou odrůdou této plodiny v České republice. Jeho šlechtění probíhalo ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby v. v. i. v Praze – Ruzyni. Odrůda byla vyselektována z kolekce genetických zdrojů bėru. Tato perspektivní odrůda bėru rozšiřuje množství možných pěstovaných plodin pro zemědělskou praxi k využití pro tvorbu biomasy. Nabízí se také využít zrna pro potravinářský průmysl (www.vurv.cz, 2017; www.eagri.cz, 2017).

4.2 Založení pokusu

Nádobový pokus (obr. 15) byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Rostliny byly pěstovány za přirozených světelných podmínek. Rostliny byly vysévány metodou postupného výsevu po dobu 14 dnů. Rozměry nádob, v nichž byly pěstovány vybrané odrůdy čiroku a bėru, byly 11x11 cm, kdy do každé nádoby byla zasetá pouze jedna rostlina.



Obr. 15: Založení porostu

Zdroj: foto Autor (2015)

Juvenilní rostliny čiroku a béru byly pěstovány ve směsi písku a zahradního substrátu, v poměru 1:2. Zahradní substrát je jemný (maximálně 10 % částic nad 10 mm), udržující vzdušnost prostředí, neslévavý, nezasolený, pH ve vodném roztoku 5,5 – 6,5, bez plevelů a škůdců, obsahující 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku. V nádobách byl zahradní substrát s upravenou reakcí, kdy jeho optimální pH je od 5,5 – 6. Spalitelné látky min. 35 %, částice nad 25 mm max. 5 %, N 80 – 120 mg; P₂O₅ 50 – 100 mg; K₂O 100 – 150 mg. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg.kg⁻¹ sušiny: Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (Hrktová, 2016).

Schéma pokusu zahrnovalo čtyři varianty. První varianta byla kontrolní (KK) (obr.16). Rostliny pěstované v této variantě byly zavlažovány po celou dobu pokusu. Množství závlahy vody odpovídalo 70 % polní vodní kapacity, to znamená, že každá rostlina byla zalévána přibližně 250 ml vody.

Druhá varianta byla označena KS (obr. 17) a rostliny v této variantě byly zavlažovány po dobu prvních deseti dní. Poté následovalo období bez závlahy, navozeného postupným vysycháním substrátu.

Třetí varianta měla označení SK (obr. 18). Tato varianta byla navrhována tak, že prvních deset dní pokusu byla stresována a od jedenáctého dne až do ukončení pokusu již byla plně obnovena zálivka na úroveň kontrolních rostlin.

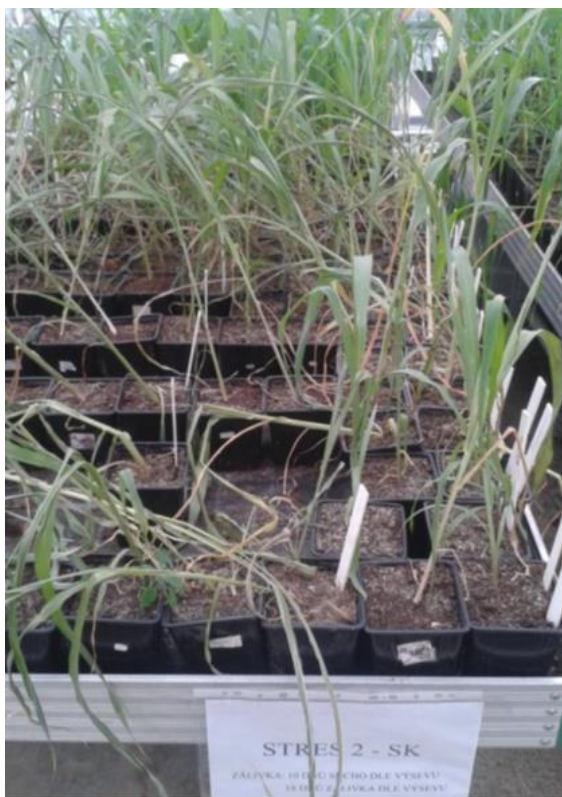
Čtvrtá varianta byla označena SS (obr. 19). Takto označená varianta byla rozdělena do dvou identických časových bloků. První blok byl tvořen 10 dny navozeného vodního deficitu, který byl poté vystřídán obnovením zálivky na úroveň kontrolních rostlin po dobu 4 dnů. Po tomto období následoval druhý blok, který byl opět představován 10 dny vodního deficitu a 4 dny zálivky. Pokus byl zahájen při vytvoření pěti pravých listů.



Obr. 16: Varianta KK



Obr. 17: Varianta KS



Obr. 18: Varianta SK



Obr. 19: Varianta SS

4.3 Měření fyziologických charakteristik

Vzorky pro měření fyziologické charakteristiky byly odebírány, každý druhý den. Celkový počet odběrů byl 15, při zachování 3 opakování.

4.3.1 Vodní sytostní deficit

Při oddělení listu od rostliny a vadnutí bez přísunu vody je VSD nejvyšší u mladých a nejnižší u starých listů. Při odříznutí celé rostliny vadnou listy různého stáří v podstatě stejnou rychlostí. Při pomalém vadnutí rostliny in situ, indukovaném snižováním půdní vlhkosti, byla počínaje středními hodnotami VSD, tj. průměrně od 8 až 20 % stanovena velmi zřetelná preference mladých listů v zásobování vodou. Při celkovém nedostatku vody v rostlině nejprve silně vadnou a později odumírají starší a dospělé listy. VSD mladých listů se dlouho udržuje na poměrně nízkých hodnotách. Tento průběh vadnutí rostliny in situ byl stanoven jak přímým měřením VSD, tak i nepřímým stanovením poklesu procentuálního obsahu vody v listech. Na zjištěné preferenci mladých listů v zásobování vodou se uplatňuje i translokace vody do mladých listů z vadnoucích listů starších (Čatský, 1962).

Vodní sytostní deficit (VSD) udává, kolik vody rostlin nebo její části chybí do maximálního nasycení. Vyjadřuje se v % a vypočítává se dle následujícího vzorce:

$$VSD\% = \frac{\text{hmotnost po nasycení vodou} - \text{čerstvá hmotnost}}{\text{hmotnost po nasycení vodou} - \text{hmotnost sušiny}} \cdot 100$$

4.3.2 Osmotický potenciál

Osmotický potenciál byl stanoven, měřením jednotlivých odebraných vzorků, pomocí přístroje WP4C (obr. 19). Tento přístroj je určen nejen k určování osmotického potenciálu u rostlin, ale i vzorků půdy. Hodnoty, které tímto přístrojem naměříme u rostlinného materiálu, se mohou pohybovat v rozmezí od -0,1 až do -300 MPa. Měření jednoho rostlinného vzorku trvá v průměru 20 minut. Přístroj před měřením odebraných vzorků je nutné nakalibrovat pomocí 0,5 M roztoku NaCl. Následně se uskuteční kontrola kalibrace, a to za použití

destilované vody. Při tomto kontrolním měření přístroj naměří hodnotu 0 MPa, a tím to je ověřena správnost nastavení přístroje.

WP4C používá techniku chlazeného zrcadla rosného bodu pro měření potenciálu vody ve vzorku. Vzorek uložený do prostoru měřící komory, která je pro plyn uzavřená a která obsahuje zrcadlo a prostředek detekci kondenzace na zrcátku. V rovnovážném stavu je vodní potenciál vzduchu v komoře stejný jako vodní potenciál vzorku. Detekce přesného okamžiku, kdy se nejprve objeví kondenzace na zrcadle je rozpoznán pomocí fotosnímače. Paprsek světla směřuje na zrcadlo a odráží do fotodetektoru. Fotodetektor snímá změny v odrazivosti při kondenzaci docházející na zrcadle. Termočlánek připojený k zpětné zrcátko a potom zaznamenává teplota, při které ke kondenzaci dochází. Hodnoty začínají být zobrazeny na displeji, což znamená, že měření probíhá. WP4C pak signalizuje vy blikající zelenou LED a pípání při dosažení konečné hodnoty. V tomto okamžiku se zobrazí konečný potenciál vody a teplota vzorku (manuál k přístroji, 2017).



Obr. 20: Přístroj WP4C

Zdroj : foto Autor (2016)

5 Výsledky

Pokusným materiálem se staly rostliny čiroku a béru, odrůdami Ruzrok, Bernard Red, Ruberit a genotypy 1216, 304, ve vývojové fázi pěti pravých listů. Jednalo se o nádobový pokus, kdy v každé nádobě byla pouze jedna rostlina čiroku a béru. Nádoby byly po celou dobu pokusu umístěny ve skleníku s částečně řízenými podmínkami. Stanovení osmotického potenciálu bylo uskutečněno na přístroji WP4C a VSD bylo stavováno metodou podle Čatského a následným výpočtem ze získaných hodnot.

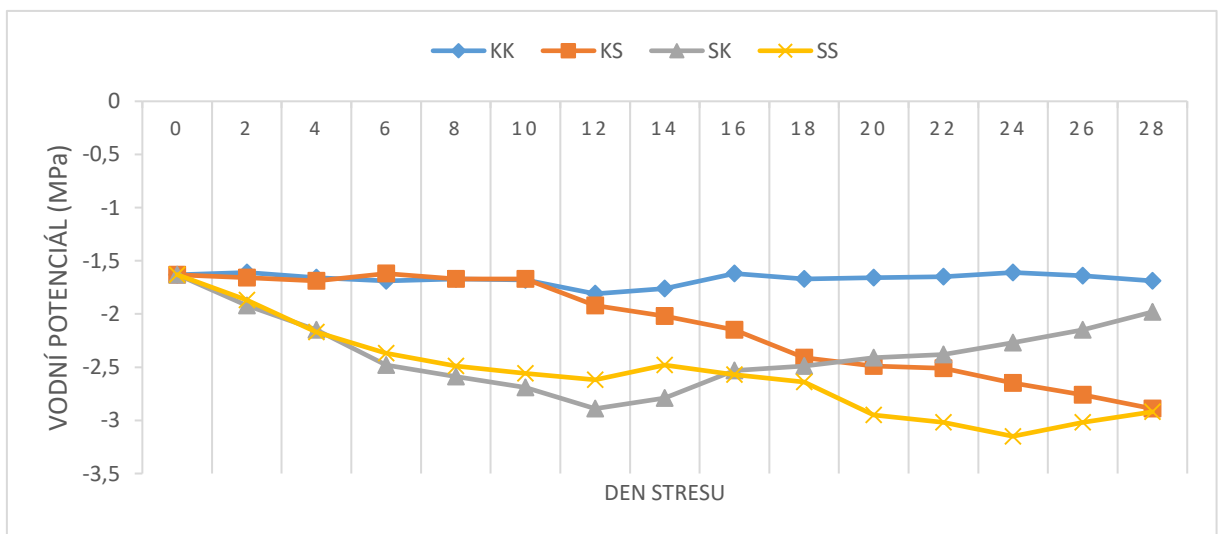
5.1 Osmotický potenciál

Z grafu 1 je patrné, že osmotický potenciál u genotypu 304 měl u kontrolní varianty (KK) přibližně lineární průběh od počátku pokusu. Hodnota osmotického potenciálu naměřená při zahájení pokusu byla $-1,63$ MPa a na jeho konci $-1,69$ MPa. Rozdíl u této varianty činil $-0,03$ MPa. Nejvyšší pokles hodnoty byl zaznamenán 12. den stresu, kdy naměřená hodnota dosáhl $-1,81$ MPa.

U rostlin pěstovaných ve variantě KS, byla hodnota naměřena v prvních 12. dnech pokusu podobná hodnotám naměřených u kontrolní varianty, kdy například 8. den byl vodní potenciál ve výši $-1,67$ MPa. Po navození vodního stresu je možné již po dvou dnech jeho působení zaznamenat první snížení na hodnotu $-2,02$ MPa. S postupným vysycháním substrátu a zvyšujícím se vodním deficitem dochází k výraznější změně ve vodním potenciálu listů, tím že se jeho hodnoty osmotického potenciálu snižují. Z grafu 1 je dále patrné, že první výrazný pokles v hodnotě osmotického potenciálu je možné zaznamenat mezi 16. a 18. dnem pokusu, kdy byl naměřen pokles z hodnoty $-2,15$ MPa na hodnotu $-2,45$ MPa. Jedná se o snížení $0,3$ MPa. V důsledku prohlubujícího se nedostatku vody v substrátu dochází k postupnému poklesu hodnoty vodního potenciálu, kdy na konci sledovaného období byla hodnota osmotického potenciálu $-2,92$ MPa. Rozdíl mezi 12. a 28. dnem pokusu byl -1 MPa.

Rostliny čiroku genotypu 304 pěstované nejprve v podmínkách vodního deficitu a následné rehydratace (varianta SK) vykazovaly opačný trend změn v hodnotách osmotického potenciálu v porovnání s předcházející variantou, jak dokládá graf 1. Z něho vyplývá, že po

navození vodního deficitu po dobu 14. dnů dochází k jeho postupnému snižování. Před zahájením pokusu byla jeho hodnota ve výši -1,63 MPa. Do 6. dne působení vodního stresu hodnota osmotického potenciálu klesá téměř lineárně. V porovnání s hodnotou na počátku pokusu byla hodnota osmotického potenciálu v 6. dnu stresu nižší o 0,85 MPa. V následujících dvou termínech měření byl pokles osmotického potenciálu listů pozvolný a k nejvýraznějšímu snížení došlo ve 12. dnu stresu, kdy vodní potenciál byl ve výši -2,89 MPa. Po obnovení zálivky na úroveň kontrolních rostlin dochází k postupnému zvyšování osmotického potenciálu z hodnoty -2,79 MPa (14. den) na hodnotu -1,98 MPa (28. den), přičemž je možné zaznamenat dvě období zvyšování této charakteristiky. První zvýšení je dle grafu 1 bezprostředně po obnovení zálivky, mezi 14. a 16. dnem, kdy naměřené hodnoty osmotického potenciálu byly -2,79 MPa a -2,53 MPa. Druhé zvýšení nastává mezi 18. dnem (-2,49 MPa) a 28. dnem pokusu (-1,98 MPa). Rostliny i po obnovení zálivky měly nižší hodnotu osmotického potenciálu ve srovnání s rostlinami kontrolními.

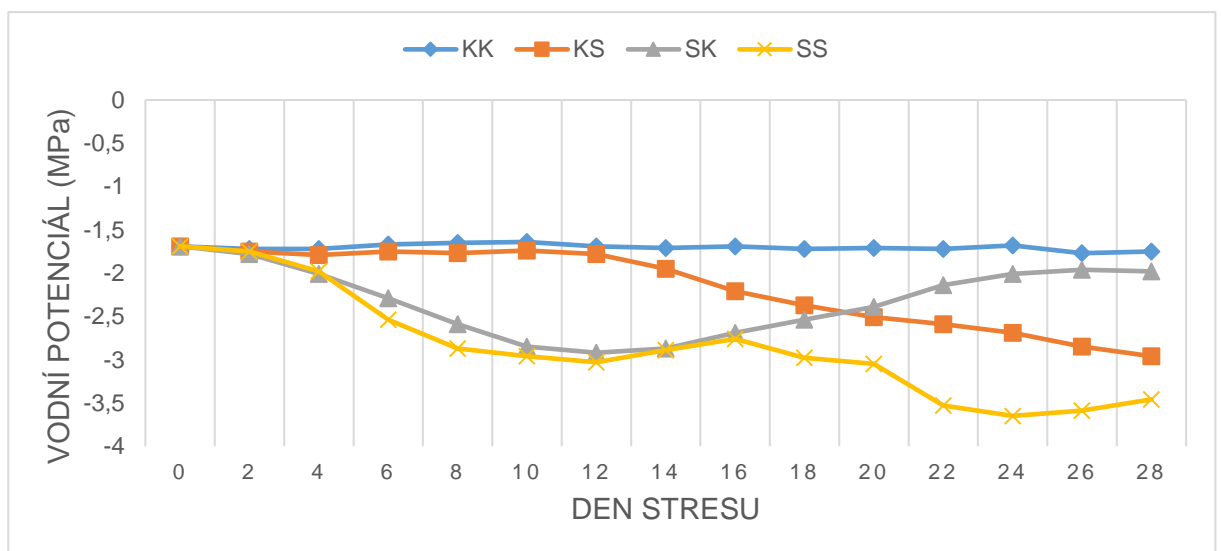


Graf 1: Osmotický potenciál (MPa) v listech genotypu 304 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu

Rostliny rostoucí ve variantě SS, tedy se střídajícím se obdobím vodního deficitu a zálivky reagovaly na vodní deficit nejprve poklesem osmotického potenciálu z hodnoty -1,63 MPa (1.den) na hodnotu -2,56 MPa (10.den), přičemž vodní potenciál mezi 8. a 10. dnem se měnil pouze nepatrně. Po obnovení zálivky ve 12. dnu pokusu nebyla zaznamenána výrazná změna v hodnotě osmotického potenciálu v porovnání s předcházejícím obdobím.

Rozdíl mezi 12. a 10. dnem byl pokles o 0,06 MPa. Výrazné zvýšení osmotického potenciálu bylo zaznamenáno 4. den rehydratace, kdy jeho naměřená hodnota činila -2,48 MPa, jak dokumentuje graf 1. Z uvedeného grafu je dále patrné, že po opětovném navození vodního deficitu dochází nejprve k postupnému snižování osmotického potenciálu až do 18. dne (-2,64 MPa) a poté je zaznamenán výrazný pokles osmotického potenciálu až na hodnotu -3,15 MPa (24. den). Po obnovení zálivky se opět hodnota osmotického potenciálu zvyšuje až na hodnotu -2,92 MPa, která byla naměřena 4. den po obnovení zálivky.

Z grafu 2 je patrné, že osmotický potenciál v kontrolní variantě genotypu 1216 dosahuje téměř lineárního průběhu. Hodnota při zahájení pokusu byla -1,69 MPa. V den ukončení pokusu byla hodnota osmotického potenciálu -1,75 MPa, rozdíl mezi nimi činí pokles o 0,06 MPa ve prospěch hodnot získaných při zahájení pokusu. Mezními hodnotami osmotického potenciálu naměřenými u této varianty je ta nejvyšší z desátého dne pokusu (-1,64 MPa) a nejnižší hodnota byla zjištěna dvacátý šestý den pokusu (-1,77 MPa).



Graf 2: Osmotický potenciál (MPa) v listech genotypu 1216 v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu

V případě rostlin z varianty KS tohoto genotypu je patrné, že na základě zálivky, která byla uskutečněna v prvních deseti dnech pokusu, je osmotický potenciál vyrovnán. Hodnota osmotického potenciálu -1,69 MPa naměřena první den je zároveň nejvyšší hodnotou této varianty. U rostlin tohoto genotypu pozorujeme zřetelný pokles oproti předchozímu měření osmotického potenciálu až 4 den po ukončení zálivky, kdy byla naměřena hodnota -1,95 MPa. V následujících 14 dnech pokusu graf 2 znázorňuje pokles hodnot osmotického potenciálu.

Tento se 28. den pokusu zastavil až na hodnotě -2,96 MPa . Z grafu 2 je dále patrné, že postupným vysycháním substrátu dochází ke zdatelnému poklesu osmotický potenciálu listů u tohoto genotypu.

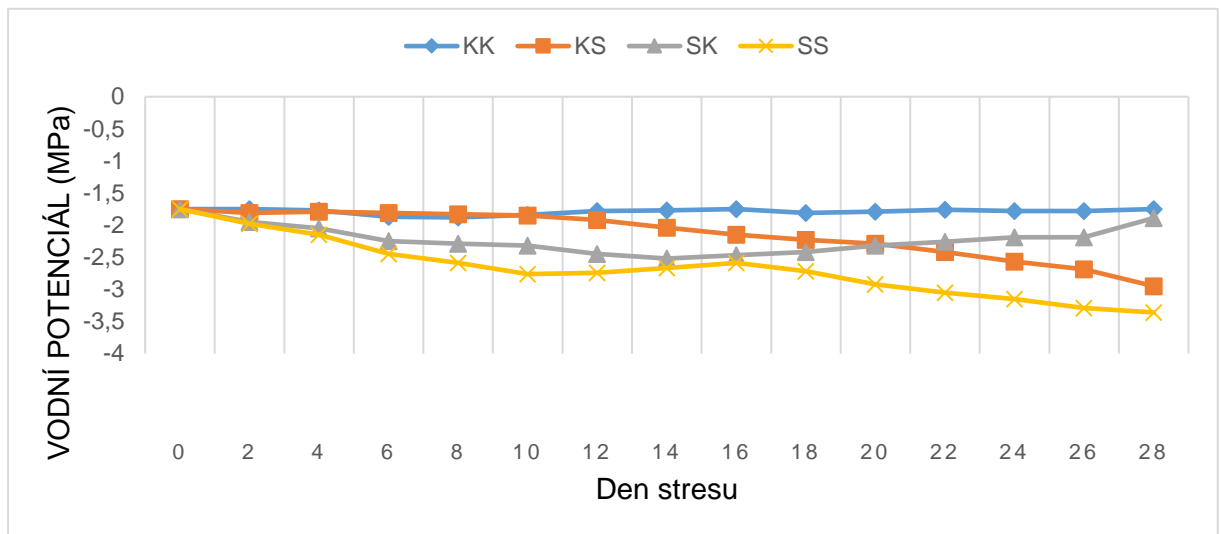
Z uvedeného grafu dále vyplývá, že rostliny genotypu 1216 pěstované ve variantě SK dosáhly nejvyšší hodnoty osmotického potenciálu prvního dne pokusu, kdy naměřená hodnota osmotického potenciálu činila -1,69 MPa, stejně jako je tomu u varianty KS. Pokles u této varianty trvá po celou dobu trvání bez závlivky. Toto období končí 10. dnem pokusu, avšak pokles pokračuje i 12 dnem, kdy byla naměřena hodnota -2,92 MPa. Ačkoliv obnovení závlivky nastalo již 10. den pokusu, slabý nárůst osmotického potenciálu pozorujeme až 14. den, kdy jeho hodnota byla -2,87 MPa. Výrazný nárůst osmotického potenciálu v následném období měl trend postupného poklesu až do konce pokusu, toto potvrzují hodnoty dosažené ve sledovaném období, kdy 18. den je hodnota osmotického potenciálu -2,54 MPa. Měření 24. den potvrzuje nárůst osmotického potenciálu na hodnotu -2,01 MPa. Při ukončení pokusu byla naměřena hodnota osmotického potenciálu ve výši -1,98 MPa. Rozdíl mezi prvním a posledním dnem pokusu činil 0,29 MPa.

Rostliny genotypu 1216 rostoucích ve stresované variantě (SS) vykázaly mezi prvním a druhým měření pouze mírné snížení hodnoty osmotického potenciálu, a to z hodnoty -1,69 MPa na -1,75 MPa. Toto je zapříčiněno tím, že před zahájením pokusu byl substrát plně nasycen vodou. V následných termínech měření se hodnota osmotického potenciálu v důsledku působení vodního deficitu snižovala, viz graf 2.

Na konci prvního období působení vodního deficitu byla dosažena hodnota osmotického potenciálu -2,96 MPa. Po obnovení závlivky po dobu 4 dnů byl zaznamenán v prvních dvou dnech pokračující pokles osmotického poklesu, v následujících 4. dnech pokusu bylo zaznamenáno zvýšení hodnot osmotického potenciálu na -2,76 MPa (16. den). Následuje opětovný pokles hodnot až na hodnotu -3,65 MPa (24. den). V následujících dvou odběrech je pozorován nárůst hodnot. Hodnota osmotického potenciálu při ukončení pokusu byla -3,46 MPa. Rozdíl mezi prvním dnem a 28. dnem je 1,77 MPa. U této varianty vodní potenciál zaznamenává pokles v období stresu suchem, na první závlivku tento genotyp reaguje se zpožděným nárůstem, při druhém obnovení závlivky v závěru pokusu dochází okamžitému nárůstu vodního potenciálu, jak dokumentuje graf 2.

Osmotický potenciál odrůdy Ruzrok je uveden v grafu 3, z něhož vyplývá, že kontrolní rostliny, které byly zavlažovány po celou dobu trvání, v průměru dosáhly hodnoty

osmotického potenciálu -1,78 MPa. Hodnota osmotického potenciálu -1,75 MPa byla dosažena opakovaně během pokusu, a je to zároveň maximální dosažená hodnota. Nejvyšší pokles byl zaznamenán 8. den a to na hodnotu -1,88 MPa.



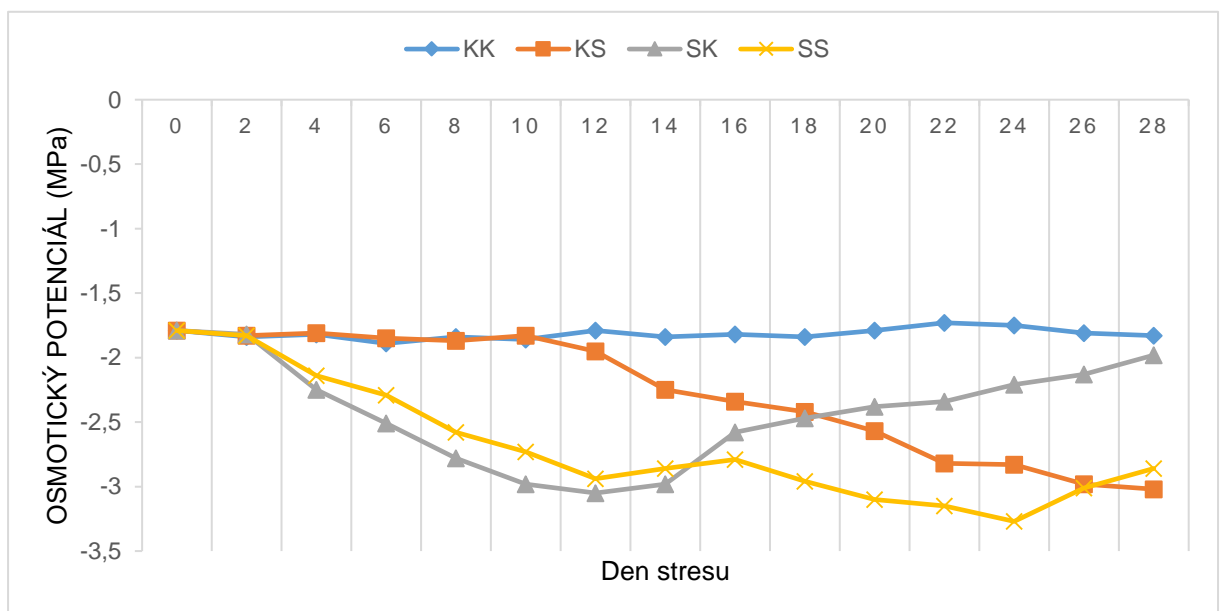
Graf 3: Osmotický potenciál (MPa) v listech genotypu Ruzrok v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu

Rostliny odebírané z varianty KS měly zpočátku vyrovnané hodnoty osmotického potenciálu, neboť v prvních deseti dnech pokusu byly rostliny sledované varianty zavlažovány. Dvanáctým dnem pokusu, byl zaznamenán pokles na hodnotu -1,92 MPa. Tím začíná období, kdy rostlina reaguje na nedostatek vody v substrátu, postupným snižováním hodnot vodního potenciálu, a to až do 28. dne, kdy byla naměřena hodnota -2,92 MPa. Z výše uvedeného grafu je patrné, že tento pokles byl mezi jednotlivými měřeními pozvolný. Výrazně vyšší pokles pozorujeme mezi 26. a 28. dnem pokusu, kdy rozdíl v hodnotě osmotického potenciálu činil 0,26 MPa.

Pěstování rostlin ve variantě SK spočívalo v tom, že prvních 10 dnů byly rostliny vystaveny stresu suchem, z tohoto vyplývá, že získané hodnoty měly v prvních 14. dnech pokusu klesající tendenci hodnot osmotického potenciálu. Na počátku sledovaného období dosahoval osmotický potenciál hodnoty -1,75 MPa, což je zároveň maximální hodnota dosažená u této varianty. Po obnovení závlivky (10. den) pokračuje trend poklesu hodnot, kdy nejnižší naměřená hodnota činila -2,52 MPa (14. den). Od 16. dne stresu pozorujeme nárůst osmotického potenciálu až na hodnotu -2,19 MPa (24. den). Tato hodnota byla zjištěna i 26. den stresu, při odběru a měření 28. den byl zaznamenán výrazný pokles osmotického potenciálu na hodnotu -1,89 MPa, jak je patrné z grafu 3.

Pozorováním průběhu spojnicové grafu varianty SS zjišťujeme, že nejvyšší dosažená hodnota osmotického potenciálu byla při zahájení pokusu (-1,75 MPa). Druhý den stresu se již osmotický potenciál snížil na hodnotu -1,98 MPa. V následných 8 dnech pokusu je patrný pokles vodního potenciálu, kdy 10. den pokusu byla naměřená hodnota osmotického potenciálu -2,76 MPa. V tomto termínu měření byla též obnovena zálivka. Osmotický potenciál dosažený na konci období rehydratace, činil -2,59 MPa. Po opětovném navození vodního deficitu v substrátu se osmotický potenciál stále snižoval až do ukončení pokusu, kdy dosáhl hodnoty -3,36 MPa. Graf 3 dokládá, že po druhém obnovení zálivky (24. den stresu) pokračuje trend poklesu hodnot vodního potenciálu.

Na základě grafu 4, lze u kontrolní varianty (KK) odrůdy Bernard Red pozorovat téměř lineární průběh hodnot osmotického potenciálu, většina naměřených hodnot osmotického potenciálu se pohybuje v průměrných hodnotách -1,82 MPa. Uvedený graf dále zaznamenává dva body se znatelným nárůstem osmotického potenciálu oproti předchozím měřením i oproti průměru 12. (-1,78 MPa) a 22. den stresu (-1,76 MPa). Hodnota osmotického potenciálu 0. den pokusu byla -1,79 MPa. Pokles na nejnižší hodnotu byl zaznamenán 6. den stresu -1,89 MPa. Dvacátý osmý den byla stanovena hodnota osmotického potenciálu ve výši -1,83 MPa. Rozdíl mez 0. a 28. dnem stresu u této varianty činil 0,04 MPa.



Graf 4: Osmotický potenciál (MPa) v listech genotypu Bernard Red v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu

Pozorujeme-li variantu KS, v grafu 4 můžeme konstatovat, že hodnoty naměřené v prvních 10. dnech pokusu odpovídají přibližně hodnotám naměřených u kontrolní varianty. Toto je možné díky stejnému vodnímu režimu těchto dvou variant. Nejvyšší osmotický potenciál je 0. den (-1,79 MPa). U hodnoty z 2. dne po ukončení závlivky je patrný pokles na hodnotu -1,95 MPa. Rychlost poklesu je výrazná mezi 18. a 22. dnem pokusu, kdy nastal pokles z -2,42 MPa na -2,82 MPa, tedy přibližně pokles o 0,1 MPa na den stresu. Nejnižší hodnotu osmotického potenciálu pozorujeme poslední den pokusu -3,02 MPa. Rozdíl mezi nejvyšší hodnotou a dvacátým osmým dnem pokusu je 1,23 MPa,

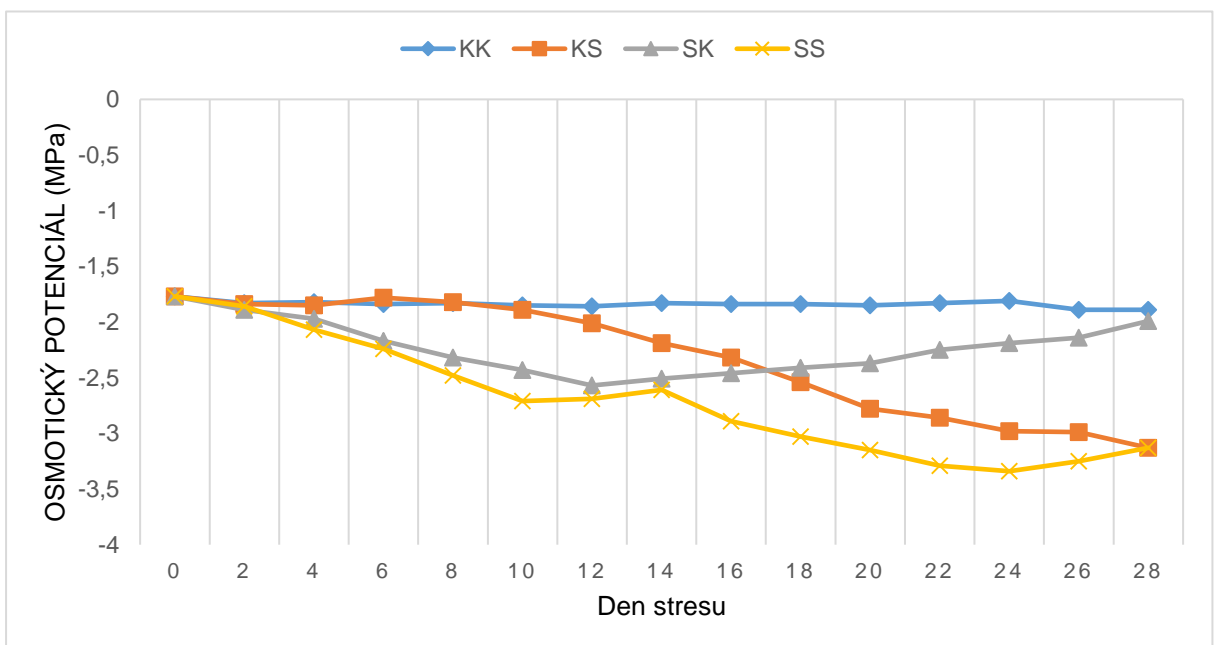
Ve variantě vodní stres s následným režimem závlahy (SK) pozorujeme, že v prvních dvanácti dnech dochází k poklesu osmotického potenciálu. Na počátku pokusu byl osmotický potenciál -1,79 MPa a při měření 4. den se snížil na hodnotu -2,14 MPa. Započatý trend poklesu osmotického potenciálu se nemění ani s obnovení závlivky od 10. dne pokusu. Toto dokumentuje i skutečnost, že nejnižší hodnota osmotického potenciálu byla naměřena 12. den (-3,05 MPa). Tato změna závlahového režimu se pozitivně projevila, až od 4. dne po obnovení závlahy, kdy hodnota osmotického potenciálu byla -2,98 MPa a nadále se zvyšovala až do ukončení pokusu -1,98 MPa. Toto zvýšení bylo způsobeno rehydratací. U této varianty je rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou osmotického potenciálu 1,26 MPa, viz graf 4.

Rostliny genotypu Bernard Red pěstované ve stresované variantě (SS) vykázaly mezi prvním a druhým měření pouze mírné snížení hodnoty osmotického potenciálu, a to z hodnoty -1,79 MPa na -1,83 MPa. Od tohoto termínu měření v důsledku působení vodního deficitu se hodnota osmotického potenciálu snižovala. Na konci prvního období působení vodního deficitu byla dosažena hodnota -2,73 MPa. Po obnovení závlivky po dobu 4 dnů byl zaznamenán v prvních dvou dnech pokračující pokles osmotického potenciálu, kdy jeho hodnota činila -2,94 MPa. V následujících dvou dnech závlivky a dvou dnech stresu bylo zaznamenáno zvýšení hodnot osmotického potenciálu, kdy 16. den činí vodní potenciál -2,79 MPa. Následuje opětovný pokles hodnot až na hodnotu -3,27 MPa (24. den), toto je způsobeno opětovným působením vodního stresu. V následujících dvou odběrech je pozorován nárůst hodnot vodního potenciálu. Hodnota při ukončení pokusu dosáhla -2,86 MPa. U této varianty osmotický potenciál klesá v období stresu suchem, na první obnovení závlivky reaguje se opožděným nárůstem osmotického potenciálu, v případě druhého obnovení dochází k navýšení okamžitě, jak dokumentuje graf 4.

Z grafu 5 je patrné, že osmotický potenciál u odrůdy Ruberit, béru italského měl u kontrolní varianty (KK) přibližně lineární průběh od počátku až do konce pokusu. Hodnota naměřená při nultém dnu pokusu byla -1,77 MPa a při ukončení dosáhl vodní potenciál hodnoty -1,89 MPa. Nejvyšší hodnota je ta z 0. dne pokusu a nejnižší dosažená hodnota byla dosažena 26. a poslední den pokusu. Rozdíl u této varianty mezi 0. a 28. dnem činí 0,12 MPa.

Průběh hodnot osmotického potenciálu rostlin pěstovaných ve variantě KS v období závlivky má lineární průběh, který přibližně kopíruje hodnoty kontrolní varianty. Hodnota 0. den stresu je stejná jako u varianty KK a je zároveň nejvyšší dosaženou hodnotou i v této variantě. Dvanáctým dnem stresu pozorujeme počátek poklesu hodnot osmotického potenciálu (-2,01 MPa). Nejvyšší rychlost poklesu osmotického potenciálu je zřetelná mezi 18. a 20. dnem pokusu, kdy nastal pokles z -2,41 MPa na -2,78 MPa. Nejnižší hodnota osmotického potenciálu byla určena poslední den stresu (-3,13 MPa). Rozdíl mezi nultým a dvacátým osmým dnem pokusu je -1,36 MPa, viz graf. 5.

Odrůda Ruberit pěstovaná v modelu SK, dosahuje v době působení stresu a v následných 2 dnech po opětovném zahájení závlivky, klesající trend hodnot osmotického potenciálu. Toto dokazují hodnoty naměřené v tomto období, tedy při zahájení pokusu byl osmotický potenciál -1,77 MPa a 6. den stresu dosáhl snížení na hodnotu -2,17 MPa. Nejnižší hodnota osmotického potenciálu byla naměřena 12. den (-2,57 MPa). V následném období



Graf 5: Osmotický potenciál (MPa) v listech genotypu béru v závislosti na délce působení stresoru a variantě pokusu

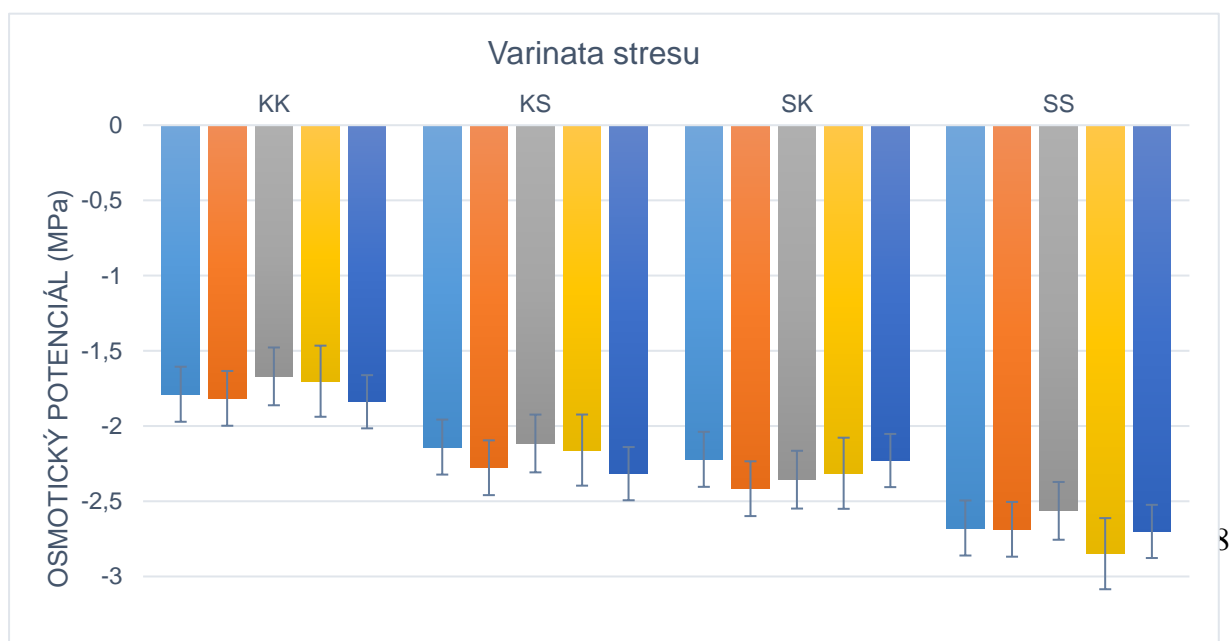
došlo ke zvratu v trendu a osmotický potenciál se počal zvyšovat. Již hodnota ze 14. dne stresu (-2,51 MPa) dokazuje tuto změnu, která trvala až do ukončení pokusu (-1,99 MPa).

Rostliny odrůdy Ruberit pěstované ve variantě SS vykázaly mezi prvním a druhým měřením pouze mírné snížení hodnoty osmotického potenciálu, a to z hodnoty -1,77 MPa na -1,86 MPa. Od tohoto termínu měření v důsledku působení vodního deficitu se hodnota osmotického potenciálu snižovala. Na konci prvního období působení vodního deficitu byla dosažena hodnota -2,71 MPa. Po obnovení závlivky po dobu 4 dnů byl zaznamenán nárůst hodnot osmotického potenciálu na -2,61 MPa (14. den). Následuje opětovný pokles hodnot osmotického potenciálu až na hodnotu -3,34 MPa (24. den), toto je způsobeno opětovným působením nedostatku vody v substrátu. V následujících dvou odběrech je pozorován nárůst hodnot. Hodnota osmotického potenciálu při ukončení pokusu byla -3,13 MPa. U této varianty osmotický potenciál klesá vždy v období stresu suchem, na závlivku reaguje nárůstem hodnot, jak dokumentuje graf 5.

Graf 6 zachycuje porovnání průměrů jednotlivých variant pokusu u všech genotypů. Dále z tohoto grafu vyplývá, že mezi sledovanými genotypy byly nalezeny rozdíly v osmotickém potenciálu u variant KK. Nejvyšší průměrnou hodnotou osmotického potenciálu v této variantě měla odrůda béru Ruberit (-1,84 MPa). Nejnižší průměrnou hodnotu osmotického potenciálu měl širok genotypu 304 (-1,67 MPa).

V případě rostlin z varianty KS byly již nalezeny značné rozdíly mezi pozorovanými genotypy, neboť nejvyšší průměrná hodnota osmotického potenciálu byla zjištěna u odrůdy béru Ruberit (-2,32 MPa) a naopak nejnižší u genotypu široku 304 (-2,11 MPa).

Z uvedeného grafu je dále patrný rozdíl v hodnotách osmotického potenciálu mezi



Graf 6: Vliv genotypu na osmotický potenciál (MPa)

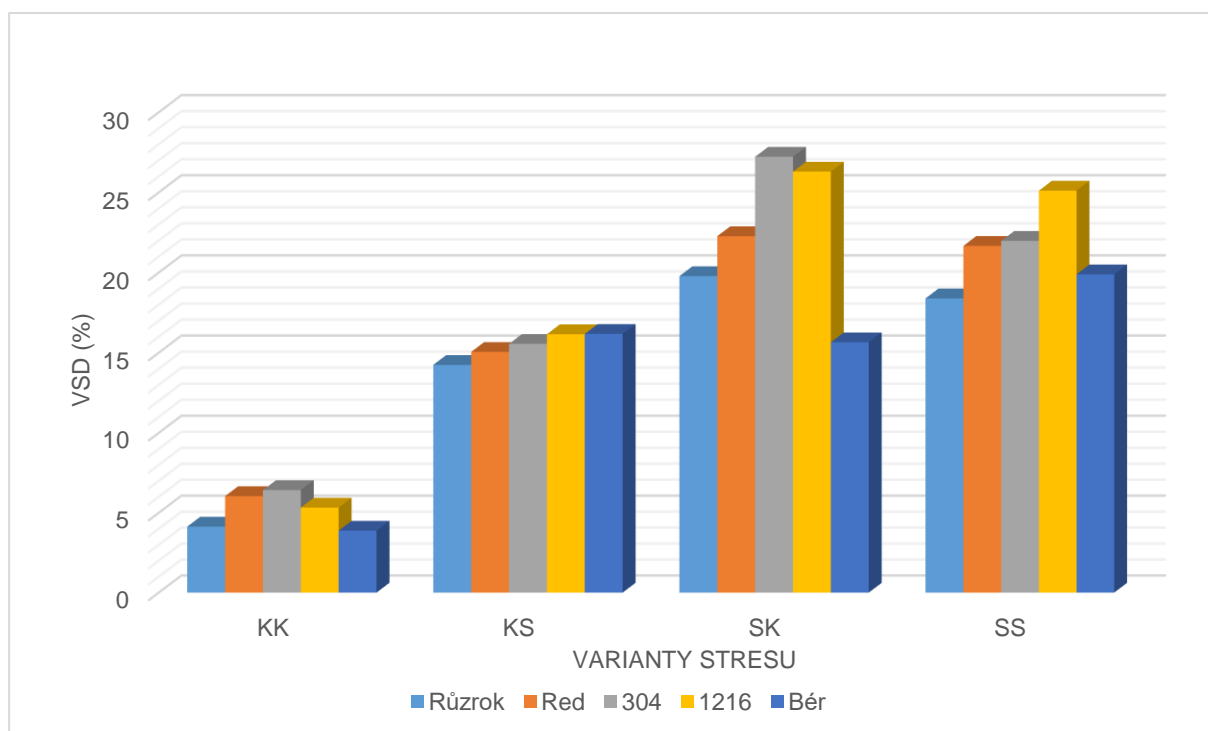
sledovanými genotypy v rámci varianty SK. Z grafu 6 vyplývá, že nejvyšší osmotický potenciál měla odrůda čiroku Bernard Red (-2,41 MPa). Na straně druhé nejnižší průměrná hodnota osmotického potenciálu (-2,22 MPa) byla zjištěna u odrůdy čiroku Ruzrok.

V případě varianty SS byla nejvyšší průměrná hodnota osmotického potenciálu naměřena u genotypu 304 (-2,56 MPa) a nejnižší hodnota osmotického potenciálu byla dosažena u genotypu 1216 (-2,85 MPa), jak zachycuje graf 6.

Ze sledovaných genotypů dosáhl nejnižší hodnoty osmotického potenciálu genotyp 304 (-1,67 MPa) a naopak nejvyšší genotyp 1216 (-2,85 MPa). Z grafu 6 je patrné, že na vodní deficit nejcitlivěji reagoval genotyp 1216, kdy rozdíl v hodnotách osmotického potenciálu mezi variantami KK a SS činil -1,15 MPa. Jako tolerantní se jeví u rostlin čiroku odrůda Bernard Red a Ruzrok, jejichž rozdíl v hodnotách osmotického potenciálu mezi těmito variantami stresu činil -0,87 MPa a -0,88 MPa. Avšak nejvíce tolerantní je odrůda béru Ruberit (-0,86 MPa).

5.2 Vodní sytostní deficit

Na grafu 7 je zachycen vliv genotypu na rozdíl průměru vodních sytostních deficitů u jednotlivých variant pokusu. U rostlin pěstovaných ve variantě KK pozorujeme rozdíly mezi



genotypy. Nejnižší hodnota VSD byla získána u rostlin béru odrůdy Ruberit 3,87 % z rostlin

čiroku nejnižší hodnoty VSD dosáhla odrůda Ruzrok 4,13 %. Nejvyšší hodnota vodního sytostního deficitu (6,42 %) byla naměřena u čiroku genotypu 304, viz graf 7.

Graf 7: Vliv genotypu na vodní sytostní deficit (%)

Varianta KS vykazuje téměř vyrovnané hodnoty vodního sytostního deficitu, jak dokládá graf 7. Nejnižší hodnota VSD byla získaná u odrůdy Ruzrok 14,24 %, nejvyšší hodnota VSD (16,17 %) byla vypočtena u béru odrůdy Ruberit. Tvrzení o vyrovnanosti průměrných hodnot VSD potvrzuje procentický rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou VSD, který činí 1,93 %.

Z uvedeného grafu je dále patrný značný rozdíl v hodnotách vodního sytostního deficitu v rámci varianty SK mezi sledovanými genotypy. Z grafu 7 vyplývá, že nejvyšší hodnota VSD měla genotyp čiroku 304 (27,2 %). Na straně druhé nejnižší průměrná hodnota VSD (15,65 %) byla zjištěna u odrůdy béru Ruberit. Rozdíl mezi těmito hodnotami VSD činí 11,65 %.

Z průměrných hodnot vodního sytostního deficitu získaných u rostlin rostoucích ve stresované variantě (SS). Graf 7 ukazuje, že nejnižší hodnota VSD, ze všech sledovaných genotypů a odrůd rostli, je ta u rostlin čiroku odrůdy Ruzrok (18,39 %). Nejvyšší hodnota VSD 25,12 %, byla dosažena u čiroku genotypu 1216.

Nejnižší hodnota VSD byla naměřena u rostlin béru odrůdy Ruberit ve variantě KK, která činila 3,87 %. Nejvyšší hodnota vodního sytostního deficitu činila 27,2 %, tato byla naměřena u rostlin čiroku genotypu 304 pěstovaný ve variantě SK. Dále je z grafu 7 patrné, že na vodní deficit nejcitlivěji reagovala čirok genotypu 1216, kdy rozdíl hodnot VSD mezi variantou KK a SS činí 19,79 %. Jako nejvíce tolerantní se na základě výše uvedeného vzoru jeví rostliny čiroku odrůdy Ruzrok, hodnota VSD činí 14,26 %.

6 Diskuze

U juvenilních rostlin béru (odrůda Ruberit) a čiroku (genotypy 121 a 304 a odrůd Bernard Red a Ruzrok) byl sledován vliv vodního deficitu na jejich vodní režim.

6.1 Osmotický potenciál

Vodní potenciál listů vyjadřuje energii, díky níž se voda v rostlině pohybuje (Shabala 2002). Čím je obsah vody v buňkách menší je hodnota vodního potenciálu nižší, a tím se zvyšuje nasávací síla rostlinných pletiv (Nielsen 1996). Tento závěr byl potvrzen v rámci testovaného sortimentu rostlin, kdy vlivem působení vodního deficitu vodní potenciál u všech stresovaných rostlin postupně klesal.

Za jeden z nejvýznamnějších mechanismů, který rozhoduje o toleranci rostlin k suchu je považováno osmotické přizpůsobení, pod čímž chápeme snížení osmotického potenciálu aktivní akumulací širokého spektra rozpustných látek (Mums, 1988). Snížení osmotického potenciálu v závislosti na působení vodního deficitu bylo pozorováno u všech rostlin vybraných k pokusu, a to především u rostlin pěstovaných v podmínkách opakovaného vodního stresu.

Zotavení z těžkého stresu je dvoufázový proces. První stupeň regenerace nastává po prvních hodinách až dnech. Druhá fáze nastává v několika dnech (Pereira a Chaves, 1993). Uvedený závěr nebyl zcela potvrzen, neboť u rostlin čiroku především odrůdy Ruzrok, pěstovaných v podmínkách opakovaného vodního stresu došlo k regeneraci po následné rehydrataci až po 2 a více dnech.

Dále ze získaných výsledků osmotického potenciálu u rostlin pěstovaných ve variantě KK vyplývá že, genotyp 304 měl průměrnou hodnotu osmotického potenciálu -1,67 MPa, genotyp 1216 měl průměrnou hodnotu vodního potenciálu -1,70 MPa, odrůda Ruzrok měla průměrnou hodnotu vodního potenciálu -1,79 MPa, genotyp Bernard Red měl průměrnou hodnotu vodního potenciálu -1,82 MPa, odrůda Ruberit měla průměrnou hodnotu vodního potenciálu -1,54 MPa. Tyto hodnoty jsou nižší, než uvádí Tambussim a kol. (2005), dle nich u plně zavlažovaných rostlin pšenice tvrdé dosahuje vodní potenciál hodnoty -1,43 MPa. Shabala (2012) konstatuje že, u rostlin rýže pěstovaných v prostředí s dostatkem vody se vodní potenciál pohybuje od -0,2 do -0,6 MPa. Rozdíl mezi literárními daty a naměřenými

hodnotami mohou být způsobeny jednak rozdílným rostlinným materiálem, kdy testované rostliny patří do skupiny C4 a citovaná pšenice do C3. Dále délkou působení vodního stresu a kombinací působení stresu a rehydratace.

Tito autoři dále uvádí, že rostliny pěstované ve vodním deficitu mají hodnotu vodního potenciálu od -2 MPa do -5 MPa. U výsledku osmotického potenciálu pro stresované varianty jsou dosahovány hodnoty v tomto rozmezí u všech genotypů. Tento závěr byl potvrzen.

Pro rostliny je dle Flower (2004) nemožné unikat stresorům, protože jsou vázány na stanoviště. Využívají tedy jiných metod obrany jedná se především o vyhýbání se stresu a snášenlivostí vůči stresu. Podle Kosové (2011) je stresová reakce členěna na sebe navazující části období beze stresu, období stresu a období zotavení. Toto dokazují i hodnoty získané u rostlin pěstovaných v podmínkách opakovaného vodního stresu.

6.2 Vodní sytostní deficit

Vodní sytostní deficit (VSD) charakterizuje stav vody v pletivech z hlediska její objemová množství, přičemž udává procento vody, které chybí rostlině do jejího úplného nasycení (Brestič, Olšovská, 2001). Listowský (1976) rozděluje vodní stres podle VSD na:

- malý stres při 8 – 9 %,
- střední stres při 10 – 20 %,
- velký stres při 20 – 25 %,
- vysychání rostlin při 50 %.

Toto členění potvrzuje, že hodnoty VSD pro rostliny pěstované v kontrolních podmínkách nejsou vystaveny žádnému stresu. U rostlin z varianty KS se podle uvedeného členění nacházejí ve středním stresu, u variant SK a SS se většina hodnot VSD pozorovaných rostlin pohybuje rozmezí, které odpovídají velkému stresu, a v některých hodnotách VSD se blížil hodnotě pro vysychání rostlin tedy 50 %.

Švihra a kol. (1996) zjistili, že u ozimé pšenice se vodní sytostní deficit u rostlin optimálně zásobených vodou pohybuje u jednotlivých odrůd mezi 4 - 13 % u praporcového listu, resp. 6 – 17 % u druhého listu. S tímto tvrzením se také neshodujeme. Rozdíly jsou způsobeny především použitými rostlinnými druhy a jejich zásobením vodou. Tohoto rozmezí bylo dosaženo pouze na spodní hranici, toto vysvětlují tím, že se jedná o rostliny ze stejné čeledi.

V případě, že rostliny rostou v podmínkách vodního deficitu, dochází k poklesu obsahu vody v rostlinných pletivech a ke zvyšování hodnot vodního sytostního deficitu. Tento závěr potvrzují práce Švihry a kol. (1996), ve které prokazují, že u stresovaných rostlin dochází ke zvýšení vodního sytostního deficitu na 49 – 55 %, což přesahuje míru silného stresu a je hranicí dehydratovaného stavu pletiv. V rámci mé práce jsem žádným výpočtem nepřesáhl hranici dehydratovaného stavu pletiv, toto je pravděpodobně zapříčiněno pouze krátkodobým působením vodního stresu v průběhu pokusu. Proto, aby se hodnoty VSD přiblížily této hranici bylo by potřeba rostliny vystavit déle trvajícím stresu.

7 Závěr

Nádobový pokus s juvenilními rostlinami čiroku (odrůdy Ruzrok a Bernard Red, genotypy 1216 a 304) a béru (odrůda Ruberit) byl založen a veden ve skleníku s částečně řízenými podmínkami. V tomto pokusu se sledoval vliv vodního deficitu na osmotický potenciál a vodní sytostní deficit u vybraných rostlin. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

1. Vodní stres u juvenilních rostlin čiroku a béru způsobil pokles hodnot osmotického potenciálu a navýšení hodnot vodního sytostního deficitu.
2. Byl prokázán vliv genotypu na sledované charakteristiky a reakci na vodní stres.
3. Nejvyšší rozdíl průměrných hodnot osmotického potenciálu mezi kontrolní variantou (-1,702 MPa) a stresovanou variantou (-2,849 MPa) byl prokázán u rostlin čiroku genotypu 1216.
4. Nejnižší rozdíl hodnot osmotického potenciálu byl prokázán u čiroku odrůdy Bernard Red, kdy průměrná hodnota osmotického potenciálu rostlin u kontrolní varianty byla -1,816 MPa a u stresované varianty -2,687 MPa.
5. Nejnižší rozdíl hodnot vodního sytostního deficitu mezi kontrolní a stresovanou variantou byl prokázán u čiroku odrůdy Ruzrok, kdy průměrná hodnota vodního sytostního deficitu rostlin u kontrolní varianty byla 4,128 % a u stresované varianty 18,389 %.
6. Nejvyšší rozdíl průměrných hodnot vodního sytostního deficitu mezi kontrolní variantou (5,321 %) a stresovanou variantou (25,109 %) byl prokázán u čiroku genotypu 1216.
7. Byla potvrzena hypotéza o rozdílech mezi genotypy čiroku v reakci na vodní stres, kdy se jako citlivý jeví genotyp čiroku 1216 a naopak jako odolnější vůči vodnímu stresu odrůda Barnard Red a odrůda Ruzrok.
8. Byla potvrzena hypotéza o rozdílech v hodnotách vodní sytostního deficitu mezi genotypy čiroku a béru v reakci na vodní stres, kdy hodnoty vodního sytostního deficitu u rostlin béru byly v průměru nižší než u rostlin čiroku. Osmotický potenciál byl u rostlin béru v kontrolní variantě, ve variantě, která byla prvních 10 dní zavlažována s následným stresem a variantě stresované po celou dobu pokusu, vyšší než u rostlin čiroku.

8 Seznam použité literatury

- Angelova, Z., Georgiev, S., Roos, W. 2006. Elicitation of plants. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 20 (2). 72-83.
- Austin, D. 2006. Foxtail Miller (*Setaria*: Poaceae) Abandoned food in two hemispheres. *Economic Botany*, 60 (2). 143-158.
- Agarwal, P., Dabi, M., More, P., Patel, K., Jana, K., Agarwal, K. P. (2016). Improved Shoot Regeneration, Salinity Tolerance and Reduced Fungal Susceptibility in Transgenic Tobacco Constitutively Expressing PR-10a Gene [online]. [cit. 2017-02-23]: Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2016.00217/full>
- Ali, M. A., Jabran, K., Awan, S. I., Abbas, A., Zulkiffal, M., Acet, T., Farooq, J., Rehman, A. 2011. Morphophysiological diversity and its implications for improving drought tolerance in grain sorghum at different growth stages. *Australian Journal of Crop Science*, 5 (3), 311–320.
- Ali, M. A. Abbas, A. Niaz, S. Zulkiffal, M. Ali, S. 2009a. Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages. *Int J Agric Biol* 11, 674–680.
- Asraf, M., Harris, P., Rahman, S., Humphreys, M. O., Humphreys, M. W., Vinh, N. T., Paterson, A. H., Kumar, D., Vanavichit, A., Tragoonrung, S., Toojinda, T., Ernst, W. H. O., Howarth, C., Revilla, P., Butrón, A., Cartea, M. E., Malvar, R. A., Ordás, A. 2005. *Abiotic Stresses. Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches*. An Imprint of The Haworth Press. New York. p. 725. ISBN 1-56022-965-9.
- Atwell, B., Kriedeman, P., Turnbull, C. 1999. *Plants in action*. The Australian Society of Plant Physiologists and The New Zealand Society for Horticultural Science, p. 202-300.
- Beta, T., Corke, H., Tylor, J. R. N. 2000. Starch Properties of Barnard Red, a South African Red Sorghum Variety of Significance in Traditional African Brewing. *Starch*. p. 467 - 470.
- Bjedov, I., Tenaillon, O., Gerard, B., Souza, V., Denamur, E., Radman, M., ...& Matic, I. 2003. Stress-induced mutagenesis in bacteria. *Science*, 300(5624), 1404-1409.
- Bibi, A. Sadaqa, H.A. Akram, HM. Mohammed, MI. 2010. Physiological markers for screening sorghum (*Sorghum bicolor*) germplasm under water stress condition. *Int J Agric Biol* 12: p. 451–455.
- Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. *Rostlina a stres*. VÚRV Praha, Praha, 160 s. ISBN 80-8655-32-1

- Blum, A. 1996. Crop responses to drought and interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20, 135-148.
- Blum, A., Zhang, J. X., Nguyen, H. T. 1999. Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. *Field Crops Research*, 64, 287-291.
- Boyer JS (1982) Plant productivity and environment. *Science* 218, 443-448
- Brestič, M. 2001. Determination of sensitive sites in photosynthesis during longterm plant dehydration. In: JCEA vol. 2 (2001) number 3 – 4. [online]. Dostupné na internete: <http://www.vurv.cz/files/publications/ISBN80-86555-63-1.pdf>
- Brestič, M., Olšovská, K. 2001. Vodný stres raslín: príčiny, dosledky, perspektívy. SPV, Nitra,
- Brestič, M. Olšovská, K. 2005. Funkcia chemickej a hydraulickej signalizácie o vodnom strese pri hodnotení suchovzdornosti juvenilných rastlín. SPU Nitra, p. 164.
- Brestič, M., Živčák, M., Olšovská, K., & Slamka, P. 2008. Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. L. *Plant Soil Environ*, 54(4), 133-139.
- Brink, M., Belay, G. 2006. *Plant Resources of Tropical Africa 1. Cereals and pulses*. PROTA Foundation, BackhuysPublishers. Wageningen. p. 298.
- Brown, L. R. 2011. Growing Water Deficit Threatening Grain Harvests. Earth Policy Institute, 20.
- Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Rockville, MD. American Society of Plant Physiologists.
- Čatský, J. 1962. Water saturation deficit in the wilting plant. The preference of young leaves and the translocation of water from old into young leaves. *Biologia Plantarum*, 4(4), 306-314.
- Dat, J., Vandenameele, S., Vranová, E., Van Montagu, M., Inzé, D., Van Breusegem, F. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 57(5), 779-795.
- Doggett, H. 1995. *Sorghum*, 2nd Edition. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0-582-46345-5.
- Dostál, J. 1989. *Nová květena ČSSR*. 2.díl. Academia. Praha. ISBN 80-200-0095-X.
- Ejeta, G. Knoll, J. E. 2007. Marker-Assisted Selection in Sorghum. In: Varshney RK, and Tuberosa R (eds.) *Genomic-Assisted Crop Improvement: Vol. 2: Genomics Applications in Crops* Springer Publications. The Netherlands. p. 187-205.
- FAO. [online]. [cit. 2017-01-30]: Dostupné z: <http://www.fao.org/ag/Agp/agpc/doc/Gbase/>

data/pf000314.htm

FAO. [online]. [cit. 2017-01-30]: Dostupné z: <http://faostat.fao.org/default.aspx>.

Farooq, M., Aziz, T., Whid, A., Lee, D.J., Siddique K.H.M. 2009. Chilling tolerance in maize: agronomic and physiological approaches. *Crop Pasture Sci* 60. s. 501-516.

Flowers, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. [online]. [cit. 2016-12-22] Dostupné z <http://jxb.oxfordjournals.org/content/55/396/307.short>

Ghannoum, O. 2009. C4 photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*. 103 (4). 635-644.

Griffith, T. M., Watson, M. A. 2005. Stress avoidance in a common annual: reproductive timing is important for local adaptation and geographic distribution. *Journal of evolutionary biology*, 18(6), 1601-1612.

Haberle, J., Trčková, M., Růžek, P. 2008. Příčiny nepříznivého působení sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 32 s. ISBN 978-80-87011-45-4.

Hejnák, V., Pulkrábek, J., Šafránková, I., Stuchlíková, K., Otáhal, V. 2004. Water stress in production process of sugar beet and regulatory role of abscisic acid. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 120 (7-8). 216-219.

Hermuth, J., 2010. Čirok – znovu vzkříšená plodina v ČR. *Agromanuál, únor 2010, ročník 5*, s. 62 – 65.

Hermuth, J., Hýsek, J. 2010. Bér vlašský – plodina s multifunkčním potenciálem. *Úroda* 2, s. 30-32.

Hermuth, J., Janovská, D., Prohasková, A. 2015. Bér vlašský *Setaria italica* (L.) Beauv. Plodina vhodná do měnícího se klimatu České republiky. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha – Ruzyně. s. 36. ISBN 978-80-7427-175-5.

Hermuth, J., Janovská, D., Stražil, Z., Ust'ak, S., Hýsek, J. 2012. Čirok obecný *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH, možnosti využití v podmínkách České republiky. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha – Ruzyně. s. 47. ISBN 978-80-7427-093-2.

Hetherington, A. M. 2001. Guard cell signaling. *Cell*, 107(6), 711-714.

House, L. R., 1985. *A Guide to Sorghum Breeding*. ICRISAT. (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). Andhra Pradesh. [online]. [cit. 2017-01-30]: Dostupné z: http://oar.icrisat.org/810/1/RA_00070.pdf

Hnilička F., Bláha L. 2006. Význam vlastností kořenů a semen pro odolnost rostlin vůči abiotickým stresorům. [online]. [cit. 2017-02-09] Dostupné z <https://www.vurv.cz/sites/File/Publications/ISBN80-86555-85-2.pdf#page=13>

- Hrkotová K., 2015. Fotografie z průběhu pokusu skleníky FAPPZ. ČZU v Praze.
- Hrkotová K., 2016. Vliv vodního stresu na rychlost výměny plynů a fluorescence vybraných druhů tribu *Panicoideae*. Diplomová práce. ČZU v Praze.
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/sra_srov.html
<http://www.targetmap.com/viewer.aspx?reportId=17617>
<http://www.zernoexport.com/catalog/catalog1/sorgo>
- Cheng R., Dong Z. 2010. Cereals in China. Breeding and production of foxtailmillet in China. CIMMYT. s. 87-95.
- Chobotová M., Prokeš K. 2013. Čirok, plodina s budoucností. Profi Press. Praha. Farmář 19 (2). s. 24 – 26.
- Jones, H. G., Flowers, T. J., Jones, M. B. (eds.). 2008. Plants under Stress. Cambridge University Press. Cambridge. p. 557. ISBN: 05210530375.
- Jones, M. B., Jongen, M. 1996. Sensitivity of temperate grassland species to elevated atmospheric CO₂ and the interaction with temperature and water stress [online]. [cit. 2017-03-07] Dostupné z <http://ojs.tsv.fi/index.php/AFS/article/view/5523>
- Jones, H.G., Flowers, T.J., Jones, M. B. (Eds.). 2008. Plants under stress: Biochemistry, physiology and ecology and their application to plant improvement. Cambridge university press. 268 s. ISBN 0-521-05037-5
- Kadukova, J., Kavulicova, J. 2010. Phytoremediation and Stress: evaluation of heavy metal-induced stress in plants. Nova. New York. ISBN 978-1-61122-108-4 [online]. [cit. 2016-12-21] Dostupné z <http://site.ebrary.com/infozdroje.czu.cz/lib/czup/reader.action?docID=10661660>
- Kang, G., Li, G., Xu, W., Peng, X., Han, Q., Zhu, Y., Guo, T. 2012. Proteomics Reveals the Effects of Salicylic Acid on Growth and tolerance to Subsequent Drought Stress in Wheat. American Chemical Society [online]. [cit. 2017-03-12] Dostupné z <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/pr300728y>
- Kára, J., Stražil, Z., Hutla, P., Ust'ak, S., 2005. Energetické rostliny, technologie pro pěstování a využití. VÚZT Praha – Ruzyně, s 81.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T., & Renaut, J. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress—contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. Journal of proteomics, 74(8), 1301-1322.

- Kostrej, A., Danko, J., Gáborčík, N., Jureková, Z., Kubová, A., Repka, J., ... & Zima, M. 1992. Fyziológia porastu poľných plodín. VŠP.
- Kovár, M. Brestič, M. Olšovská, K. 2003. Mechanizmy tolerancie jarného jačmeňa na sucho. I. Osmotické prispôsobenie a metódy jeho hodnotenia. In: Acta fytotechnica et zootechnica, roč. 6, č. 3, s. 76-81.
- Kramer PJ, Boyer JS (1995) Water Relations of Plants and Soils. Academic Press. London. UK.
- Kůdela, V., Ackermann, P., Prášil, I. T., Rod, J., Veverka, K. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia. Praha. 566 s. ISBN:0 978-80-200-2262-2.
- Leder, I. 2004. Sorghum and millets. Cultivated Plants, Primarily as Food Sources, [online]. [cit. 2017-02-19]: Dostupné z: <http://www.eolss.net/ebooks/sample%20chapters/c10/e5-02-01-04.pdf>
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses: water, radiation, salt and other stresses. Academic Press. p. 607. ISBN: 9780124455023.
- Lichtenthaler, H. 1998. The Stress Concept in Plants: An Introduction. In: Stress of life from molecules to man. Csermely P. (ed.) Annals of the NY Academy of Science 851. 187-198.
- Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C., Knapp, M. 2004. Measurement of chlorophyll fluorescence kinetics (Kautsky effect) and the chlorophyll fluorescence decrease ratio (RFd-values) with the PAM-Fluorometer. Analytical Methods in Plant Stress Biology, The Franciszek Gorski Institute of Plant Physiology of the Polish Academy of Sciences, p. 93-111.
- Listowský, V. A. 1976. Zagadaniem fyziologii pšenici. Moskva, Kolos, 1976.
- Ludlow MM, Muchow RC. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. Adv Agron 43: 107-153
- Madhava, R., Raghavendra, K. V., 2006. Physiology and molecular biology of stress tolerance in plant. Dordrecht: Springer, p. 345. ISBN 1-4020-4225-6
- Mahajan, S., Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview [online]. [cit. 2017-02-20] Dostupné z <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16309626>
- Mansfeld, R., 1952. Zur Systematicund Nomenklatur der Hirsen. Der Züchter 20.
- Meteorologický slovník výkladový terminologický, s cizojazyčnými názvy hesel. 1. vyd. 1993. Praha, Academia, 594 s. ISBN 80-85368-45-5.

- Miyashita K, Tanakamaru S, Maitani T, Kimura K (2005) Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environ Exp Bot* 53:205-214
- Moudry, J. 2011. Alternativní plodiny. Profi Press. ISBN 978-80- 86726-40-3.
- Morgan, P. W., Abeles, F. B., Saltveit, M. E. 1992. Ethylene in Plant Biology. Academic Press, San Diego. p. 414. ISBN 0-12-041451-1.
- Munns, R. 1988. Why measure Osmotic Adjustment? *Australian Journal of Plant Physiology*, 15, 717-726.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*. 25 (2). 239-250.
- Munns, R., Testr, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. [online]. [cit. 2017-02-07] Dostupné z <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18444910>
- Multilingual Tech. Dictionary on Irrigation and Drainage, 1996, ICID, New Delhi, 2nd Ed.
- Mursec B., Vindis, P., Janzekovic, M., Brus, M., Cus, F. 2009. Analysis of different substrates for processing into biogas. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 37(2). s 652-659.
- Mwanamwenge J, Loss S.P, Siddique KHM, Cocks PS, (1999) Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Eur J Agron* 11: 1-11
- Nilsen, E. T., Orcutt, D. M., 1996. *The Physiology of Plants Under Stress*. p. 704. ISBN 978-0-471-03152-9.
- Nilsen E.T., Orcutt, D.M.: 1996 *The physiology of plants under stress*. John Wiley and Sons, Inc., p. 689
- npgsweb.ars-grin.gov 2017a [online]. [cit. 2017-02-28] Dostupné z <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/accessiondetail.aspx?id=1628766>
- npgsweb.ars-grin.gov 2017b [online]. [cit. 2017-02-28] Dostupné z <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/accessiondetail.aspx?id=1196705>
- Olšovská, K. 2008. Fyziologicko – produkčné aspekty sucha v rastlinách: habilitačná práca, Nitra: SPU, 2008, 125 s.
- Pavliš, J., Koblížek, J., Jelínek, P. 2002. Užitkové rostliny tropů a subtropů. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, s. 35.
- Parvaiz, A., 2012, *Environmental Adaptations and Stress Tolerance of Plants in the Era of Climate Change*. Springer. India. p. 515. ISBN: 978-1-4614-0814-7.

- Petr, J., Hruška, J. 1997. Speciální produkce rostlinná – I. Praha ČZU, FAPPZ.
- Pišťínek, T., 2015. Zkušenosti s pěstováním čiroku z Brněnska. Úroda [online]. [cit. 2017-01-26]: Dostupné z: <http://uroda.cz/zkusenosti-s-pestovanim-ciroku-z-brnenska/>
- Pospíšilová, J. 1969. Water balance in leaf tissue. *Biologia Plantarum* 11 (2). s 119-129 [online]. [cit. 2017-03-08] Dostupné z <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02921730#page-1>
- Pospíšilová, J. 2003. Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. *Biologia Plantarum*, 46(4), 491-506.
- Qureshi, M.I. Qadir, S. Zolla, L. 2007. Proteomics-based dissection of stress-responsive pathways in plants. *Journal of Plant Physiology* , 164, p. 1239-1260.
- Rooney, W., 2007. Breeding sorghum. In. Acquaaah G. Principles of Plant Genetics and Breeding. Blackwell publishing.
- Ruf, M., Brunner, I. 2003. Vitality of tree fine rous: reevaluation of the tetrazolium test. *Tree Physiology*. roč. 23, č. 4. p. 257-263.
- Seifert, V. 1994. Počasí kolem nás. Praha. ISBN: 80-7169-053-8.
- Shabala, S. (ed.): 2012, *Plant Stress Physiology*. Cobi, Oxfordshire - Cambridge, p. 318
- Shao, H.-B., Guo, Q.-J., Chu, L.-Y., Zhao, X.-N., Su, Z.-L., Hu, Y.-C., Cheng, J.-F. 2007. Understanding of molecular mechanism of higher plant The Science of the Total Environment, *International Journal of Biological Sciences*, plasticity under abiotic stress. 54, p. 37-45.
- Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Lu, Z.-H., Kang, C.-M. 2008. Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells. 4, p. 8-14.
- Schulze, E.D., Beck, E., Muller-Hohenstein, K. 2005. *Plant ecology*. Springer-Verlag. New York. p. 700.
- Sinclair, T. R. 2000. Model analysis of plant traits leading to prolonged crop survival during severe drought. *Field Crops Research*, 68, 211-217.
- Slovik, S., Hartung, W. 1992. Compartmental distribution and redistribution of abscisic acid in intact leaves. II. Model analysis. *Planta* 187. s. 26-36.
- Stražil, Z., 1999. Energetické rostliny - 2 - Čirok. *Biom*, 1999, č. 6, s. 8.
- Středa T., Dostál V., Ullmannová K., 2009. Root systém as a factor of oilseed rape yield formation [online]. [cit. 2017-03-10] Dostupné z https://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/fyto_streda.pdf

- Stuchlík, V. 1951. O čiroku cukrovém a jeho využití v průmyslové výrobě. Brázda, Praha. s 74.
- Šantrůček, J. 1995. Základy pěstování víceletých píceňin na orné půdě. IVV MZe ČR. s 32.
- Švihra, J., Brestič, M., Olšovská, K. 1996. Vplyv vodného a teplotného stresu na produktivitu odrôd ozimnej pšenice. Rostlinná výroba. 42 (9). 425-429.
- Tambussi, E. A., Nogués, S., Araus, J. L. 2005. Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism. *Planta*, 221 (6). 446-458.
- Taulavuori, K., Prasad, M.N.V., Taulavuori, E., Laine, K. 2005. Metal stress consequences on frost hardiness of plants at northern high latitudes: a review and hypothesis. *Environmental Pollution*, 135, p. 209-220.
- Tuinstra, M. R. Grote, E. M. Goldsbrough, P. B. Ejeta, G. 1997. Genetic analysis of post-flowering drought tolerance and components of grain development in sorghum bicolor (L.) Moench. *Mol Breed* 3: p. 439-448
- Ust'ak, S., 2014. Má čirok budoucnost jako energetická plodina - ano, nebo ne? Úroda [online]. [cit. 2017-01-30]: Dostupné z: <http://uroda.cz/ma-cirok-budoucnost-jako-energeticka-plodina-ano-nebo-ne/>
- Valíček P. a kol. 2002. Užitékové rostliny tropů a subtropů. Praha, Akademie věd České republiky, 485 s.
- Vavilov, N. R., 1926. Studies in the origin of cultivated plants. *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii* 16 (2), Leningrad.
- Wang, Ch., Yang, A., Yin, H., Zhang, J. 2008. Influence of water stress on endogenous hormone contents and cell damage of maize seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*. 50 (4). p. 427-434.
- Werner, C., Ryel, R. J., Correia, O., Beyschlag, W. 2001. Structural and functional variability within the canopy and its relevance for carbon gain and stress avoidance. *Acta Oecologica*, 22(2), 129-138.
- Westgate M.E., Grant D. L.T., 1989. Water deficits and reproduction in maize. Response of the reproductive tissue to water deficits at anthesis and mid-grain fill. *Plant Physiol* 91: 862-867
- www.eagri.cz. 2017 [online]. [cit. 2017-02-28] Dostupné z <http://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouVF.do>
- www.chmi.cz. 2017 [online]. [cit. 2017-03-07] Dostupné z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Definice_sucha.html