

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Změny v obsahu prolinu a relativního výtoku elektrolytů
u rostlin béru a čiroku v závislosti na stresu zasolením

Diplomová práce

Autor práce: Bc. David Chlumský

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

2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Změny v obsahu prolinu a relativního výtoku elektrolytů u rostlin béru a čiroku v závislosti na stresu zasolením vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v předložené bibliografii.

V Praze dne: 28. 3. 2017

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D., za odborné vedení, pomoc při získávání údajů a za cenné rady při zpracování této diplomové práce.

Souhrn

Mezi nejvýznamnější stresové faktory v pěstování rostlin, které mají v celosvětovém měřítku negativní dopady, patří zasolení půd. Různé druhy plodin reagují na zvýšený obsah vodorozpustných solí v půdě odlišným způsobem. Mezi rostliny, které snáší vyšší úroveň zasolení půdy, patří čirok (*Sorghum bicolor* L.). Citlivější plodinou je v tomto směru bér italský (*Setaria italica* L.).

Vyšší koncentrace solí má na rostlinu celou řadu negativních vlivů. Soli působí na rostlinu jednak tím, že jejich roztoky osmoticky váží vodu, v dalším případě tím, že jejich ionty specificky působí na protoplasmu. Jedním z důsledků zasolení je poškození buněčných membrán či produkce osmoticky aktivních látek, mezi které patří i aminokyselina prolin. Z těchto údajů vyplývají cíle této práce, a to stanovit míru poškození buněčných membrán na základě relativního výtoku elektrolytů v závislosti na působení zasolení a použitém genotypu, dále pak stanovit a vyhodnotit obsah prolinu ve vztahu k působení zasolení na vybrané genotypy čiroku a béru. Pro tento pokus byly vybrány následující genotypy čiroku: 30485, 1216, Ruzrok, Barnard Red a genotyp béru: Ruberit. Rostliny byly pěstovány v částečně řízených podmínkách skleníku KBFR FAPPZ. Po založení pokusu byly rostliny pravidelně zavlažovány destilovanou vodou a ve fázi šesti pravých listů byly rozděleny do čtyř pokusných variant. První byla kontrolní varianta (K), která byla po celou dobu pokusu zavlažována destilovanou vodou. Ostatní varianty byly vystaveny působení stresu zasolením prostřednictvím závlahové vody o různých koncentracích NaCl; (S1) 0,15 M; (S2) 0,25 M a (S3) 0,5 M. V rámci pokusu se uskutečnilo 15 odběrů ve dvoudenních intervalech za účelem měření vybraných charakteristik.

Z výsledků vyplývá, že nejnižší poškození buněčných membrán a nejnižší hodnoty obsahu prolinu vlivem zasolení bylo zjištěno v obou případech u kontrolních rostlin (K), naopak nejvyšší u varianty S3. Z měření je dále patrné, že poškozením buněčných membrán nejcitlivěji reagovala odrůda béru – Ruberit, naopak genotypy Ruzrok a Barnard Red lze v tomto směru označit jako tolerantní. Nejvyšší hodnoty obsahu prolinu vlivem zasolení byly zjištěny u odrůd Barnard Red a Ruzrok. Nejnižší hodnoty obsahu této aminokyseliny byly zjištěny u genotypů 1216 a 30485. Z těchto výsledků vyplývá, že genotyp má u juvenilních rostlin čiroku a béru během zasolení významný vliv.

Klíčová slova: čirok, bér, zasolení, genotyp, buněčné membrány, prolin

Summary

Soil salinity is one of the most important stress factors in crop cultivation that have a negative impact globally. Different crop species respond to an increased concentration of soluble salts in the soil differently. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is amongst the plants that tolerate higher levels of salinity better. Foxtail millet (*Setaria italica* L.) is an example of a crop that is sensitive to higher levels of salinity.

High salt concentrations have various negative effects on plants. An example of the salinity influence may be damage of cell membranes or production of osmolytes, which includes amino acid proline. This leading to the aims of this study: Determining the level of damage to cell membranes based on the electrolyte leakage, taking into account the influence of salinity and genotype. Next determining and evaluating the content of proline in relation to the effect of salinity on the selected genotypes: sorghum and foxtail millet. For this experiment four sorghum genotypes: 30485, 1216, Ruzrok, Barnard Red and one foxtail millet genotype: Ruberit were chosen. Plants were cultivated in partially controlled conditions in the greenhouse KBFR FAPPZ. The plants were irrigated with distilled water during the first stage of the experiment and were divided into four variant groups at the six leaf stage. The first was control variant (K), which was irrigated with distilled water throughout the experiment. Other variants were exposed to salinity trough irrigation water with varying concentrations of NaCl namely: (S1) 0,15M; (S2) 0,25M and (S3) 0,5M.

Fifteen extractions were made from the plants at two day intervals to measure selected characteristics. The results show that the least damage to cell membranes and the lowest level of proline due to salinity was found in both cases in the control plants (K) while the highest was in variant S3. The results also show that foxtail millet – Ruberit was the most sensitive to cell membrane damage while the sorghum genotypes 1216 and 30585 were the most tolerant to cell membrane damage. The highest values of proline due to salinity were found in varieties Barnard Red and Ruzrok. The lowest values of this amino acid were found in varieties 1216 and 30485. These results show that the genotype of the juvenile plants of sorghum and foxtail millet are significantly influenced by salinity.

Keywords: sorghum, foxtail millet, salinity, genotype, cell membranes, proline

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Literární přehled	
2.1 Botanická charakteristika	
2.1.1 Popis čiroku a zařazení do botanického systému.....	9
2.2 Historie a současnost pěstování čiroku.....	10
2.3 Nároky na prostředí.....	12
2.4 Šlechtění čiroku.....	13
2.5 Popis béru a zařazení do botanického systému.....	13
2.6 Obecná charakteristika stresu.....	15
2.7 Zasolení.....	18
2.8 Vliv zasolení na rostliny.....	19
2.9 Obranné reakce rostlin vůči zasolení.....	21
3. Cíle a hypotézy.....	26
4. Materiál a metody	
4.1 Pokusný materiál a jeho charakteristika.....	27
4.2 Založení pokusu.....	28
4.3 Metody měření sledovaných charakteristik	
4.3.1 Stanovení relativního výtoku elektrolytů.....	29
4.3.2 Stanovení obsahu prolinu.....	29
4.4 Použité statistické metody.....	30
5. Výsledky	
5.1 Relativní výtok elektrolytů.....	31
5.2 Obsah prolinu.....	37
6. Diskuze	
6.1 Relativní výtok elektrolytů.....	44
6.2 Obsah prolinu.....	45
7. Závěr.....	47
8. Seznam literatury.....	49
9. Přílohy.....	56

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Porost čiroku.....	10
Obr. 2: Výnosy zrnové kukuřice a čiroku na území USA (Ageconomist.com, 2014).....	11
Obr. 3: Graf nejvýznamnějších světových pěstitelů čiroku dle FAO (2017).....	12
Obr. 4: Porost béru vlašského (<i>Setaria italica</i>).....	13
Obr. 5: Rozdělení stresových faktorů (Procházka et al, 1998).....	16
Obr. 6: Průběh stresové reakce (Larcher, 1995).....	17
Obr. 7: Příklad extrémně zasolené půdy (watereducation.org, 2009).....	19
Obr. 8: Složky odolnosti vůči zasolení cévnatých rostlin (Larcher, 1995).....	21
Obr. 9: Příklad halofytní rostliny - <i>Thellungiella halophila</i> (ÚEB AV ČR, 2012).....	22
Obr. 9: Kosmatec třpytivý (<i>Mesembryanthemum crystallinum</i>) (swbiodiversity.org, 2017)...	23
Tab. 1: Pokusné varianty.....	29

1. Úvod

V celosvětovém měřítku patří v rostlinné produkci mezi nejčastější stresové faktory zasolení půd. Jedná se o vyšší obsah vodorozpustných solí v půdě, který má významné negativní dopady na pěstování rostlin, a to zejména v aridních oblastech, kde převažuje výpar vody nad množstvím srážek. Ve světě jsou nejčastějšími příčinami zasolení půd nedostatečně kvalitní závlahová voda či blízkost mořského pobřeží. S problematikou zasolení půd se však lze setkat i na území ČR, kde je v současné době slabě zasoleno téměř 7 000 ha zemědělské půdy.

Aby byly rostliny vyskytující se v takto nepříznivých podmínkách schopny přežít a dále se vyvíjet, jsou u nich vyvinuty různé mechanismy adaptace. Mezi tyto mechanismy lze zařadit produkci osmoticky aktivních látek, jako jsou rozpustné cukry, dehydriny, glycinebetain či aminokyselina prolin. Reakce na stresové podmínky vyvolané zasolením, se u různých druhů plodin velmi liší. Mezi plodiny, které tolerují vyšší obsah vodorozpustných solí v půdě, patří čirok, na druhé straně mezi plodiny snášející hůře zasolení půd, lze zařadit bér.

Čirok je celosvětově pátou nejvýznamnější obilninou a je pěstován zejména v semiaridních oblastech tropického a subtropického pásu. Díky jeho intenzivnímu šlechtění a novým odrůdám se lze v současnosti setkat s touto plodinou stále častěji i v oblastech mírného pásu. Na našem území se osevní plocha, této v budoucnu možná perspektivní plodiny, pohybuje každoročně v rámci několika set hektarů.

Jeho zrna je využíváno především pro lidskou výživu, ve vyspělejších zemích se velmi často stává součástí jídelníčku lidí trpících celiakií, protože neobsahuje lepek. Jeho využití není pouze v potravinářství, ale je rovněž využíván pro krmení zvířat, či pro technické a energetické účely.

Vzhledem k těmto skutečnostem se předložená diplomová práce zabývá působením vyššího obsahu NaCl v půdě na juvenilní rostliny čiroku a béru, konkrétně mírou odolnosti či citlivosti genotypů rostlin, která je sledována na základě míry poškození buněčných membrán stanovující se na základě relativního výtoku elektrolytů a tvorby aminokyseliny prolin.

2.1 Botanická charakteristika

2.1.1 Popis čiroku a zařazení do botanického systému

Dostál (1989) uvádí, že rod čirok (*Sorghum* Moench.) patří mezi jednoděložné (*Monocotyledoae*) rostliny, náležící do skupiny vousatkovité (*Andropogoneae*), řádu lipnicokvěté (*Poales*), čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Čirok je primárně samosprašný, ačkoli se nežídka objevuje i určité procento cizosprašnosti (Hermuth et al., 2012). Rostliny jsou poměrně mohutné, viz obr. 1, a jejich výška se pohybuje v rozmezí 2 – 4 metry (Dostál, 1989). Listy se vyznačují malým množstvím průduchů a na svrchní straně jsou pokryté voskovým povlakem. Rostliny mají mohutnou kořenovou soustavu s velkým množstvím kořenového vlášení. Kromě podzemních kořenů vytváří i vzdušné kořeny, které mimo mechanické funkce mohou využívat vláhu i ve formě rosy (Skládanka, 2006). Dostál (1989) dále konstatuje, že květenstvím je lata skládající se z jednotlivých klásků. Hmotnost tisíce semen je stejně jako výška rostliny velmi rozmanitá a podle formy čiroku a odrůdy se pohybuje od 10 – 30 g. Zrno (obilky) je podle Petříkové et al. (2006) buď pluchaté, nebo částečně obnažené, případně zcela nahé.

Podle Hermutha et al. (2012) se systematikou tohoto rodu zabývala řada autorů, ale přesto není dosud uspokojivě vyřešena. Z hlediska zemědělské praxe bývá nejčastěji využívána Mansfeldova klasifikace z roku 1952, dle které můžeme čirok rozdělit podle praktického využití na čtyři variety:

- čirok obecný (*Sorghum vulgare* syn. *bicolor* var. *eusorghum* (L.) Moench), který je pěstován zejména na zrno, obsahující značný obsah škrobu a bílkovin. Vzrůst této variety je v porovnání s dalšími poněkud nižší.
- čirok technický (*Sorghum vulgare* var. *technicum* Körn.) má silně vyvinutou latu, kvůli které je využíván pro výrobu košťat a kartáčů. Zrno je v tomto případě vedlejším produktem.
- čirok cukrový (*Sorghum vulgare* var. *saccharatum* L.) má šťavnatou dřeň, a to i v době biologické zralosti zrna. Je využíván jako krmná rostlina, zejména k silážování. Ze stébel je také možné lisovat šťávu, která slouží pro výrobu sirupů či lihu.
- čirok súdánský (*Sorghum vulgare* var. *sudanense* (Piper) Hitchc.), jinak též nazýván súdánská tráva. Tato varieta má tenká stébla, husté olistění a vytváří velké množství biomasy, která je vhodná jak pro píceinářské, tak energetické účely.



Obr. 1: Porost čiroku (Agriculturewire.com, 2017)

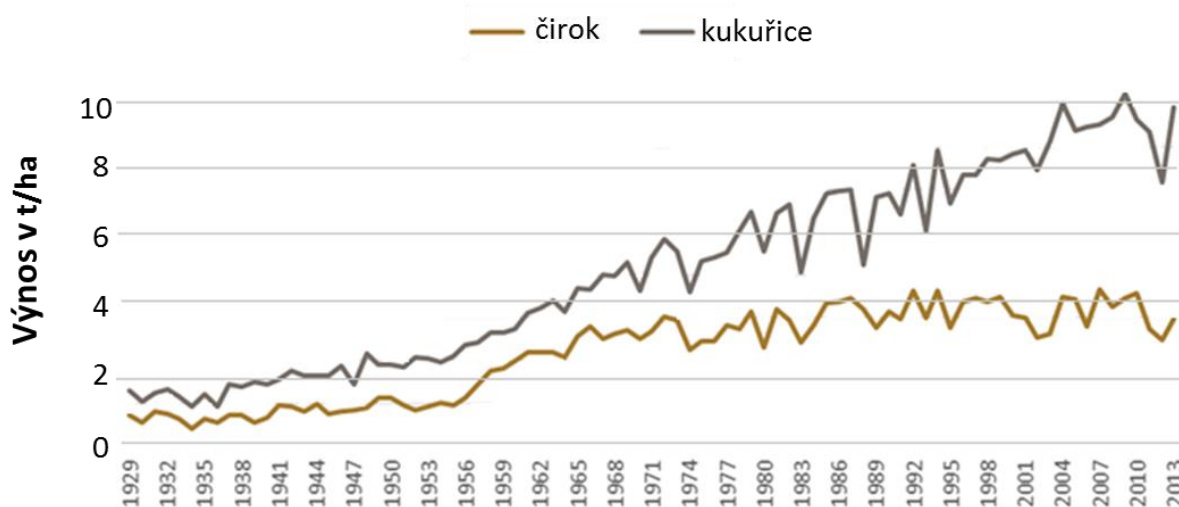
2.2 Historie a současnost pěstování čiroku

O čiroku lze tvrdit, že je jednou z nejstarších plodin. Existují důkazy, že byl jako kulturní plodina využíván v Africe již před 3000 až 7000 lety (Smith et Frederiksen, 2000). Elzebroek et Wind (2008) uvádějí, že konkrétně se jednalo o území dnešní Etiopie, Súdánu a Čadu. Z Afriky se čirok dále rozšířil přes Sýrii a Mezopotámii do Indie (Sinskaja, 1973). Podle Hermutha et al. (2012) byla Indie zemí, ze které se na přelomu letopočtu dostal čirok do Evropy, přesněji do Itálie. Jeho pěstování se však v této době příliš nerozvinulo.

Uvedení autoři dále konstatují, že do Čech byl čirok ve větší míře zaveden až ve 20. letech minulého století. Jednalo se převážně o čirok technický. Dalším významnějším obdobím pěstování čiroku u nás byla 50. léta. V tomto případě se jednalo o čirok využívaný pro krmivářské účely, krátce na to však došlo k jeho nahrazení kukuřicí. V současné době zájem o jeho pěstování opět stoupá, a to především kvůli využití čiroku jako energetické plodiny.

Celosvětově je čirok pátou nejvýznamnější obilninou a je jedním ze základních zdrojů potravy v semiaridních oblastech Afriky a Asie. Ve vyspělejších státech je součástí jídelníčku lidí trpících celiakií, protože neobsahuje lepek. V některých afrických zemích je rovněž využíván k výrobě piva. Kromě využívání zrna pro lidskou výživu nachází čirok uplatnění i mimo potravinářské účely. Například v Austrálii, Severní i Jižní Americe je zrno využíváno

i pro krmení zvířat. Průměrné výnosy zrna jsou však ve srovnání s kukuřicí zhruba o polovinu nižší, jak je patrné z obr. 2 (Ageconomist.com, 2014).

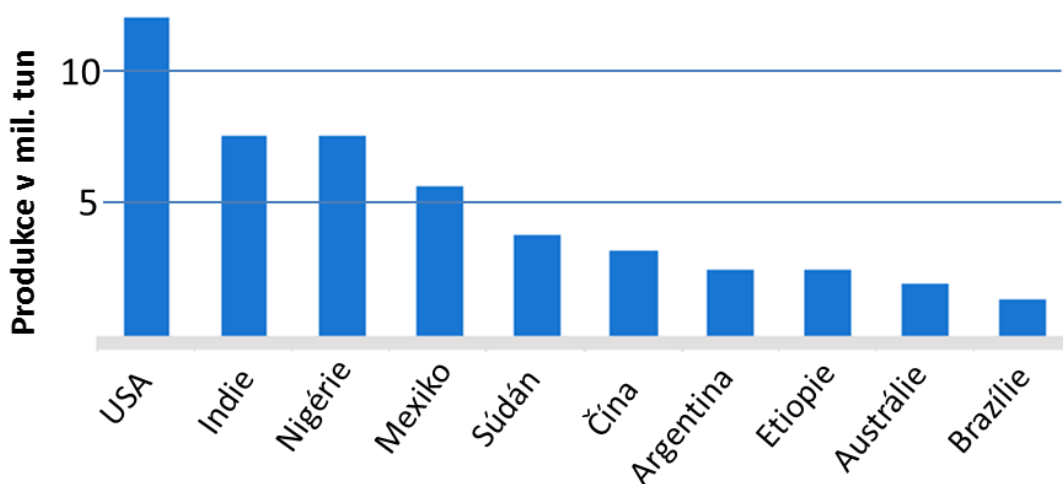


Obr. 2: Výnosy zrnové kukuřice a čiroku na území USA (Ageconomist.com, 2014)

Další uplatnění čiroku v krmivářství je zkrmování čerstvé píce či silážování. Stonky jsou také využívány jako střešní krytina či ploty, lata technického čiroku slouží pro výrobu smetáků a kartáčů. Čirok cukrový je rovněž využíván pro extrakci sirupů či lihu (Elzebroek et Wind, 2008). V současné době nabývá na významu jako energetická plodina, ať už jako substrát do bioplynových stanic či jako materiál k přímému spalování (Petříková et al., 2006).

Díky svým širokým možnostem využití a také nižším nárokům na vláhu je pěstován v sušších oblastech téměř po celém světě (Dogget, 1988). Je často pěstován tam, kde nedostatečné množství vláhy, horší kvalita půd či problémy s častým výskytem škůdců limituje pěstování kukuřice. Rovněž erozní koeficient se uvádí o třetinu až polovinu nižší než u kukuřice (Hermuth et al., 2012).

Podle FAO (2017) patří mezi nejvýznamnější světové pěstitele Spojené státy americké, Indie, Nigérie, Mexiko a Súdán, viz obr. 3. V rámci Evropy jsou největšími producenty Francie, Itálie a Ukrajina. Na našem území se čiroky ve větším měřítku prakticky nepěstují a jejich osevní plocha se pohybuje v rámci několika set hektarů (Hermuth et al., 2012).



Obr. 3: Graf nejvýznamnějších světových pěstitelů čiroku dle FAO (2017)

2.3 Nároky na prostředí

Čiroku, jakožto krátkodenní rostlině, vyhovují oblasti mezi 40 ° severní a 40 ° jižní zeměpisné šířky, s nadmořskou výškou do 1 000 m. n. m. Stejně jako například kukuřice patří mezi C₄ rostliny (Elzebroek et Wind, 2008). Teplomilné C₄ rostliny jsou schopny lépe odolávat vodnímu stresu a mají lepší využití vody než rostliny C₃ (Harsch et Deepti, 2005) a také mají rychlejší transport asimilátů z listů (Rowan, 2003). Ghannoum (2009) však uvádí, že ačkoliv mohou mít C₄ rostliny lepší využití vody, je C₄ fotosyntéza na rozdíl od C₃ náchylnější na nedostatek vody. I nejméně náročné druhy čiroku pěstované na zrno vyžadují teplotní sumu mezi 2500 až 3500 °C. Pokud jsou rostliny pěstovány na hmotu, mohou být teplotní sumy i nižší (Petříková et al., 2006). Podobně jako kukuřice se čiroky vyznačují pomalým počátečním růstem. Klíčení začíná při 10 – 12 °C, optimální teplota je však 20 – 25 °C. Ideální teplota pro růst čiroků se podle Skládanky (2006) pohybuje v rozmezí 25 – 33 °C. Na nízké teploty jsou čiroky citlivé ve všech fázích vývoje, zejména v období vzcházení a kvetení. Doba vzcházení je závislá na teplotě a podle Hermutha et al. (2012) se pohybuje v rozmezí 10 – 14 dní.

Nároky na vodu jsou u čiroku ve srovnání například s kukuřicí poměrně nižší (Hermuth et al., 2012). Podle Petříkové et al. (2006) má koeficient transpirace okolo 200 litrů na kilogram sušiny. Ačkoliv je suchovzdornou rostlinou a jeho nároky na dostatek vláhy jsou nižší, je čirok adaptován na širokou škálu vlhkostních podmínek a je schopen přežít i krátkodobé zamokření. Bez závlah je možné pěstovat čirok tam, kde je roční úhrn srážek alespoň 400 – 600 mm (Elzebroek et Wind, 2008).

Rovněž nároky na půdní podmínky jsou oproti kukuřici nižší a čirok je schopný přizpůsobit se různým kvalitám půd. Vhodnější jsou však půdy střední, s dostatečnou hloubkou ornice a dobře zásobené živinami (Hermuth et al., 2012). Podle Elzebroek et Wind (2008) je schopen růst v rozmezí pH od 5 do 8,5. Další významnou vlastností z hlediska adaptace na nepříznivé podmínky je schopnost růst i v částečně zasolených půdách (Netondo et al., 2004).

2.4 Šlechtění čiroku

Podobně jako jiné plodiny je i čirok intenzivně šlechtěn. Stejně jako například u kukuřice je šlechtění směřováno z významné části na tvorbu hybridních odrůd. Pro jejich tvorbu jsou častými genetickými zdroji krajové odrůdy a plané příbuzné druhy. Vzhledem k tomu, že se jedná o krátkodenní rostlinu, bylo a je šlechtění často zaměřeno na přizpůsobení se podmínkám mírného pásma, tedy delším dnům (Hermuth et al., 2012). Quinby (1975) uvádí, že dalším důležitým cílem šlechtění zrnového čiroku je zkrácení výšky rostlin, a to kvůli usnadnění zejména mechanizované sklizně a omezení poléhání. Kromě šlechtění na výnos, je šlechtění ve světě zaměřeno jak na rezistenci vůči houbovým chorobám, tak i hmyzím škůdcům. Příkladem mohou být zástupci dvoukřídlého hmyzu *Stenodiplosis sorghicola* (Coquillett) nebo *Atherigona soccata* (Rondani) (Reddy et al., 2004). Dále jsou rostliny šlechtěny na to, aby byly schopny přizpůsobit se různým půdním podmínkám, jako je například vyšší obsah hliníkových iontů v půdě anebo rezistence k suchu. V Německu se současní šlechtitelé zaměřují na hledání odrůd s co nejnižšími teplotními nároky (Hermuth et al., 2012).

Na našem území se šlechtěním čiroku zabývá Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., se sídlem v Praze - Ruzyni. Mezi jeho významné úspěchy z posledních let patří nová odrůda Ruzrok, která byla vyselektována z genetických zdrojů Genové banky. Je to první odrůda české proveniencí typu populace. Její využití je jako energetická plodina, krmivo i potravina (VÚRV, 2015). Byla registrována v roce 2016 a kromě ní je u nás registrováno dalších šest odrůd čiroku (UKZÚZ, 2016).

2.5 Popis bérů a zařazení do botanického systému

Bér je rod lipnicovitých trav z čeledi (*Poaceae*), podčeledi prosovitě (*Panicoidae*). V rámci České republiky jsou známy především plevelné formy, jako je například bér zelený (*Setaria viridis* (L.) Beauv.) nebo bér sivý (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult.). Existují

však i druhy, které jsou využívány jako kulturní plodiny. Jedním z nich je bér italský (*Setaria italica* (L.) Beauv.) (Dostál, 1989).

Bér italský (viz obr. 4) neboli vlašský běžně dorůstá výšky okolo 100 cm, může však dosáhnout i více než 150 cm. Květenstvím je až 30 cm dlouhý lichoklas (Dostál, 1989). Stejně jako čirok je i bér čirok rostlinou s C₄ cyklem (Brutnell et al, 2010). Nejpravděpodobněji vznikl z béru zeleného. Jedním z rozdílů mezi bérem italským a jeho předkem je, že u kulturní formy v době zralosti zrno z lichoklasu samovolně nevypadává (Hermuth et al, 2015).

Bér je jednou z velmi starých plodin, která byla ve své domovině pěstována a využívána už před 7000 lety (Elzebroek et Wind, 2008). Sinskaja (1973) uvádí, že původní oblastí výskytu béru byla východní Asie, konkrétně Čína, kde byl bér domestikován společně s prosem (*Panicum miliaceum* L.). Odtud se dostal postupně přes Mongolsko a Přední Asii do Středomoří a Afriky.

Šlechtění této plodiny se věnuje zejména Čína a Indie. Stejně jako u většiny ostatních plodin je hlavními cíli šlechtění vytvoření odrůd, které budou poskytovat vyšší výnosy a také obilky s vysokým obsahem bílkovin. Dalšími šlechtitelskými cíli jsou rezistence ke škůdcům, chorobám a poléhání, dále pak adaptace k místním agro-ekologickým podmínkám, jako jsou sucho či chlad. Nejběžnějšími technikami při šlechtění béru jsou selekce a tvorba hybridních odrůd. (Hermuth et al, 2015). Na území ČR se šlechtění béru věnuje pouze Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i.. Mezi významnější úspěchy tohoto ústavu z posledních let patří udělení ochranného práva k odrůdě Ruberit, k čemuž došlo v roce 2014. Tato odrůda je vhodná jak pro tvorbu biomasy, tak pro potravinářské účely (VÚRV, 2015).

Bér italský tvoří sice jen nepatrné procento světové produkce obilnin, ale je velmi významný v suchých oblastech a místech s horší kvalitou půd, kde nemohou být pěstovány běžné, náročnější plodiny (Elzebroek et Wind, 2008). Původně sice není suchovzdornou plodinou, ale díky krátké vegetační době je schopen růst a dozrávat i v podmínkách, kde roční suma srážek nepřesáhne 125 mm (Hermuth et al, 2015). Je tedy jedním z důležitých zdrojů energie, bílkovin, vitamínů a minerálů pro miliony lidí v nejchudších zemích světa. Podobně jako čirok neobsahuje lepek a je proto často využíván při bezlepkové dietě (Elzebroek et Wind, 2008). V Japonsku a Číně je využíván jako náhrada sladu při výrobě piva, ale i jiných alkoholických nápojů.

Kromě lidské výživy může být součástí krmiv hospodářských zvířat, převážně drůbeže. Často je tento druh béru pěstován jako pícnina, a to zejména v jižních státech Evropy, USA a Asii. Bér italský je také pěstován jako léčivá rostlina. Používá se na zlepšení trávení, léčbě horečky či snižování cholesterolu v krvi (Hermuth et al, 2015).

Světová produkce od 50. let minulého století výrazně poklesla. Mezi současné nejvýznamnější pěstitele patří Čína, Indie, Afghánistán, Mandžusko a Gruzie (Elzebroek et Wind, 2008).

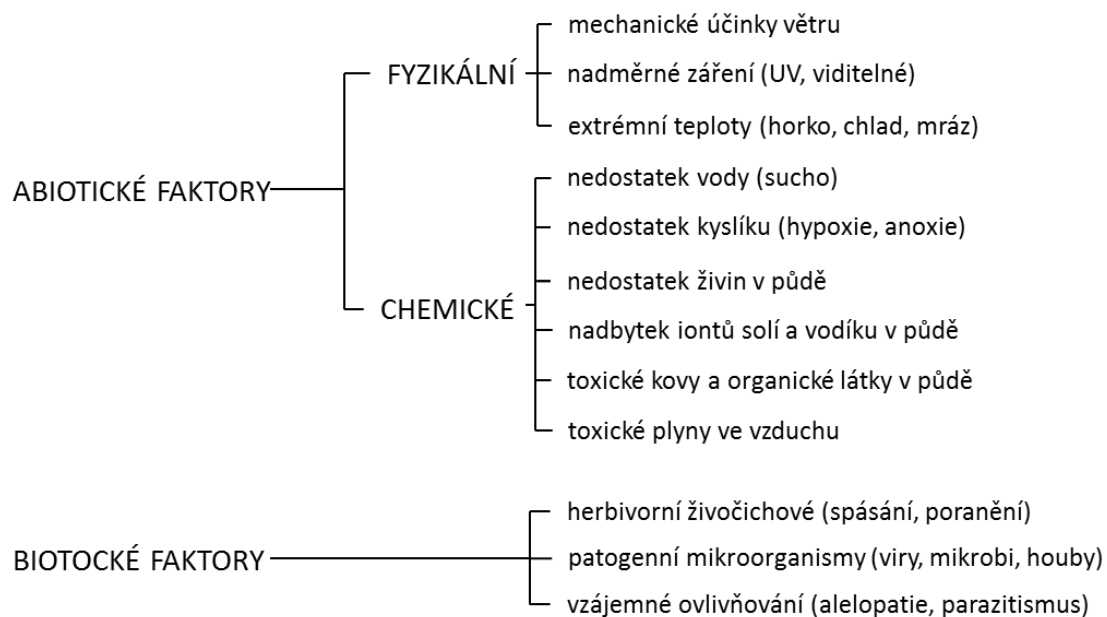


Obr. 4: Porost bėru italského (*Setaria italica* (L.) Beauv) (forestryimages.org, 2017)

2.6 Obecná charakteristika stresu

Rostliny se vyznačují mimořádnou rozmanitostí ve schopnosti růst, vyvíjet se a přežívat v širokém rozmezí vnějších podmínek. Každému rostlinnému druhu však vyhovuje užší rozpětí vnějších podmínek (Kůdela et al., 2013). Méně vhodné podmínky, které ovlivňují rostlinu negativně a nutí jí k různým změnám a přizpůsobením, označujeme jako stresové faktory, neboli stresory (Hnilička et Hniličková, 2016).

Stresory můžeme rozdělit podle původu na vnitřní a vnější. Vnitřní stresory jsou odvozeny od mutací nebo abnormálního dělení buněk, které mohou vést k metabolickým změnám. Podle Kůdely et al. (2013) jsou typické genetické poruchy, tedy vnitřní stresory například albinismus či fasciace. Vnější stresory můžeme dále rozdělit na faktory biotické a abiotické (Ahmad et Prasad, 2012), jejich přehled je uveden na obr. 5.



Obr. 5: Rozdělení stresových faktorů (Procházka et al., 1998)

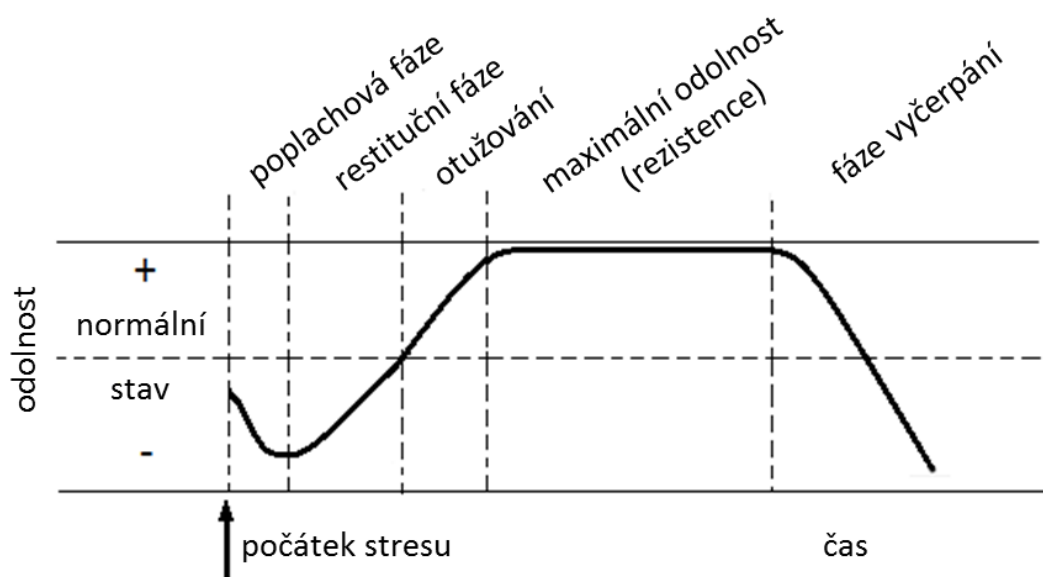
Abiotické faktory lze rozdělit do dvou skupin, a to na stresory fyzikální, jako jsou nadměrné záření či extrémní teploty. Druhou skupinou jsou chemické abiotické stresové faktory. Mezi nejvýznamnější chemické faktory patří nedostatek vody a živin nebo například nadbytek iontů solí, či přítomnost těžkých kovů, toxických látek v půdě. Do skupiny biotických stresorů patří vzájemné ovlivňování rostlin či nejrůznější herbivorní a patogenní organismy (Nilsen et Orcutt, 1996).

Boyer (1982) uvádí, že celosvětově je výnosový potenciál pěstovaných plodin limitován v důsledku působení stresorů přibližně z 25 %. Poškození rostlin je velmi často ovlivněno kombinací různých stresorů, druhem a stářím rostliny (Hnilička et Hniličková, 2016). Podle Jenks et Wood (2010) je míra škod na výnosech zemědělských plodin velice závislá především na ročníku, intenzitě a době působení těchto stresorů. Hnilička et Hniličková (2016) uvádí, že při krátkodobém působení stresorů nemá ve většině případů na poškození rostlin významnější vliv. Pokud jsou však rostliny vystaveny nepříznivým podmínkám dlouhodobě, dochází k poškození jednotlivých orgánů a následně i celých rostlin.

Aby rostlina překonala určitý stresový faktor, musí mobilizovat své energetické zdroje a obranné nebo adaptivní či poplašné fyziologicko-biochemické reakce. Stav organismu, který se liší od normálu a nadměrně jej zatěžuje, se nazývá stres (Kúdela et al., 2013). Podle Nilsen et Orcutt (1996) může být definice fyziologického stresu jednoduše vysvětlena, jako soubor podmínek způsobující fyziologické změny, které mají za následek poškození rostlin. V některých případech může být nevhodné použít tuto definici, protože fyziologické procesy,

kteře následují v reakci na podmínky prostředí, nemusí mít nezbytně škodlivý vliv. Díky tomu se můžeme setkat s dalším termínem, a to strain. Pojem strain je podle Levitt (1980) fyziologická změna v důsledku působení environmentálního stresu, která však nemusí vždy nezbytně vést k redukci růstu rostliny. V současnosti je pojem strain nahrazován pojmem stresová reakce.

Při působení stresorů prochází rostlina sekvencí charakteristických fází, které se nazývají stresová reakce (Hnilička et Hniličková, 2016). Její idealizovaný průběh podle Larchera (1995) můžeme sledovat na obr. 6. Bezprostředně po začátku působení stresoru dochází k narušení buněčných struktur a funkcí (poplachová fáze). Pokud intenzita působení stresového faktoru nepřekročí letální úroveň, dochází k mobilizaci kompenzačních procesů (restituční fáze), která směřuje ke zvýšení odolnosti vůči působícímu stresu (fáze rezistence). Při dlouhodobém působení stresu může dojít k vyčerpání rostliny (fáze vyčerpání) a dále až k odumření (Hnilička et Hniličková, 2016).



Obr. 6: Průběh stresové reakce (Larcher, 1995)

Stresovou reakci lze podle Selye (1973) rozdělit na specifickou a nespecifickou, a to na základě přeměny metabolických drah. Hnilička et Hniličková (2016) uvádí, že koncepce těchto dvou složek stresové reakce je poměrně komplikovaná kvůli tomu, že i specifická reakce postrádá specifitu. Příkladem mohou být heat shock proteiny (HSP), které rostliny vytvářejí v reakci na působení vysokých teplot, ale byly rovněž objeveny při působení stresu těžkými kovy.

Výše uvedení autoři dále uvádějí, že vlivem kombinace působení stresových reakcí dochází rovněž k tzv. křížové ochraně. S tímto jevem se můžeme často setkat zejména u kombinace stresů suchem a zasolením. V případě působení obou těchto stresorů zároveň byly rostliny odolnější.

Dalšími termíny souvisejícími se stresem rostlin jsou eustres a distres. Reakce rostlin na eustres je spíše pozitivní a je spojena s řadou žádoucích procesů. Jedná se tedy o varovné signály a hrozby pro rostlinu. Distres se u rostlin vyskytuje mnohem častěji než eustres a má vždy negativní dopad (Schulze et al., 2005).

Podle Nilsen et Orcutt (1996) se dají fyziologické reakce v důsledku působení stresorů rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou mechanismy, které vedou k vyhnutí se podmínkám stresu (avoidance), prostřednictvím snížení metabolické aktivity. Druhou skupinou jsou mechanismy, které zachovávají vysokou úroveň metabolické aktivity během mírného stresu a během silného stresu aktivitu metabolismu redukují (tolerance).

Hnilička et Hniličková (2016) také uvádí další termín spojený s fyziologií reakce rostlin na stres, a to adaptace. Podle těchto autorů se adaptací rozumí vznik výhodných kombinací genů v rostlině, tedy o genetické změny na úrovni populací, které se uskutečňují po mnoho generací. Genotypy s výhodnou kombinací genů se ve stresových podmínkách lépe uplatní a stávají se v populaci dominantní.

2.7 Zasolení

Zasolené půdy jsou definovány převážně jako lehké písčité půdy s vysokým obsahem vodorozpustných solí, které mají elektrickou vodivost vyšší než 4 dS/m, množství výměnného sodíku vyšší než 15 % a pH více než 8,5 (Jenks et Wood, 2010). Solné půdy (viz obr. 7) v humidních oblastech obsahují převážně NaCl, kdežto v suchých stepních a pouštních oblastech obsahují spíše zásadité sírany a uhličitany Na, Mg a Ca (Larcher, 1995).

Larcher (1995) dále uvádí, že příčiny zasolení půd lze rozdělit do dvou skupin. Do primární skupiny lze zahrnout výsledky přirozených pochodů a do sekundárních příčin zasolení půd patří následky lidských zásahů.

Primární salinita je výsledkem vývojových procesů, jako jsou výpar vody z půdy a pohyb podzemní vody, přinášející soli směrem k povrchu. Tímto způsobem se zasolují půdy zejména v suchých oblastech, kde je roční výpar vody z povrchu větší než množství srážkové vody ročně prosakující do půdy. Dále sem patří vliv mořské vody, a to zejména v důsledku přílivu a odlivu, rovněž zasolené půdy podél tekoucích vod, které se dostaly do styku s ložisky solí (Larcher, 1995).

Významné sekundární zasolení, tedy způsobené činností člověka, zapříčiňují závlahy, konkrétně nízká kvalita závlahové vody. Další příčinou je ničení důležitých záchytných míst vody, a to zejména hluboko kořenící vegetace. Rovněž solení komunikací v zimním období přispívá ke zvyšování obsahu solí v okolní půdě. Zdrojem sekundárního zasolení se mohou stát i průmyslová hnojiva (Jenks et Wood, 2010).

Zasolení je celosvětově jedním z nejvíce limitujících faktorů v rostlinné výrobě. Odhaduje se, že 20 % veškeré obdělávané půdy a téměř polovina zavlažované půdy je postiženo zasolením, což způsobuje snížení výnosů hluboko pod genetický potenciál pěstovaných rostlin (Jenks et Hasegawa, 2005). Na území ČR je podle Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i., slabě zasoleno přibližně 6600 hektarů zemědělské půdy (2011).



Obr. 7: Příklad extrémně zasolené půdy v Central Valley (Kalifornie, USA)
(watereducation.org, 2009)

2.8 Vliv zasolení na rostliny

Vyšší koncentrace solí v apoplastu buněk má různé důsledky, které negativně ovlivňují přežití, růst i vývoj rostliny (Larcher, 1995). Citlivost různých druhů rostlin vůči zasolení je často spojená s vývojovou fází. Například cukrová řepa (*Beta vulgaris* L. ssp. *altissima*) je velmi citlivá vůči vyššímu obsahu solí zejména během klíčení, naopak

v pozdějších fázích vývoje je poměrně tolerantní. Dalším příkladem může být kukuřice setá (*Zea mays* L.), která se na rozdíl od cukrové řepy vyznačuje vyšší mírou odolnosti během klíčení, následně je však více citlivá během vzcházení a počátečního růstu (Shannon, 1997).

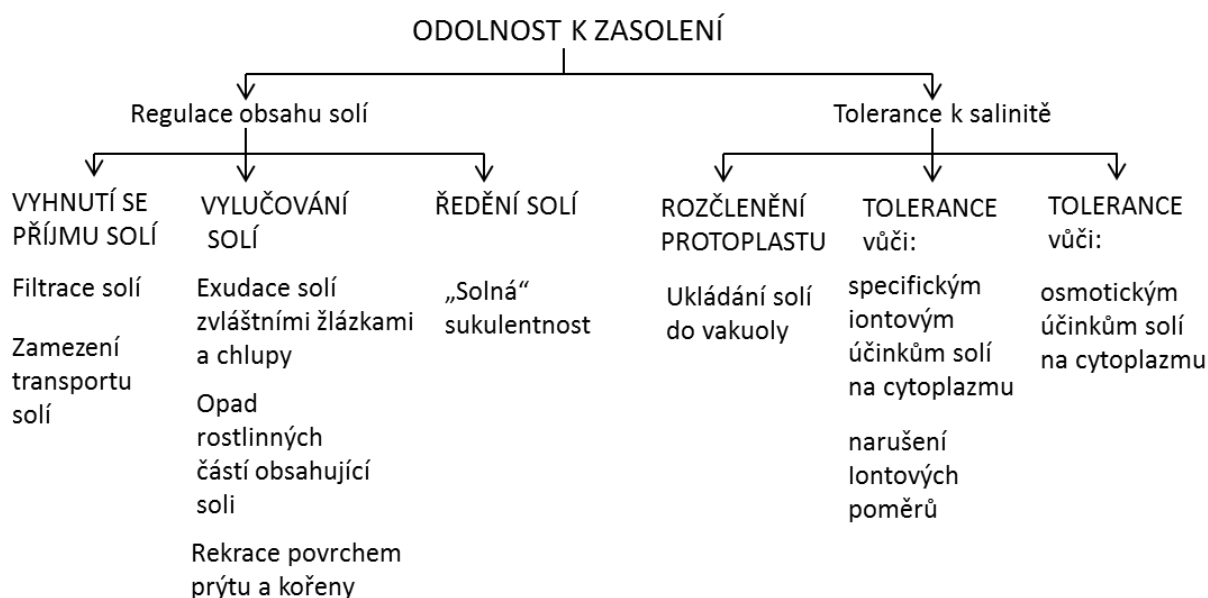
Soli působí na rostlinu jednak tím, že jejich roztoky osmoticky váží vodu, v dalším případě tím, že jejich ionty specificky působí na protoplasmu (Larcher, 1995). Zvyšující se koncentrace solných roztoků způsobuje, že je v nich zadržováno stále vyšší množství vody, která se tím pádem stává rostlinám čím dál méně přístupnou. Roztok, který obsahuje 0,5 % NaCl má osmotický potenciál -0,42 MPa, 1 % roztok má -0,83 MPa a 3 %, tedy přibližně stejně koncentrovaný jako mořská voda má -2 MPa. Rostliny jsou schopny přijímat vodu ze zasoleného substrátu pouze v tom případě, že jsou schopny vytvořit nižší osmotický potenciál než je potenciál solného roztoku (Larcher, 1995).

Hlavní účinky stresu způsobené NaCl jsou poruchy příjmu živin, a to především K^+ a Ca^{2+} , poruchy buněčných membrán, fotosyntézy a dalších biochemických procesů (Jenks et Hasegawa, 2005). Svensson (2001) uvádí, že k poškození buněčných membrán dochází poněkud odlišným způsobem, než na příklad ve srovnání s účinky stresu suchem. Stres suchem vede ke smršťování buněčné stěny i cytoplasmatické membrány. Osmotický stres způsobený účinky solí se liší tím, že buněčná stěna zůstává beze změny, zatímco cytoplasmatická membrána se smršťuje v důsledku ztráty vody z buněk. Zvýšený obsah solí má také vliv na hyperosmolalitu, kdy dochází ke snížení vodního potenciálu zapříčiněnému redukcí či ztrátou turgoru (Jenks et Hasegawa, 2005).

Obecně platí, že nedostatečné osmotické úpravy vedou ke snížení turgoru a uzavírání průduchů, což je brzy následováno sníženou intenzitou výměny plynů a fotosyntézy. Ztráta turgoru může mít také škodlivé účinky na dělení a prodlužování buněk (Shannon, 1997). Dalšími účinky solí jsou poruchy asimilace dusíku a změny zastoupení aminokyselin. Nadbytek Na^+ a ještě více nadbytek Cl^- zřetelně vedou k bubření protoplazmy (Larcher, 1995). Podle Niu et al. (1995) dochází v buňkách k iontové nerovnováze. Oba ionty, Na^+ i Cl^- , jsou inhibitory různých procesů uvnitř buněk, jako je inhibice enzymů, ke které dochází při koncentraci vyšší než 0,4 M. Serrano et al. (1999) uvádí, že mimo to dochází k produkci sekundárních metabolitů, jejichž účinky musí rostlina zmírnit, aby byla schopná přežít a obnovit růst a vývoj. Mezi tyto látky patří alkaloidy, seskviterpeny, trísloviny a také reaktivní formy kyslíku (ROS). V důsledku všech těchto poruch dochází k poklesu produkce sušiny a rychlosti růstu rostlin (Larcher, 1995).

2.9 Obranné reakce rostlin vůči zasolení

Obecně lze odolnost rostlin vůči zasolení popsat jako schopnost přetrvat přítomnost nadbytku solí, aniž by byly vážně narušeny jejich životní funkce. Odolnost rostlin lze rozdělit na regulaci obsahu solí anebo toleranci k salinitě, jak je podrobněji uvedeno na obr. 8.



Obr. 8: Složky odolnosti vůči zasolení cévnatých rostlin (Larcher, 1995)

Z něho vyplývá, že se jedná převážně o vlastnost protoplazmy, která je podle typu pletiva a vitality buňky schopna snášet změny iontových poměrů a osmotické účinky zvýšené koncentrace iontů. Protoplasty, které jsou odolné, mohou přežít i koncentrace 4 až 8 % NaCl, naopak protoplasty citlivé k solím odumírají v roztocích s koncentrací NaCl 1 až 1,5 % (Larcher, 1995). Rostliny, a to zejména přirozeně se vyskytují ve slaném prostředí, neboli halofyty využívají mnoho mechanismů, které jim pomáhají v těchto nepříznivých podmínkách přežít (Zhu, 2003). Typickým příkladem halofytní rostliny je podle Jenks et Hasegawa (2005) *Thellungiella halophila* (viz obr. 9).



Obr. 9: Příklad halofytní rostliny - *Thellungiella halophila* (Ústav experimentální botaniky ČR, 2012).

Halofyty jsou schopny vyhnout se podmínkám zasolení zejména tím, že jsou životu v solných podmínkách morfologicky uzpůsobeny (Jenks et Hasegawa, 2005). Tyto rostliny musí být schopny přijímat a hromadit v sobě soli, aby mohly odnímat půdě osmoticky vázanou vodu. Kdyby se v nich však soli hromadily v průběhu celého života, způsobily by postupně produkční pokles rostlin a nakonec by měly toxické účinky. Je-li stres dlouhodobý a stále sílí, musí rostliny využívat právě ochranné a vyrovnávací mechanismy, které chrání protoplazmu před účinky stresové zátěže, anebo je alespoň oslabují či oddalují. Mezi tyto způsoby patří filtrace solí kořenovým systémem nebo přerušení transportu solí do listů, přičemž soli zůstávají v kořenech nebo kmenech (Larcher, 1995).

Dalším způsobem je vylučování solí, které probíhá buď exudací a rekrecí na povrchu prýtu anebo tím, že se sůl hromadí v určitých částech rostliny, zejména starých listech, které rostlina shodí (Larcher, 1995). Typickým zástupcem, který má žlázy pro vylučování solí je mangrovová rostlina *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. vyskytující se v subtropických a tropických oblastech (Drennan et Pammenter, 1982).

Podle Larchera (1995) se lze ve spojení s adaptací některých halofytních rostlin setkat i s pojmem „solná sukulentnost“. Jedná se o výskyt sukulentních znaků u rostlin, které však mezi sukulenty nepatří. Typickým příkladem je podle Megdiche et al. (2007) brukvovitá

rostlina pomořanka přímořská (*Cakile maritima* Scop.) Ještě typičtější rostlinou, u které lze pozorovat uvedené znaky, je kosmatec třpytivý (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) Tato rostlina je uvedena na obr. 10 (Mořková et al., 2014). U rostlin, které nepatří mezi halofyty, působí odolnost k zasolení jako selekční činitel v přirozeném výběru při osidlování zasolených stanovišť, jako jsou mořské pobřeží či okolí zasolených nádrží (Larcher, 1995).



Obr. 10: Kosmatec třpytivý (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) (swbiodiversity.org, 2017)

Nezbytností pro toleranci rostlin vůči zasolení je iontová a osmotická rovnováha (Niu et al, 1995). Vznik této rovnováhy během působení stresu zasolením je nezbytně nutný nejen k tomu, aby zabránil buněčné smrti, ale je také nutný pro fyziologické a biochemické pochody, nutné pro dokončení životního cyklu rostliny (Jenks et Hasegawa, 2005).

Nitrobuněčná iontová rovnováha vyžaduje kontrolu nad příjmem toxických iontů a usnadnění jejich komplementace do vakuoly (Niu et al, 1995). Poněvadž je vakuola ústřední částí pro rozpínavost buňky, akumulace iontů v této organelle usnadňuje osmotické úpravy, které udržují růst s minimálním škodlivým účinkem na ostatní části buňky. Řízený příjem iontů skrze cytoplazmatickou membránu a jejich kompartmentace ve vakuole vyžaduje vnitrobuněčnou koordinaci všech transportních mechanismů a regulaci molekulárních systémů. Procesy, kterými je udržována iontová i osmotická rovnováha v rostlinných pletivech však nejsou dosud zcela detailně známy (Zhu, 2003).

Dosažení osmotické rovnováhy je způsobeno úpravou osmotického potenciálu. V důsledku reakce na zvýšený obsah solí se snižuje vodní potenciál. Tyto úpravy jsou tedy prevencí ztráty turgoru. Dalším mechanismem pro udržení turgoru je lepší využití vody. Jedná se například o vyšší odolnost listů rostlin, díky menšímu počtu a uzavírání průduchů anebo silnější vrstvu kutikuly (Shannon, 1997).

Osmotické rovnováhy je v cytoplazmě dosaženo rovněž nahromaděním organických rozpustných látek, které však neinhibují metabolické procesy. Tyto látky souhrnně nazýváme osmoticky aktivní látky. Patří sem rozpustné cukry (především sacharóza a fruktóza), glycerol, glycinebetain a aminokyseliny, a to zejména prolin (Hasegawa et al., 2000). Svensson (2001) uvádí, že do této skupiny patří také látky zvané dehydriny.

Funkce těchto látek není pouze udržování osmotické rovnováhy. Mezi jejich vlastnosti patří hydrofylita a mohou sloužit k přemísťování vody na povrchu proteinů nebo membrán. Další funkcí této skupiny látek je ochrana buněčných struktur proti reaktivním formám kyslíku (Hasegawa et al., 2000). Shannon (1997) uvádí, že tato skupina látek rovněž pomáhá udržovat enzymovou aktivitu.

Dehydriny, konkrétně jejich funkcemi v rostlinách ječmene a pšenice během stresových podmínek, se zabývají Kosová et al. (2014). Podle těchto autorů byl pozitivní vliv dehydrinů, zejména na ochranu proteinů a tlumení účinků reaktivních forem kyslíku (ROS), zjištěn při působení různých stresových faktorů, jako jsou extrémně nízké teploty, nedostatek vody či zasolení.

Nejvýznamnější aminokyselinou během stresových podmínek je již zmíněný prolin. Existují dva způsoby syntézy prolinu v rostlinách, a to z glutamátu a ornithinu. Za normálních podmínek je primárním zdrojem pro tvorbu prolinu ornithin, zatímco glutamát má přednost během stresových podmínek. Hlavní enzym, který katalyzuje tvorbu prolinu z glutamátu je pyrrolin – 5 - carboxylát reduktáza (Shinozaki et Shinozaki, 1999).

Aminokyselina prolin hraje velmi významnou úlohu u rostlin vystavených stresovým podmínkám. Kromě funkce osmoticky aktivní látky má prolin tři hlavní role během stresu, a to jako metalochelát, antioxidační molekula a signalizační molekula. Stresující prostředí vede v rostlinách k nadprodukcí prolinu, což vede k toleranci stresu udržováním buněčného turgoru nebo osmotické rovnováhy, stabilizací membrán, a tím brání úniku elektrolytů, udržuje ROS v normálním rozmezí, čímž se předchází oxidativnímu stresu rostliny (Hayat et al., 2012). ROS jsou produkovány rostlinami jako vedlejší produkty aerobního metabolismu. Některé formy ROS jsou vysoce toxické a zvýšení jejich koncentrace může inaktivovat

enzymy nebo poškodit důležité části buněk (Apel et Hirt, 2004). Podle Quan et al. (2008) patří mezi nejčastější formy reaktivního kyslíku peroxid vodíku (H_2O_2).

Glycinebetain se hojně vyskytuje v souvislosti s reakcí na stres u mnoha druhů rostlin, jako jsou řepa či ječmen. Kromě své funkce jako osmoticky aktivní látka může také chránit buňky před vlivy okolního prostředí nepřímo, a to prostřednictvím svých účinků na enzymy, či na membránovou integritu stabilizací struktury proteinů, chrání také cytoplasmu a chloroplasty, fotosyntetický aparát, a slouží jako lapač kyslíkových radikálů. Nicméně u mnoha druhů kulturních rostlin je akumulace glycinebetainu nižší než, je za potřeby pro zmírnění účinků dehydratace vlivem sucha. Kromě toho se glycinebetain v rostlinách normálně nerozkládá, takže může být snadno získáván jako vedlejší produkt při pěstování velkoobjemových plodin, jako je například cukrová řepa. Vnější aplikace glycinebetainu může být řešením plodin, které si ho nejsou schopny produkovat samy v dostatečném množství (Zhang et al., 2011).

3. Cíle a hypotézy

Zasolení půd patří mezi stresové faktory, které mají v celosvětovém měřítku významné negativní dopady na pěstování plodin. Různé druhy rostlin reagují na zasolení odlišným způsobem. Mezi rostliny vyznačující se vyšší odolností vůči vyššímu obsahu solí v půdě patří např. čirok (*Sorghum* sp.). Naopak mezi plodiny snášející horší půdní podmínky, ale vykazující nižší odolnost vůči zasolení patří např. bér italský (*Setaria italica*).

Na základě těchto skutečností byly navrženy následující cíle práce:

1. Stanovit míru poškození buněčných membrán na základě relativního výtoku elektrolytů v závislosti na působení zasolení půdy a použitém genotypu.
2. Stanovit a vyhodnotit obsah prolinu ve vztahu k působení zasolení na vybrané genotypy.

Na základě stanovených cílů práce byly navrženy následující hypotézy:

1. Existují genotypové rozdíly v reakci rostlin na vyšší obsah solí v půdě?
2. Existují genotypové rozdíly v obsahu prolinu a relativního výtoku elektrolytů u vybraných genotypů čiroku a béru?

Zvolené pokusné druhy rostlin byly vybrány s ohledem na oblast jejich domestikace a pěstování, což jsou převážně aridnější oblasti Země. Dalším výběrovým kritériem byl předpoklad rozdílného chování sledovaných druhů rostlin vůči půdní salinitě.

4. Materiál a metody

Sledoval se vliv zasolení půdy na čtyři vybrané genotypy čiroku a jeden genotyp béru. U pokusných rostlin, v juvenilní fázi vývoje, se sledoval obsah prolinu a relativní výtok elektrolytů v závislosti na působení rozdílné koncentrace soli v závlahové vodě

4.1 Pokusný materiál a jeho charakteristika

Sledované fyziologické charakteristiky byly hodnoceny u 4 genotypů čiroku: Ruzrok, Barnard Red, 30485 a 1216; a u jednoho genotypu béru: Ruberit. Osivo vybraných genotypů bylo získáno z Genové banky VÚRV, v. v. i., se sídlem v Praze - Ruzyni. Charakteristika dle VÚRV (2015) A GRIN (2017):

Ruzrok

Jedná se o odrůdu, která byla vyselektována z kolekce genetických zdrojů Genové banky VÚRV. Je registrována od roku 2016 a jedná se o první českou odrůdou typu populace. Její využití je jako energetická plodina či krmivo, má i potravinářské využití. Výška rostlin se pohybuje okolo 200 cm, délka květenství je průměrně 20 cm. Doba vzcházení od zralosti je 99 dní. Hmotnost tisíce semen (HTS) je 17,6 g.

Barnard Red

Tato odrůda pochází z Argentiny, kde byla získána při sběru vzorků v roce 1962. Jedná se o méně vzrůstnou odrůdu, která dosahuje výšky 120 cm. Lata jsou vzpřímené a eliptické. Druhou část názvu získala rostlina díky své rudé barvě, která se projevuje v pozdějších fázích vývoje

30485

Genotyp pocházející z Ruska. Výška rostlin je běžně do 200 cm, může však dosáhnout výšky i přes 2 m. Květenstvím je vzpřímená lata, s délkou až 40 cm. Barva rostlin je nafialovělá. HTS se průměrně pohybuje okolo 11 g. Vegetační doba je v našich podmínkách dlouhá 114 dní.

1216

Genotyp 1216, též nazývaný Dokok, pochází ze sběru uskutečněného v roce 1959 v Argentině. Podobně jako Barnard Red nedosahuje v porovnání s jinými genotypy velkých rozměrů a dorůstá přibližně jen 140 cm. Vyznačuje se bílou barvou zrna. Lata je vzpřímená, eliptická, dorůstající se 30 cm. Během pozdějších vývojových fází mají rostliny fialovou až narudlou barvu. Délka vegetační doby na našem území je okolo 121 dnů. HTS je průměrně 15 g.

Ruberit

Tato odrůda bėru italského byla vyselektována z kolekce genetických zdrojů Genové banky VÚRV. Jedná se o vysokou odrůdu s malým počtem odnoží a středně zakřivenou latou. Zrno má okrové zbarvení a plevy jsou hořčicově žluté. Odrůda Ruberit může být pěstována jak pro tvorbu biomasy, tak na zrno, které je vhodné pro krmné účely i potravinářské využití.

4.2 Založení pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku KBFR FAPPZ. Teplota byla nastavena na 20 °C ve dne a 18 °C v noci, za přirozeného světelného režimu (14 hodin světa a 10 hodin tmy). Pokusné rostliny byly pěstovány v nádobách o velikosti 11 x 11 cm, ve směsi zahradnického substrátu a říčního písku. Poměr těchto složek činil 2:1. Zahradní substrát je jemný (maximálně 10 % částic nad 10 mm), udržující vzdušnost prostředí, neslévavý, nezasolený, pH ve vodném roztoku 5,5 – 6,5, bez plevelů a škůdců, obsahující 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku, s podílem částic nad 25 mm max. 5 %. Obsah živin byl následující: N: 80120 mg l⁻¹, P₂O₅: 50- 100 mg l⁻¹, K₂O: 100- 150 mg l⁻¹. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg kg⁻¹ sušiny. Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (agrocs.cz, 2015). Do fáze 6 listů byly rostliny zavlažovány jednotně destilovanou vodou a poté byly rozděleny do čtyř pokusných variant. Založení pokusu je uvedeno v příloze/ I - III.

Rostliny ve fázi 6 listů (BBCH 15) byly rozděleny dle schématu pokusu do 4 skupin. Schéma pokusu zahrnovalo 4 varianty: K (zavlažovaná destilovanou vodou), S1 (0,15 M NaCl), S2 (0,25 M NaCl) a S3 (0,50 M NaCl), jak dokládá tab. 1. Rostliny kontrolní i stresované byly po celou dobu pokusu pravidelně zavlažovány závlivkou o objemu 0,25 l. Odběr rostlin se uskutečnil vždy ve dvoudenních intervalech. Počet odběrů byl 15, při zachování 4 opakování.

varianta	Charakteristika	Vodní potenciál půdy - ψ_v (MPa)
K	zavlažována destilovanou vodou	-0,08
S1	zavlažovaná vodou o koncentraci 0,15 M NaCl	-2,89
S2	zavlažovaná vodou o koncentraci 0,25 M NaCl	-5,58
S3	zavlažovaná vodou o koncentraci 0,50 M NaCl	-8,57

Tab. 1: Pokusné varianty

4.3 Metody měření sledovaných charakteristik

4.3.1 Stanovení relativního výtoku elektrolytů

Relativní výtok elektrolytů byl stanoven na základě metodiky dle Campose et al. (2003) a Allinne (2010). Z různých částí listové čepele mimo středního žebra vykrojíme pomocí korkovrtu 10 terčků o průměru 1 cm (viz obr. V). Tyto terčičky důkladně propláchneme destilovanou vodou a vložíme do zkumavky s 10 ml destilované vody (viz obr. VI). Zkumavku umístíme na 24 hodin do lednice. Po 24 hodinách změříme konduktometricky elektrickou vodivost roztoku ve zkumavce (viz obr. VII), jedná se o hodnotu REL_1 . Poté zkumavku se vzorkem povaříme 20 minut ve vodní lázni, tak aby bylo dosaženo maximálního poškození buněčné struktury. Po vyjmutí z horké vody a vyrovnaní teplot opět změříme elektrickou vodivost (REL_2). Pro měření byl použit konduktometr GRYF 106 L3 (GRYF HB spol. s.r.o., ČR). Míra poškození, tj. relativní výtok elektrolytů (REL%), byl na základě změny vodivosti roztoku vypočítán ze vzorce:

$$CMS = [1 - (T1 - T2)] / [1 - (C1 - C2)] \times 100$$

$$Rel\% = 100 - CMS$$

4.3.2 Stanovení obsahu prolinu

Stanovení obsahu prolinu ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty) v rostlinném materiálu se provádělo na základě metodiky dle Bateše et al. (1973). Navážíme 0,5 g listové čepele bez středního žebra a vložíme do třecí misky. Do třecí misky přidáme 1 ml 3 % kyseliny sulfosalicylové a pomocí tloučku rozetřeme na jemnou kaši, následně přidáme další 4 ml kyseliny

sulfosalicylové a krátce promícháme. Vzorek přefiltrujeme do kádinky přes filtrační papír umístěný v nálevce (viz obr. VIII). Z kádinky odpipetujeme 1 ml filtrátu, přidáme 1 ml ninhydrinu a 1 ml koncentrované kyseliny octové. Zkumavku se směsí umístíme na 10 minut na třepačku. Poté 30 minut vaříme ve vodní lázni a po začátku varu snížíme teplotu na 50-60 °C. Po vyjmutí z vodní lázně vzorek prudce zchladíme. Následně přidáme 3 ml toluenu a důkladně promícháme. Po 20 minutách nastane oddělení fází a nakonec změříme na spektrofotometru (viz obr. X) Helios γ (Thermo elektron corporation) absorbanci horní vrstvy vzorku při 520 nm. Jako blank používáme čistý toluen.

4.4 Použité statistické metody

K hodnocení statistických výsledků byla použita vícefaktorová analýza rozptylu (ANOVA) programu STATISTICA 12. 0. CZ.

5. Výsledky

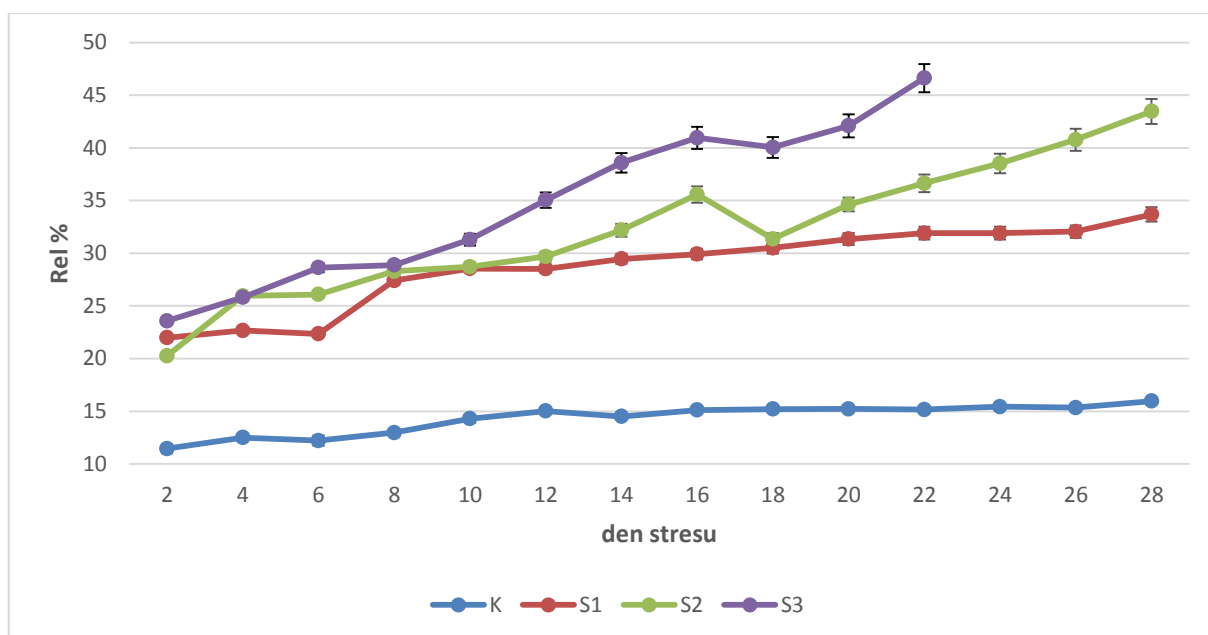
V této práci je sledován vliv zasolení na relativní výtok elektrolytů a obsah prolinu v listech juvenilních rostlin čiroku, genotypů 30485, 1216, Ruzrok, Barnard Red a béru, genotypu Ruberit. Schéma pokusu zahrnovalo 4 varianty: kontrolní (K) zavlažovaná po celou dobu pokusu destilovanou vodou, stresovaná (S1) zavlažovaná vodou o koncentraci 0,15 M NaCl; stresovaná (S2) zavlažovaná vodou o koncentraci 0,25 M NaCl, a stresovaná (S3) zavlažovaná vodou o koncentraci 0,50 M NaCl.

5.1 Relativní výtok elektrolytů

Genotyp 30485

Z grafu 1 je patrný vliv termínu odběru na relativní výtok elektrolytů v rámci pokusných variant u genotypu 30485. Nejnižší úroveň poškození buněčných membrán byla zjištěna u varianty K (kontrola), jejíž hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 11,45 % (2. den pokusu) do 15,96 % (28. den). Tyto nízké hodnoty ukazují na minimální poškození buněčných membrán. Naopak nejvyšší hodnoty byly naměřeny u varianty S3. U této varianty se hodnoty pohybovaly od 23,58 % (2. den) do 46,62 % (22. den). Od začátku až do konce působení stresu se úroveň poškození membrán plynule zvyšovala a pouze 18. den pokusu byl zaznamenán pokles o méně než 1 % (ze 40,96 % na 40,04 %). Naměřené vyšší hodnoty u varianty S3 signalizují vysokou úroveň buněčného poškození v důsledku zasolení substrátu (0,50 M NaCl). Na toto poukazuje i skutečnost, že měření se uskutečnilo jen do 22. dne, protože následně došlo v důsledku stresu k uhynutí sledovaných rostlin (viz obr. IV) a je tedy možné usuzovat, že až do konce sledovaného období bylo poškození membrán ve výši 100 %.

Varianta S2 vykazovala v průběhu pokusu druhé nejvyšší hodnoty v rámci genotypu 30485. Z 20,26 % (2. den) se hodnoty poškození membrány průkazně zvýšily až na 35,58 % (16. den), následně bylo zaznamenáno neprůkazné snížení na 31,35 % (18. den) a poté se míra poškození průkazně zvyšovala až do konce pokusu (28. den), na konečných 43,46 %. U varianty S1 (0,15 M NaCl) docházelo z počátku k mírnějšímu poškození membrán, a to z 21,98 % (2. den) na 23,25 % (6. den). Výraznější zvýšení poškození membrány bylo zjištěno v 8. dnu působení stresu, kdy naměřená hodnota činila 27,41 %. Od 8. dne se poškození postupně průkazně zvyšovalo až do konce pokusu, kde byla zjištěna hodnota 33,68 % (28. den), jak vyplývá z grafu 1.



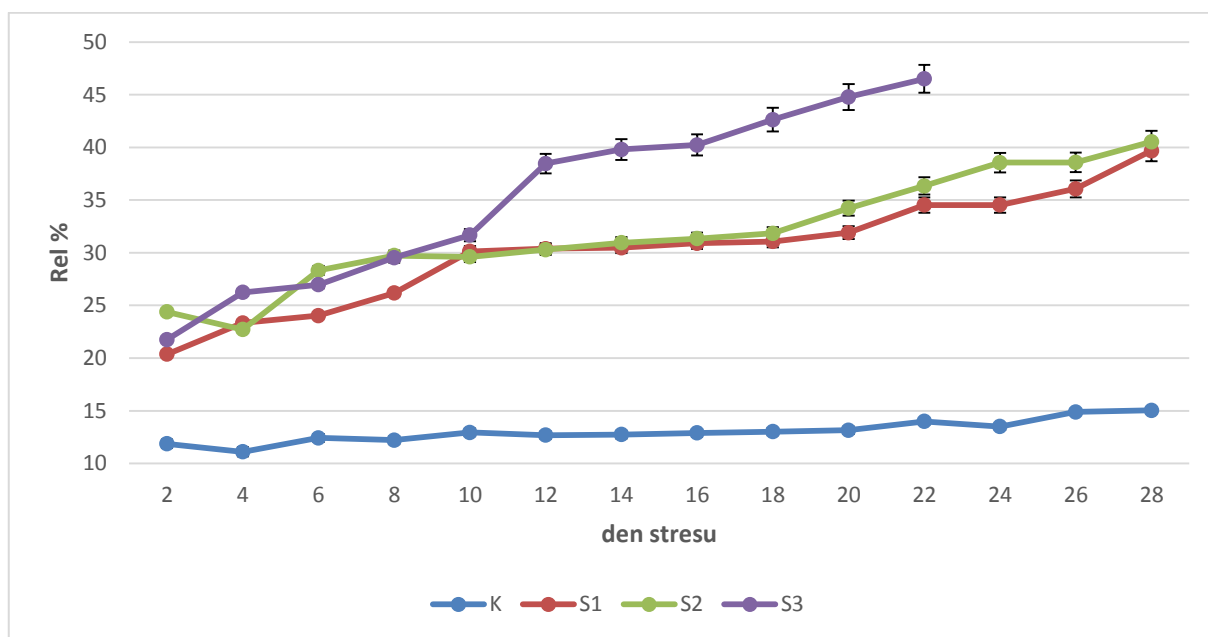
Graf 1: Relativní výtok elektrolytů (%) u genotypu 30485 v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Genotyp 1216

Vliv termínu odběru na relativní výtok elektrolytů (Rel %) v rámci pokusných variant u genotypu 1216, je uveden v grafu 2. Nejnižší hodnoty byly zjištěny kontrolních rostlin. U těchto rostlin byly naměřené hodnoty v rozmezí hodnot od 11,11 % (4. den) do 15,04 % (28. den). Míra poškození membrán byla u kontrolních rostlin vyrovnaná, bez statisticky průkazných diferencí a v rámci pokusných variant nejnižší. Na rozdíl od této varianty byla nejvyšší úroveň výtoku elektrolytů zjištěna u varianty S3. Druhý den pokusu byla naměřena hodnota 21,76 % a poté se hodnoty výtoku elektrolytů průkazně zvyšovaly až do konce pokusu, kdy poškození dosáhlo hodnoty 46,51 % (22. den), poté již došlo k uhynutí rostlin. Nejvyšší nárůst míry poškození membrán byl zaznamenán mezi 10. a 12. dnem, kdy se hodnota průkazně zvýšila z 31,67 % na 38,47 %.

Nižší míra poškození membrán byla zjištěna u variant S1 a S2 (0,15 a 0,25 M NaCl) v porovnání s variantou o nejvyšší koncentraci NaCl v roztoku. U obou těchto variant byl zjištěn kromě prvních dnů pokusu podobný vývoj hodnot. U varianty S2 byla již druhý den pokusu zjištěna hodnota 24,39 %, která se následně (4. den) snížila na 22,71 % a poté se průkazně zvýšila na hodnotu 28,32 % (6. den). Od šestého dne měření se hodnoty relativního výtoku elektrolytů průkazně zvýšily až do konce pokusu, na konečných 40,54 % (28. den). U varianty S1 nebyl na rozdíl od přechodných variant zaznamenán počáteční výkyv a byl

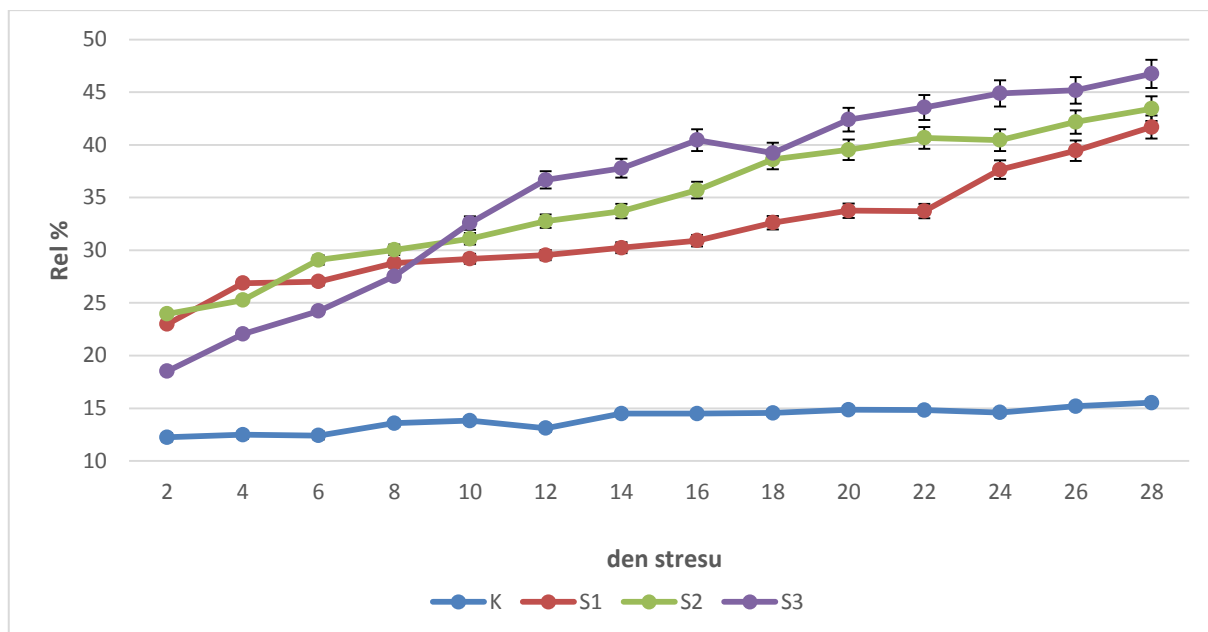
pozorován plynulý průkazný nárůst poškození membrán z 20,37 % (2. den) na 39,68 % (28. den), jak dokládá graf 2.



Graf 2: Relativní výtok elektrolytů (%) u genotypu 1216 v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Odrůda Ruzrok

Vliv termínu odběru na relativní výtok elektrolytů v rámci pokusných variant u odrůdy Ruzrok je zaznamenán v grafu 3. Nejnížší hodnoty výtoku elektrolytů byly opět zaznamenány u kontrolních rostlin (K). Naměřený interval hodnot byl v rozmezí od 12,25 % (2. den) do 15,52 % (28. den). Nejvyšší poškození membrán bylo opět pozorováno u varianty S3, tedy varianty s nejvyšší koncentrací NaCl (0,50 M). U této varianty se úroveň poškození pohybovala od 18,52 % (2. den) do 46,75 % (28. den). Na rozdíl od přechozích dvou genotypů čiroku přežily rostliny Ruzroku i nejvyšší koncentraci solí až do konce pokusu. Vysoké hodnoty byly zjištěny rovněž u varianty S2. Již druhý den pokusu bylo poškození membrán na úrovni 23,95 % a do konce pokusu se výtok elektrolytu průkazně zvýšil až na hodnotu 43,43 % (28. den). Nejnížší hodnoty ze stresovaných variant byly stanoveny u varianty S1, u které se hodnoty nacházely v rozmezí od 22,98 % (2. den) do 41,69 % (28. den), jak vyplývá z grafu 3.

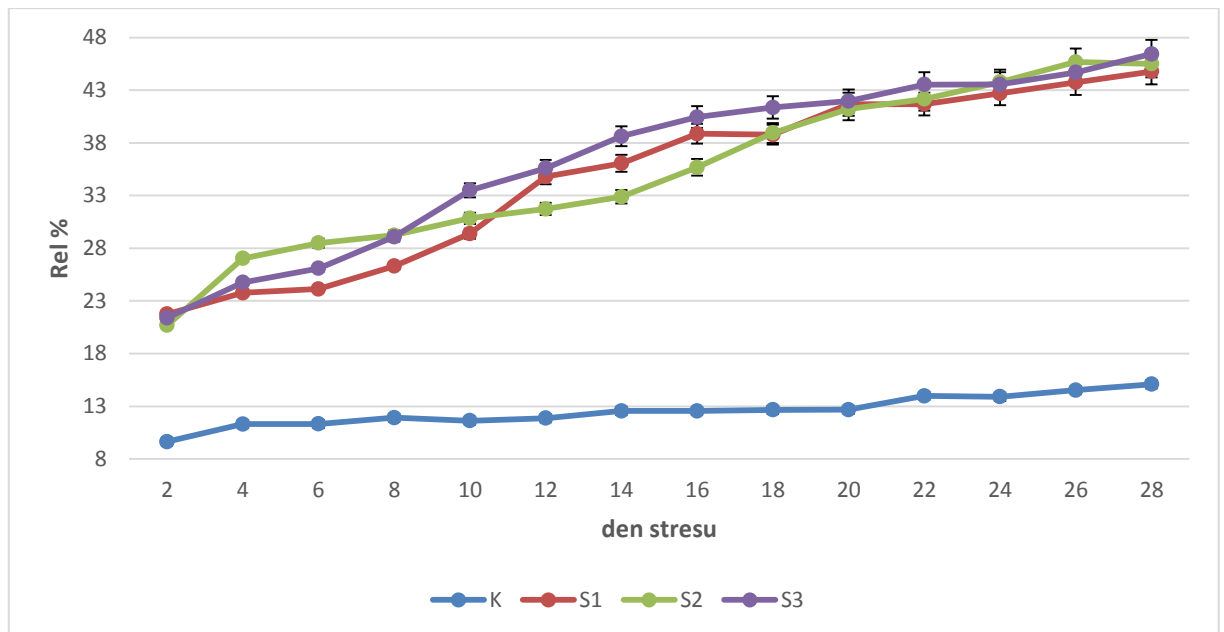


Graf 3: Relativní výtok elektrolytů (%) u odrůdy Ruzrok v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Odrůda Barnard Red

V grafu 4 je uveden vliv termínu odběru na relativní výtok elektrolytů v rámci pokusných variant u odrůdy čiroku Barnard Red. Stejně jako u předchozích genotypů vykazovala nejnižší hodnoty poškození membrán kontrolní varianta, která byla po celou dobu pokusu zavlažována destilovanou vodou. Hodnoty výtoku elektrolytů byly u této varianty v rozmezí od 9,64 % (2. den) do 15,09 % (28. den). Mezi těmito hodnotami nebyly nalezeny průkazné diference.

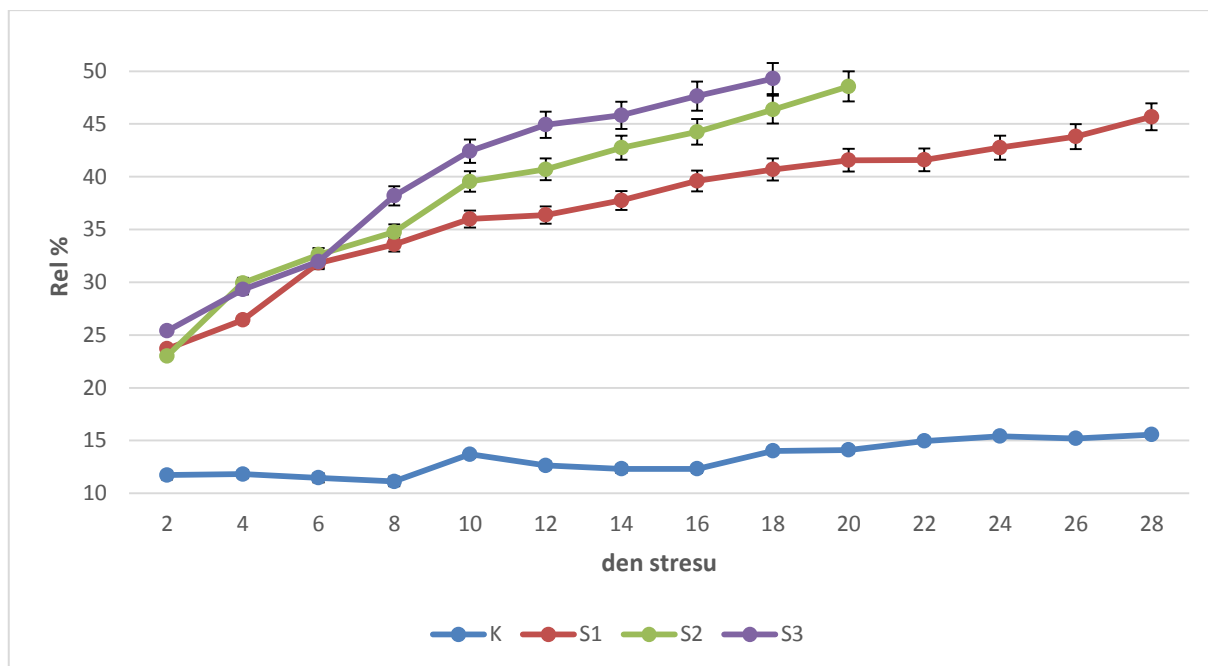
U dalších třech variant, které byly na rozdíl od kontrolní varianty vystaveny působení stresových podmínek, byl pozorován velmi podobný vývoj hodnot. Hodnoty Rel % u těchto třech variant začínaly na úrovni cca 21 % a během působení stresu se dostaly až na úroveň 46,44 % (28. den) u varianty S3. U variant S1 a S2 byly ke konci pokusu naměřeny jen neprůkazně nižší hodnoty (S1 44,71 % a S2 45,5 %), jak je patrné z grafu 4.



Graf 4: Relativní výtok elektrolytů (%) u odrůdy Barnard Red v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Odrůda Ruberit

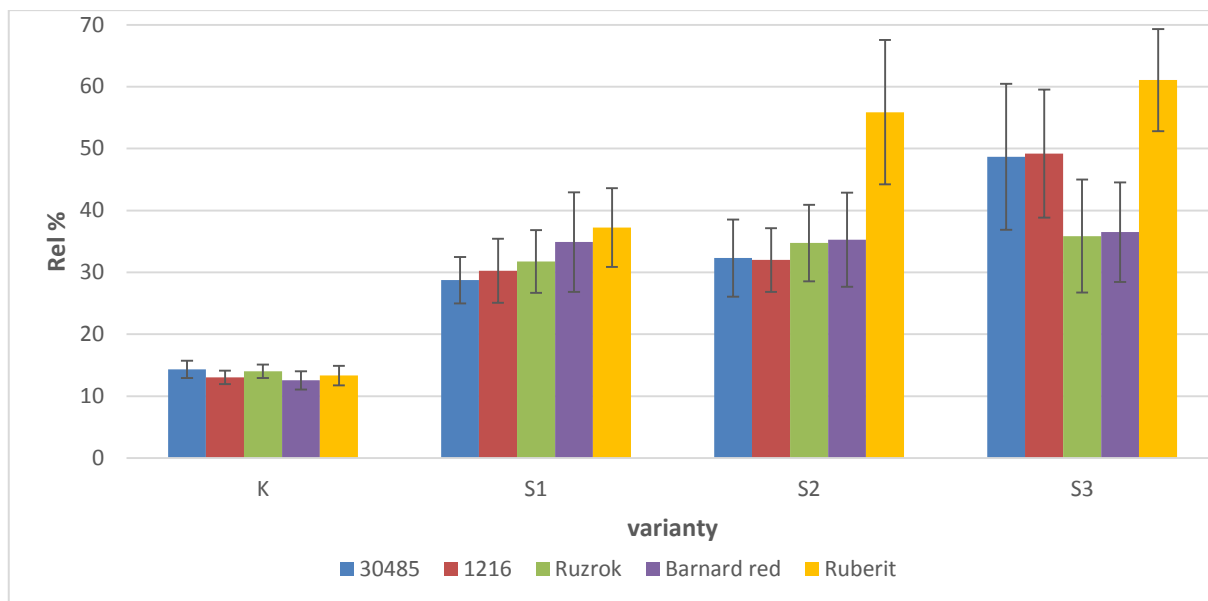
V grafu 5 je zaznamenán vliv termínu odběru na relativní výtok elektrolytů v rámci pokusných variant u odrůdy Ruberit. Jedná se o odrůdu béru, jejíž nejnižší hodnoty Rel % byly obdobně jako u genotypů čiroku naměřeny u kontrolních rostlin. V případě kontrolních rostlin se interval naměřených hodnot výtoku elektrolytů pohyboval od 11,73 % (2. den) do 15,57 % (28. den). Nejvyšší míra poškození buněčných membrán byla opět u varianty S3. Druhý den pokusu byla naměřená míra výtoku elektrolytů na úrovni 25,4 % a během stresových podmínek se průkazně zvýšila až na 49,32 % (18. den). Koncentrace soli (0,50 M) byla u této varianty (S3) pro rostliny béru příliš vysoká a další měření (od 20. dne) se nemohla uskutečnit z důvodu uhynutí pokusných rostlin, jedná se tedy o 100% poškození membrán. Rovněž u varianty S2 (0,25 M NaCl) bylo zaznamenáno průkazné zvýšení výtoku elektrolytu z 23,01 % (2. den) až na hodnotu 48,56 % (20. den). Obdobně jako u varianty S3 došlo k odumření pokusného materiálu a další odběry nemohly být provedeny. Pro výpočet rozdílu mezi variantami bylo proto počítáno ze 100 % poškozením membrán. Varianta S1 měla plynulý průkazný nárůst výtoku elektrolytů z hodnoty 23,7 % (2. den) až na konečných 45,68 % (28. den), jak vyplývá z grafu 5.



Graf 5: Relativní výtok elektrolytů (%) u odrůdy Ruberit v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Vliv varianty

Graf 6 charakterizuje vliv varianty v rámci sledovaných genotypů. Z uvedeného grafu vyplývá, že nejnižší poškození buněčných membrán bylo zaznamenáno u rostlin z kontrolních podmínek. U této varianty bylo naměřené rozpětí hodnot poškození membrán od 12,54 % (Barnard Red) do 14,01 % (30485). Naopak nejvyšší míra poškození byla zjištěna u stresované varianty S3, kdy nejvyšší hodnota byla naměřena u odrůdy béru Ruberit, a to 61,07 % a naopak nejnižší u odrůdy Ruzrok (35,85 %). Z uvedených výsledků je dále patrné, že na stres zasolením reagovala poškozením buněčných membrán nejcitlivěji odrůda Ruberit (bér) a naopak jako poměrně tolerantní se jeví odrůda čiroku Ruzrok a Barnard Red.



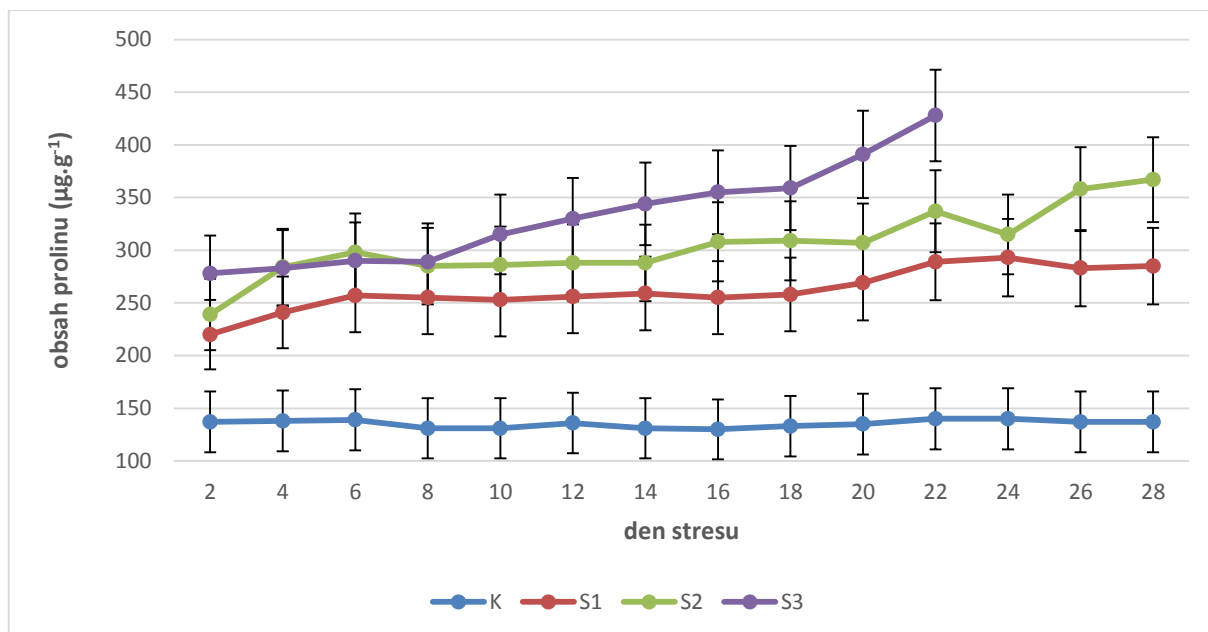
Graf 6: Vliv varianty na relativní výtok elektrolytů v rámci odrůdy

5.2 Obsah prolinu

Genotyp 30485

Graf 7 charakterizuje vliv termínu odběru a varianty pokusu na obsah prolinu u rostlin genotypu 30485. Nejnižší hodnoty obsahu prolinu byly zjištěny u kontrolní varianty (K). U této varianty se obsah sledované aminokyseliny pohyboval v rozmezí od $130 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (16. den pokusu) do $140 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (20. a 22. den). Nejvyšší obsah prolinu byl zjištěn u stresované varianty S3 (0,50 M NaCl). Druhý den pokusu byla zjištěna hodnota obsahu prolinu $278 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a do 8. dne byl zaznamenán neprůkazný nárůst obsahu prolinu na hodnotu $289 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Od tohoto dne se začal obsah zmíněné aminokyseliny průkazně zvyšovat, 10. den jeho množství činilo $315 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a ve 22. dnu pokusu se obsah prolinu průkazně zvýšil na hodnotu $428 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Další měření u této varianty se již neuskutečnilo, neboť rostliny odumřely.

U varianty S2 se obsah prolinu zvýšil z hodnoty $239 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. den) na hodnotu $298 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (6. den) a poté se příliš neměnil, až do 16. dne, kdy obsah činil $308 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Následně se obsah prolinu zvyšoval od 22. dne ($337 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) do 28. dne ($368 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), přičemž 24. den působení zasolení na rostliny čiroku se obsah prolinu neprůkazně snížil na hodnotu $315 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Obsah prolinu v listech rostlin pěstovaných v podmínkách stresované varianty S1 (0,15 M NaCl) byl relativně stabilní, přičemž nejnižší hodnoty byly zaznamenány 2. den ($220 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), a naopak nejvyšší 24. den ($293 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), jak je uvedeno v grafu 7.

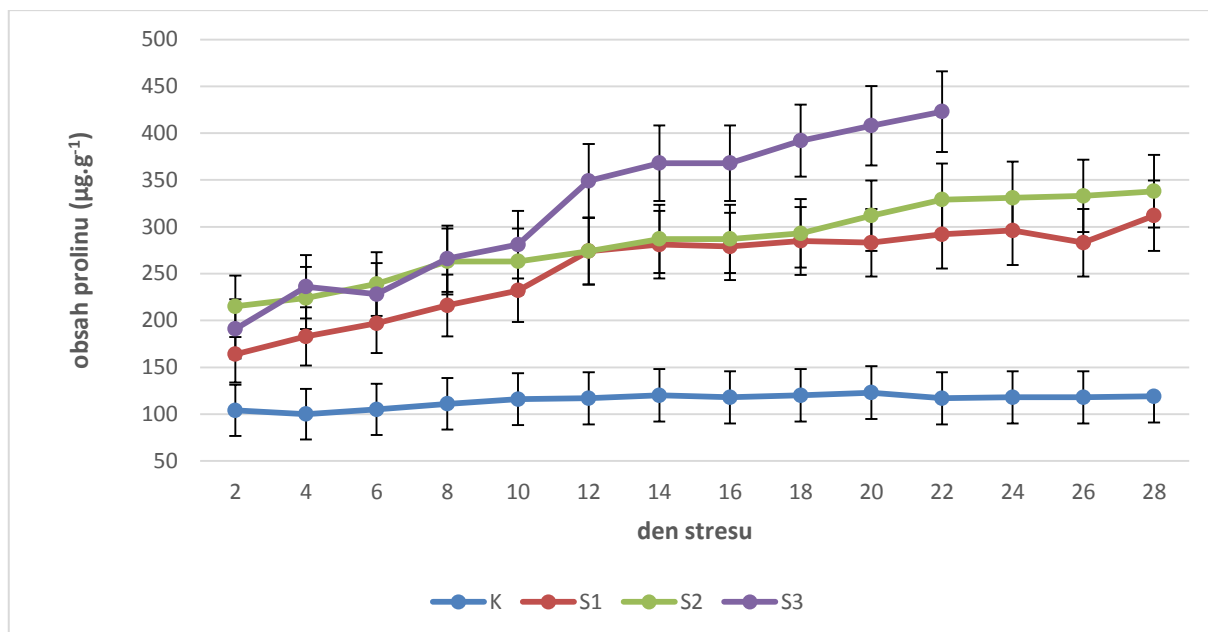


Graf 7: Obsah prolinu v ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty) u genotypu 30485 v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Genotyp 1216

Vliv termínu odběru a genotypu 1216 na obsah prolinu v rámci pokusných variant je uveden v grafu 8. Nejnižší hodnoty obsahu prolinu byly zjištěny u rostlin rostoucích v kontrolních podmínkách. Hodnoty obsahu prolinu se u této varianty pohybovaly v rozmezí od $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (4. den) do $123 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (20. den). Naopak nejvyšší zaznamenané hodnoty obsahu prolinu byly zjištěny u rostlin z varianty S3. U těchto rostlin byl naměřen průkazně nejvyšší obsah prolinu ve výši $191 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. den) a dále se hodnoty obsahu prolinu průkazně zvyšovaly, až do konce pokusu (22. den) na $423 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ovšem s výjimkou 6. dne ($228 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Obdobně jako u genotypu 30485 bylo pozorování této varianty 22. den ukončeno, z důvodů uhynutí pokusných rostlin.

Druhé nejvyšší hodnoty obsahu prolinu byly naměřeny u varianty S2, kde se obsah prolinu průkazně zvyšoval od 2. dne ($215 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) až do konce pokusu (28. den), kdy byl obsah ve výši $338 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U varianty zavlažované solí o koncentraci 0,15 M NaCl (S1) byl obsah prolinu $164 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. den) a rovnoměrně se zvyšoval do 10. dne ($232 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). V následném termínu měření se obsah prolinu zvýšil na hodnotu $274 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a tento trend v nárůstu obsahu prolinu je možné zaznamenat až do 24. dne ($296 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Poté byl zaznamenán neprůkazný pokles obsahu prolinu, ale na konci sledovaného období se opět průkazně zvýšil na $312 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, jak je patrné z grafu 8.

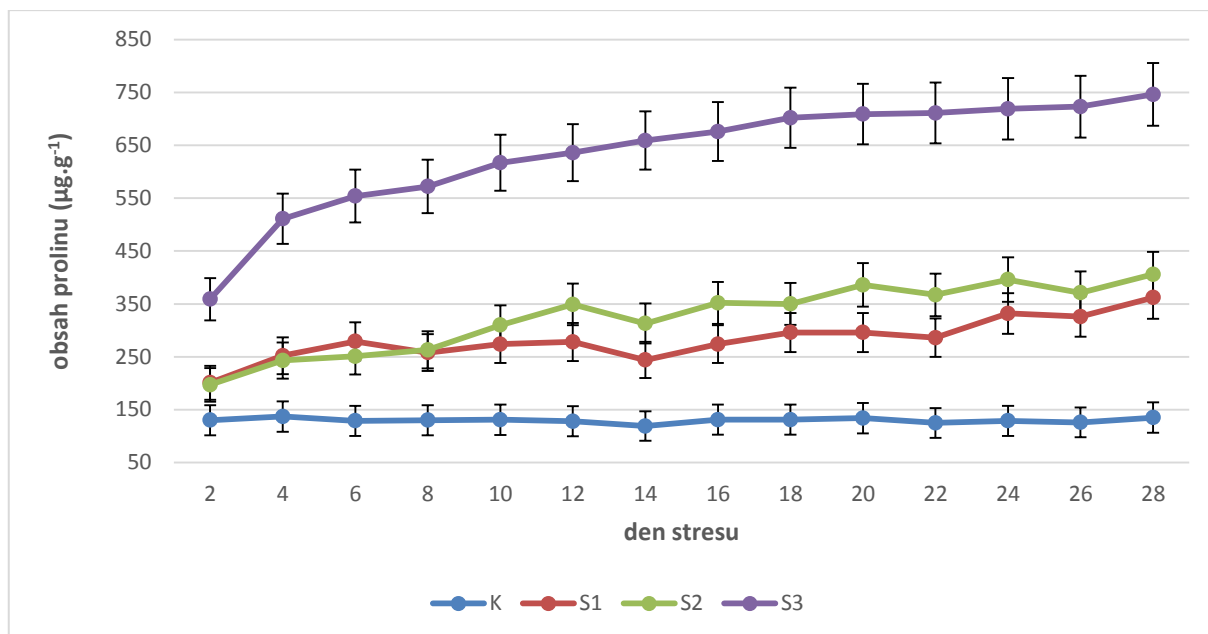


Graf 8: Obsah prolinu v ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty) u genotypu 1216 v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Odrůda Ruzrok

V grafu 9 je možné sledovat vliv termínu odběru a varianty na obsah prolinu v listech juvenilních rostlin čiroku genotypu Ruzrok. Shodně jako u předešlých genotypů čiroku je i u této odrůdy patrné, že nejnižší hodnoty obsahu prolinu byly naměřeny u kontrolních rostlin. Hodnoty u této kontrolní varianty byly v rozmezí hodnot od $119 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (14. den) do $137 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (4. den). Naopak v případě varianty s nejvyšší koncentrací soli ($0,50 \text{ M}$) v roztoku byl druhý den po navození stresu obsah prolinu $359 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Do čtvrtého dne se jeho obsah průkazně zvyšoval až na hodnotu $511 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Tento trend je možné zaznamenat až do konce sledovaného období, kdy konečná hodnota obsahu prolinu byla $746 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Hodnoty nižší oproti výše uvedené variantě byly určeny u zbylých dvou stresovaných variant, tedy S1 a S2. U varianty S2 začínaly hodnoty na $197 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. den) a průkazně se zvyšovaly až na $349 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (12. den). Čtrnáctý den pokusu se obsah prolinu neprůkazně snížil na $313 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a poté se postupně průkazně zvyšoval až do konce pokusného období ($406 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Velmi podobný vývoj křivky lze pozorovat také u varianty S1, kdy obsah prolinu 2. den pokusu činil $201 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a na konci pokusu byl $362 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, jak vyplývá z grafu 9.

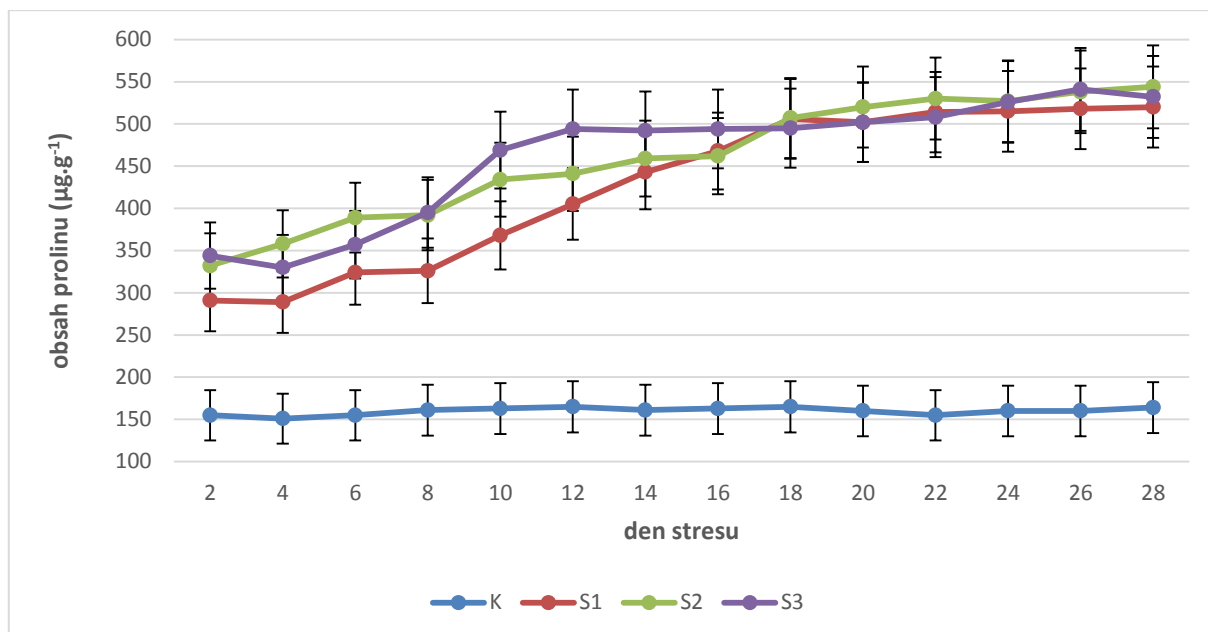


Graf 9: Obsah prolinu v ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty) u odrůdy Ruzrok v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Odrůda Barnard Red

Graf 10 charakterizuje vliv termínu odběru a varianty pokusu na obsah prolinu u rostlin odrůdy Barnard Red. Nejnižší obsah prolinu byl opět u kontrolních rostlin (K). U této nezasolené varianty byl obsah sledované aminokyseliny v rozmezí hodnot od $151 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (4. den) do $165 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (12. a 18. den).

Rostliny z variant S1, S2 a S3, které byly vystaveny stresovým podmínkám měly velmi podobný vývoj hodnot. U všech třech variant je možné zaznamenat zvýšení obsahu prolinu již 2. den působení stresu. Tento den pokusu byl obsah prolinu od $291 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (S1) do $344 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (S3). Do konce pokusu se obsah prolinu u všech stresovaných variant průkazně zvyšoval, přičemž nejvýraznější nárůst byl zaznamenán u varianty S1 (o $229 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejnižší u varianty S3 (o $188 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), viz graf 10.

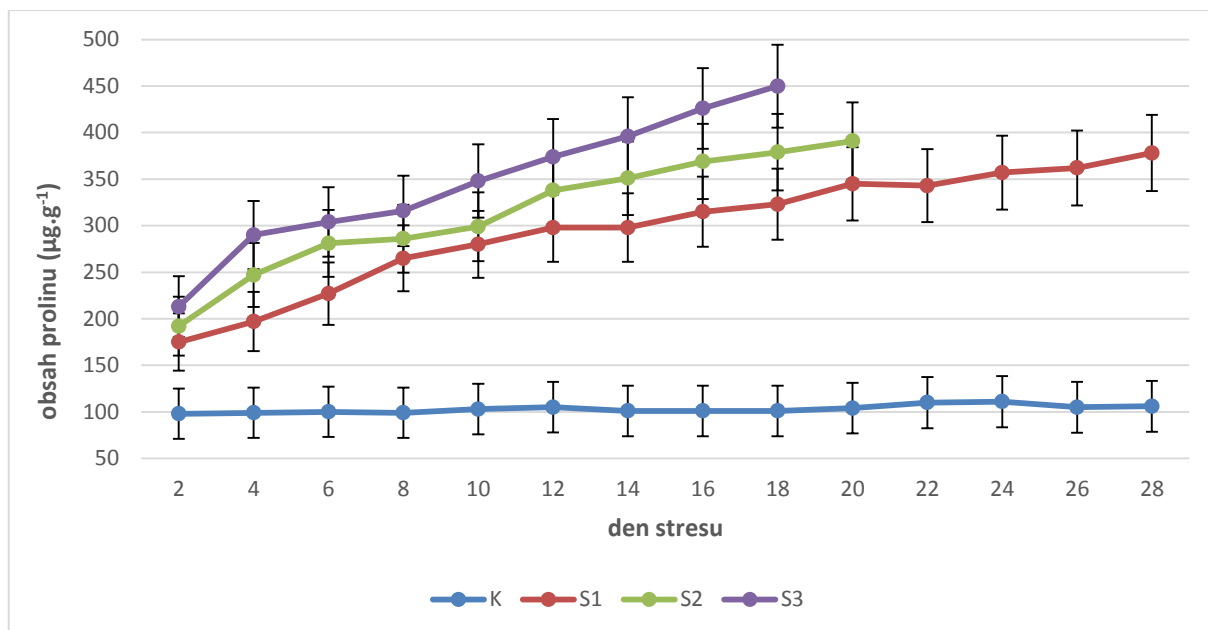


Graf 10: Obsah prolinu v ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty) u odrůdy Barnard Red v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Odrůda Ruberit

Vliv termínu odběru a genotypu béru Ruberit na obsah prolinu v rámci pokusných variant je patrný z grafu 11. Obdobně jako u rostlin čiroku byl nejnižší obsah prolinu u juvenilních rostlin béru zaznamenán v kontrolních podmínkách. U rostlin béru rostoucích v prostředí bez zasolení byl obsah prolinu nejnižší na počátku pokusu, a to $98 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. den) a naopak nejvyšší 24. den ($111 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Nejvyšší obsah aminokyseliny prolin v rámci odrůdy Ruberit byl pozorován u varianty S3. Druhý den pokusu byla u této varianty naměřena hodnota obsahu prolinu $213 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a do druhého odběru (4. den) se obsah průkazně zvýšil na hodnotu $290 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Od 4. dne se obsah prolinu zvyšoval postupně, ale statisticky průkazně až do 18. dne ($450 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), a poté pokusné rostliny uhynuly.

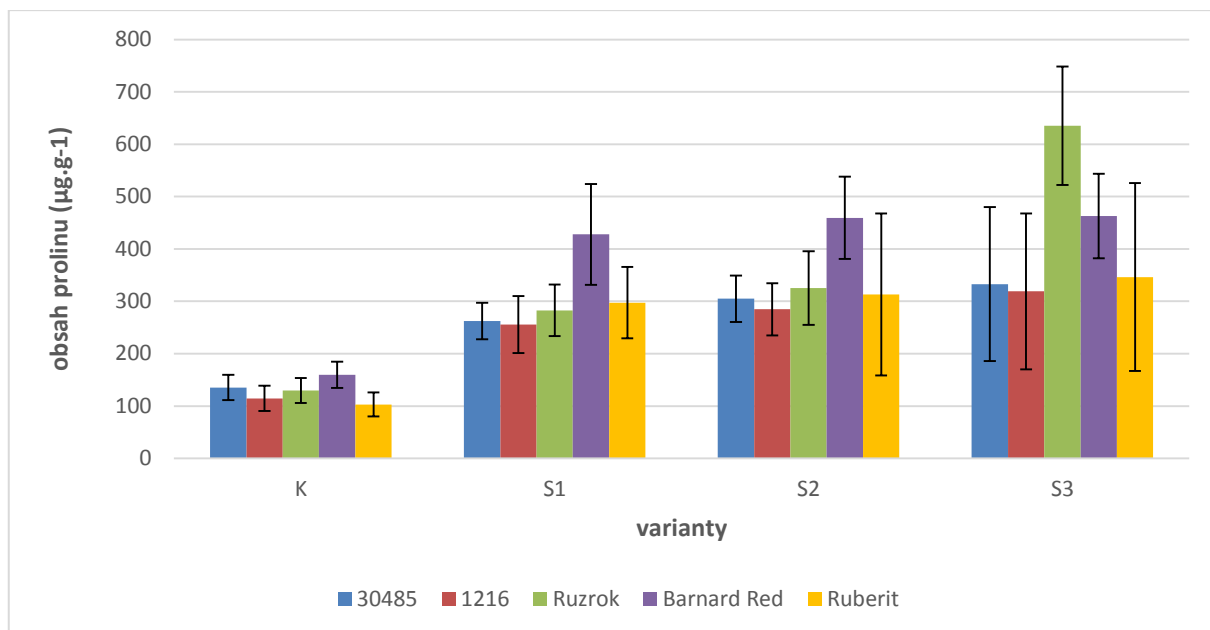
U varianty S2 byla hodnota obsahu prolinu bezprostředně po zahájení pokusu na výši $192 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. den) a poté se obsah aminokyseliny průkazně zvýšil, až na maximální hodnotu $391 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (22. den). Další odběr nemohl být proveden, stejně jako u předchozí varianty S3, z důvodu odumření pokusného materiálu. U varianty S1 se hodnoty zvyšovaly z hodnoty $175 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. den) až na hodnotu $378 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (28. den), jak je patrné v grafu 11.



Graf 11: Obsah prolinu v ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty) u odrůdy Ruberit v závislosti na variantě pokusu a délce působení stresu

Vliv varianty

V grafu 12 je patrný vliv varianty v rámci sledovaných odrůd. Z tohoto grafu vyplývá, že nejnižší tvorba prolinu byla naměřena u kontrolních rostlin. U těchto rostlin se hodnoty obsahu prolinu pohybovaly v rozmezí od $103 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Ruberit) do $160 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Bardnard Red). Naopak nejvyšší tvorba prolinu byla zjištěna u varianty S3, kde byla nejvyšší hodnota naměřena u odrůdy Ruzrok ($635 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejnižší u genotypu 1216 ($319 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Varianty S1 a S2 dosahovaly nepatrně nižších hodnot obsahu prolinu v porovnání s variantou S3. Jednalo se však o rozdíly statisticky neprůkazné. Z těchto výsledků je dále patrné, že v reakci na zasolení reagovaly nejvyšší tvorbou prolinu odrůdy Barnard Red a Ruzrok, a naopak nejnižší hodnoty této aminokyseliny byly naměřeny u genotypů 1216 a 30485. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že genotypy Barnard Red a Ruzrok jsou vůči zasolení tolerantnější a genotypy 1216 a 30485 naopak citlivé.



Graf 12: Vliv variety na obsah prolinu v rámci odrůdy

6. Diskuze

6.1 Relativní výtok elektrolytů

Jak je patrné z výsledků, zvyšující se zasolení půdy se u pokusných rostlin čiroku a béru zvyšuje poškození buněčných membrán, které bylo stanoveno na základě relativního výtoku elektrolytů (Rel %). U stresovaných variant se průměry hodnot relativního výtoku elektrolytů pohybují v rozmezí hodnot od 32,57 % (S1/0,15 M NaCl) do 46,26 % (S3/ 0,50 M NaCl). Tyto vysoké hodnoty poškození buněčných membrán jsou až o 32,82 % vyšší ve srovnání s kontrolní variantou. Zvýšené poškození buněčných membrán během stresu zasolením potvrzují Lutts et al. (1996a) u rýže (*Oryza sativa* L.). Poškození membrán vlivem působení vodního deficitu potvrzují také např. Bandurska et Gniazdowska-Skoczek (1995) u ječmene (*Hordeum vulgare* L.) anebo Premachandra et al. (1991) u kukuřice (*Zea mays* L.).

Dále bylo zjištěno, že poškození buněčných membrán se postupně zvyšovalo s dobou působení stresu. Uvedený závěr potvrzuje i Ismail (2003), který ve své studii využil jako pokusné rostliny čirok a kukuřici. Stejně výsledky zaznamenali i Alpaslan et Gunes (2001), kteří se zabývali vlivem zasolení na rostliny rajčete (*Solanum lycopersicon* L.) a okurky seté (*Cucumis sativus* L.).

Ze získaných výsledků dále vyplývá rozdílná reakce sledovaných druhů rostlin, včetně jejich genotypů. Tyto závěry potvrzují práce např. Alpaslan et Gunes (2001) anebo Shannon (1997).

V případě béru, odrůdy Ruberit, je možné na základě výsledků konstatovat, že se jedná o odrůdu citlivější vůči zasolení, neboť průměrná hodnota poškození membrán u varianty s nejvyšší koncentrací soli (0,50 M NaCl) byla 61,07 %, přičemž ke konci pokusu bylo zaznamenáno uhynutí pokusných rostlin. Pokud to srovnáme s kontrolními rostlinami, jedná se o poškození vyšší o 47,75 %. Na vyšší hladinu soli v zálivkové vodě dále citlivěji reagovaly genotypy čiroku 1216 a 30485, u nichž rozdíl mezi variantou s nejvyšší koncentrací soli a kontrolou činil 36,15 % a 34,37 %. Stejně jako u odrůdy béru bylo i u těchto dvou genotypů ke konci pokusu zaznamenáno uhynutí pokusných rostlin. Naopak jako tolerantní se jevily genotypy čiroku Barnard red a Ruzrok, u nichž výše zmiňované rozdíly mezi variantou S3 a kontrolou činily 23,96 % a 21,57 %. Genotypové rozdíly v reakci na zasolení potvrzují i Sairam et al. (2002), jejichž výzkum se zabýval porovnáním vlivu zasolení na dvě odrůdy pšenice (*Triticum aestivum* L.). Konkrétně se jednalo o dva genotypy: tolerantní odrůdu Kharchia 65 a středně tolerantní odrůdu KRL 19. U tolerantnějšího genotypu byla zaznamenána vyšší stabilita buněčných membrán ve srovnání s citlivou odrůdou. Rozdílné

rekce v rámci odlišných genotypů potvrzují také Netondo et al. (2004), kteří se zabývali vlivem různých koncentrací NaCl (0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 a 0,25 M) na dvě odrůdy čiroku (Serena a Seredo). K obdobnému závěru dospěli i Hu et al. (2012), u dvou genotypů jílku vytrvalého (*Lolium perenne* L.). Vyšším poškozením reagoval méně odolný genotyp (DP1) oproti odolnější odrůdě Quickstart II. Genotypové rozdíly v reakci na zasolení potvrzují ve svých pracích u čtyř odrůd řepky (*Brassica napus* L.) také Ashraf et Ali (2008) a dále Lutts et al. (1996a) u rýže.

Na základě získaných výsledků je možné konstatovat v souladu s pracemi Farooq et Azam (2006) a Kumar et al. (2000), že relativní výtok elektrolytů je velmi vhodným ukazatelem pro stanovení přímého vlivu zasolení na rostliny, především na fyzikální a chemické vlastnosti cytoplazmatické membrány a na její propustnost.

6.2 Obsah prolinu

Z výsledků vyplývá, že zasolení má u rostlin čiroku i béru vliv na zvýšenou tvorbu aminokyseliny prolin, která napomáhá rostlinám lépe se vyrovnat s podmínkami stresu. U variant, které byly vystaveny stresovým podmínkám, se průměrný obsah sledované aminokyseliny pohyboval v rozmezí od 305 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty (S1) do 419 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (S3). Hodnoty obsahu prolinu u varianty S3, zavlažované vodou o koncentraci 0,50 M NaCl, byly téměř čtyřikrát vyšší než u kontrolní varianty. Se stoupající koncentrací NaCl v substrátu se zvyšuje i množství prolinu v rostlinách, což je v souladu s prací Colmer et al. (1996), kteří se zabývali akumulací prolinu v kořenech čiroku (odrůda Hegari) během zasolení koncentrací 0,15 M NaCl. Zvyšující se obsah této aminokyseliny během stresu zasolením potvrzují také Chu et al. (1976), kteří sledovali vliv soli na juvenilní rostliny ječmene, konkrétně u odrůdy Prior. Výsledky této práce ukazují, že u variant s vyšší koncentrací NaCl byl zaznamenán rychlý nárůst obsahu prolinu. Zvýšený obsah během stresu zasolením a při působení vysokých teplot byl pozorován rovněž u rostlin tabáku (*Nicotiana glauca* L.), jak uvádí Kuznetsov et Shevyakova (1997). Mohammadkhani et Heidari (2008) rovněž potvrzují zvýšený obsah prolinu u kukuřice, a to během působení vodního deficitu.

Z výsledků jsou dále patrné rozdíly mezi jednotlivými genotypy pokusných rostlin. Nejvyšší průměrné hodnoty obsahu prolinu v rámci stresovaných variant byly pozorovány u odrůd Barnard Red (450 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a Ruzrok (414 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). U odrůdy Ruzrok byly rovněž zaznamenány nejvyšší hodnoty obsahu sledované aminokyseliny u varianty s nejvyšší koncentrací soli (0,50 M NaCl), a to 635 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, což je téměř pětikrát více než u rostlin z kontrolní varianty a o 50 % více než u stejné varianty genotypu 1216, u kterého byla

průměrná hodnota stanovena na $319 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Obsah prolinu byl u varianty S3, genotypu 1216 téměř třikrát nižší než u kontrolní varianty. U genotypu 30585 byly hodnoty obsahu u kontrolních rostlin 2,5x nižší než u varianty s nejvyšší koncentrací soli. Na základě těchto hodnot lze konstatovat, že vůči stresu zasolením se odrůdy Barnard Red a Ruzrok díky zvýšenému obsahu prolinu jeví jako tolerantní, naopak jako citlivé lze označit genotypy 1216 a 30485. Problematikou rozdílnosti genotypů v reakci na zasolení se zabývala řada autorů, jako například Çiçek et Çakırlar (2002), jejichž pokusnou rostlinou byla kukuřice, genotypy C.6127 a DK.623. V listech prvního ze zmíněných genotypů byl zjištěn vyšší obsah sledované aminokyseliny v reakci na zvyšující se obsah solí v substrátu.

Rozdíly mezi genotypy a jejich reakcí na zasolení se zabývali také Lutts et al. (1996b). V tomto případě byla pokusnou rostlinou rýže. Genotypové rozdíly u odrůd řepy cukrové (*Beta vulgaris* L. ssp. *altissima*) potvrzují rovněž Ghoulam et al. (2002) či Misra et Gupta (2005) u fazolu zlatého (*Phaseolus aureus* Roxb.).

Jak již bylo zmíněno, aminokyselina prolin je pro rostliny vystavené stresovým podmínkám velmi důležitou látkou. Vzhledem k tomu, že ji lze podle některých autorů, jako jsou Hayat et al. (2012) nebo Ali et al. (2007), rostlinám dodávat v nízkých dávkách z vnějšího prostředí, může mít v budoucnosti velký význam při pěstování zemědělských plodin, a to zejména v oblastech s vyšším obsahem solí v půdě či místech potýkajících se s vodním deficitem.

7. Závěr

Cílem této práce bylo sledovat vliv zasolení na vybrané parametry stresové fyziologie rostlin, a to relativní výtok elektrolytů a obsah prolinu. Dalším cílem bylo určit na základě sledovaných parametrů toleranci/citlivost vybraných genotypů juvenilních rostlin čiroku a béru na zasolení.

Ze získaných výsledků vyplývá, že:

1. Vlivem působení zasolení dochází u všech sledovaných rostlin k průkaznému poškození buněčných membrán a ke zvyšování obsahu aminokyseliny prolin v listech.
2. Nejvyšší průměrná hodnota výtoku elektrolytů 46,26 % byla naměřena u varianty s koncentrací soli 0,50 M (S3) a naopak nejnižší hodnota výtoku elektrolytů byla zjištěna u kontrolních rostlin (13,44 %).
3. Ze sledovaných genotypů čiroku a béru na zasolení reagovala poškozením buněčných membrán nejcitlivěji odrůda béru Ruberit. U této odrůdy se zvyšovala míra poškození membrán, stanovovaná na základě relativního výtoku elektrolytů, v následujícím pořadí: kontrola (13,32 %) – 0,15 M NaCl (37,24 %) – 0,25 M NaCl (55,89 %) – 0,50 M NaCl (61,07 %).
4. Naopak na zasolení nejméně citlivě reagovaly genotypy čiroku Ruzrok a Barnard Red, u nichž se relativní výtok elektrolytů zvyšoval v tomto pořadí: kontrola (14,01 a 12,54 %) – 0,15 M NaCl (31,74 a 34,89 %) – 0,25 M NaCl (34,75 a 35,27 %) – 0,50 M NaCl (35,85 a 36,5 %).
5. Byla potvrzena hypotéza, že existují rozdíly v reakci jednotlivých genotypů na vyšší obsah solí v půdě, zjišťované na základě relativního výtoku elektrolytů. Jako poměrně tolerantní se jeví genotypy Ruzrok a Barnard Red a naopak jako citlivou lze označit odrůdu béru- Ruberit.
6. Z pokusných variant byla nejvyšší průměrná hodnota obsahu prolinu $419 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmoty zjištěna u varianty s koncentrací 0,50 M NaCl (S3). Naopak nejnižší obsah prolinu byl naměřen u kontrolních rostlin ($129 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).
7. Mezi sledovanými genotypy nejvýraznějším zvýšením obsahu prolinu reagovala odrůda Barnard Red. U této odrůdy se obsah sledované aminokyseliny zvyšoval v následujícím pořadí: kontrola ($160 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) – 0,15 M NaCl ($428 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) – 0,25 M NaCl ($460 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) – 0,50 M NaCl ($463 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

8. Statisticky průkazné zvýšení obsahu prolinu bylo zaznamenáno u odrůdy čiroku Ruzrok, pěstovaného v nejvyšší koncentraci soli
9. Naopak nejcitlivěji reagovaly genotypy 1216 a 30485.
10. Byla potvrzena hypotéza, že existují rozdíly v reakci jednotlivých genotypů na vyšší obsah solí v půdě, na základě stanovení obsahu prolinu v listech pokusných rostlin. Jako poměrně tolerantní se jeví odrůdy Barnard Red a Ruzrok, naopak jako citlivé lze označit genotypy 1216 a 30485.

8. Seznam literatury

- Ageconomist.com. 2014. A sorghum story, part II. [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: <<http://ageconomists.com/2014/09/08/a-sorghum-story-part-ii/>>.
- Agriculturewire.com. [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <<http://agriculturewire.com/us-new-experimental-grain-sorghum-shows-high-yield-potential/>>.
- Agrocs.cz. 2015 Substráty - Primaflora. [online]. [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <<http://www.agrocs.cz/OLD/sk/zahradna-divizia/produkty/primaflora/>>.
- Ahmad, P., Prasad, M. N. V. 2012. Abiotic stress response in plants: metabolism, produktivity and sustainability. Springer. New York. 473 p. ISBN: 9781461406334.
- Ali, Q., Ashraf, M., Athar, H. R. 2007. Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. Pakistan Journal of Botany. 39 (4). 1133-1144.
- Allinne, C. Modélisation écophysiological et analyse génétique pour la recherche de génotypes de tournesol adapté aux basses températures causées par des semis précoces [on-line]. Institut National Polytechnique de Toulouse. 2010 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000998/>>.
- Alpaslan, M., Gunes, A. 2001. Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. Plant and Soil. 236. 123-128.
- Apel, K., Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology. 55. 373-399.
- Ashraf, M., Ali, Q. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany. 63 (1-3). 266–273.
- Bandurska, H., Gniazdowska-Skoczek, H. 1995. Cell membrane stability in two barely genotypes under water stress conditions. Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 64 (1). 29-32.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studied. Plant and Soil. 39 (1). 205-207.
- Boyer, J. S. 1982. Plant productivity and environment. Science. 218. 443-448.

- Brutnell, T. P., Wang, L., Swartwood, K., Goldschmidt, A., Jackson, D., Zhu, X. G., Kellogg, E., Eck, J. V. 2010. *Setaria viridis*: A model for C₄ photosynthesis. *The Plant Cell*. 22 (8). 2537-2544.
- Campose, P. S., Quartin, V., Ramalho, J. C., Nunes, M. A. 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of coffee sp. plants. *Journal of Plant Physiology*. 160. 283-292.
- Çiçek, N., Çakırlar, H., 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 28 (1). 66–74.
- Colmer, T. D., Fan, T. W., Higashi, R. M., Läuchli, A. 1996. Interactive effects of Ca²⁺ and NaCl salinity on the ionic relations and proline accumulation in the primary root tip of *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*. 97 (3). 421–424.
- Doggett, H. 1988. *Sorghum*. Longman scientific & technical. Harlow. 512 p. ISBN: 0582463459.
- Dostál, J. 1989. *Nová květena ČSSR 2. díl*. Academia. Praha. 1548 s. ISBN: 80-200-0095-X.
- Drennan, P., Pammenter, N. W. 1982. Physiology of salt excretion in the mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *New Phytologist*. 91 (4). 597-606.
- Elzebroek, A. T. G., Wind, K. 2008. *Guide to cultivated plants*. Centre for Agricultural Bioscience International. Cambridge. 496 p. ISBN: 9781845933562.
- Fao.org. [online]. [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>.
- Farooq, S., Azam, F. 2006. The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *Journal of Plant Physiology*. 163 (6). 629-637.
- Forestryimages.org. [online]. [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5363653>>.
- Ghannoum, O. 2009. C₄ photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*. 103 (4). 653-638.
- Ghoulam, C., Foursy, A., Fares, K. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*. 47 (1). 39–50.
- Grinczech.vurv.cz. 2017. [online]. [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <<https://grinczech.vurv.cz/gringlobal/search.aspx>>.
- Harsch, N., Deepti, G. 2005. Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*. 58. 106-113.

- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 51. 463-499.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, S. A., Pichtel, J., Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments. *Plant Signaling and Behavior*. 7 (11). 1-11.
- 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. 33 s. ISBN: 9788074271755.
- Hermuth, J., Janovská, D., Stražil, S. U., Hýsek, J. 2012. Čirok obecný *Sorghum bicolor* (L.) Moench, možnosti využití v podmínkách České republiky. *Výzkumný ústav rostlinné výroby*. Praha. 47 s. ISBN: 9788074270932.
- Hnilička, F., Hniličková, H. Obecná koncepce stresu. In: Hnilička, F., Středa, T. (eds.). 2016. *Rostliny v podmínkách stresu- Abiotické stresory*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 240 s. ISBN: 9788021326804.
- Hu, L., Li, H., Pang, H., Fu, J. 2012. Responses of antioxidant gene, protein and enzymes to salinity stress in two genotypes of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 169. 146-156.
- Chu, T. M., Aspinall, D., Paleg, L. G. 1976. Stress Metabolism. VII. Salinity and Proline Accumulation in Barley. *Australian Journal of Plant Physiology*. 3 (2). 219 – 228.
- Ismail, A. M. 2003. Response of maize and sorghum to excess boron and salinity. *Biologia Plantarum*. 47 (2). 313-316.
- Jenks, A. M., Hasegawa, P. M. 2005. *Plant abiotic stress*. Blackwell Publishing. Oxford. 265 p. ISBN: 978-14051-2238-2.
- Jenks, M. A., Wood, A. J. 2010. *Genes for plant abiotic stress*. Wiley- Blackwell. Iowa. 344 p. ISBN: 9780813815022.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, T. 2014. Wheat and barley dehydrins under cold, drought, and salinity – what can LEA-II proteins tell us about plant stress response?. *Frontiers in Plant Science*. [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2014.00343/full> >.
- Kumar, S. G., Madhusudhan, K. V., Sreenivasulu, N., Sudhakar, C. 2000. Stress responses in two genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Indian Journal of Experimental Biology*. 38. 192-195.

- Kuznetsov, V. V., Shevyakova, N. I. 1997. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. *Physiologia Plantarum*. 100 (2). 320-326.
- Kůdela, V., Ackermann, P., Prášil, I. T., Rod, J., Veverka, K. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia. Praha. 566 s. ISBN: 9788020022622.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Springer. New York. 506 p. ISBN: 35405811623.
- Levitt, J. 1980. *Response of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses*. Academic Press. London. 497 p. ISBN: 0124455026.
- Lutts, S., Kinet, J. M., Bouharmont, J. 1996a. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*. 78. 389-398.
- Lutts, S., Kinet, J. M., Bouharmont, J. 1996b. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regulation*. 19 (3). 207-218.
- Mansfeld, R. 1952. Zur systematik und nomenklatur der hirsen. *Der Züchter*. 22. 304-315.
- Megdiche, W., Amor, B. N., Debez, A., Hessini, K., Ksouri, R., Zuily-Fodil, Y., Abdelly, Ch. 2007. Salttolerance of the annual halophyte *Cakile maritima* as affected by the provenance and the developmental stage. *Acta Physiologiae Plantarum*. 29 (4). 375-384.
- Misra, N., Gupta, A. K., Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Science*. 169 (2). 331-339.
- Mohammadkhani, N., Heidari, R. 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. *World Applied Sciences Journal*. 3 (3). 448-453.
- Mořková, K., Podlipná, R., Vaněk, T., Kafka, Z. 2014. Halophytes and their use in phytoremediation. *Chemické listy*. 108 (6). 586-591.
- Netondo, G. W., Onyango, J. C., Beek Erwin. 2004. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science*. 44 (3). 797-805.
- Nilsen, T. E., Orcutt, D. M. 1996. *Physiology of plants under stress - Abiotic factors*. John Wiley and Sons. New York. 689 p. ISBN: 0471035126.
- Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M, Pardo, J. M. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3). 735-742.

- Petříková, V., Sladký, V., Stražil, Z., Šafařík, M., Ust'ak, S., Váňa, J. 2006. Energetické plodiny. Profi Press. Praha. 127 s. ISBN: 8086726134.
- Premachandra, G. S., Saneoka, H., Kanaya, M., & Ogata, S. 1991. Cell membrane stability and leaf surface wax content as affected by increasing water deficits in maize. *Journal of Experimental Botany*. 42 (2). 167-171.
- Procházka, S. (ed.). 1998. Fyziologie rostlin. Academia. Praha. 484 s. ISBN: 8020005862.
- Quan, L., Zhang, B., Shi, W., Li, H. 2008. Hydrogene peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. *Journal of Integrative Plant Biology*. 50 (1). 2-18.
- Quinby, J. R. 1975. The genetics of sorghum improvement. *The Journal of Heredity*. 66. 56-62.
- Reddy, B. V., Ramesh, S., Reddy, P. S. 2004. Sorghum breeding research at ICRISAT – goals, strategies, methods and accomplishments. *International Sorghum and Millets Newsletter*. 45. 5-12.
- Rowan, F. S. 2003. The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist*. 161. 341-370.
- Sairam, K. M., Rao, V. K., Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*. 163. 1037-1046.
- Selye, H. 1973. The evolution of the stress concept: The originator of the concept traces its development from the discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic applications of syntoxic and catatoxic hormones. *American Scientist*. 61 (6). 692-699.
- Serrano, R., Mulet, J. M., Rios, G., Marquez, J. A., Larrinoa, I. F., Leube, M. P., Mendizabal, I., Pascual-Ahuir, A., Proft, M. Ros, R., Montesinos, C. 1999. A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *Journal of Experimental Botany*. 50. 1023-1036.
- Shannon, M. C. 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*. 60. 75–120.
- Shinozaki, K., Yamaguchi- Shinozaki, K. 1999. Molecular response to cold, drought, heat and salt in higher plants. R. G. Landes Company. Austin. 170 p. ISBN: 1597342238.
- Schulze, E., Beck, E., Müller- Hohenstein, K. 2005. Plant ecology. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 702 p. ISBN: 354020833X.
- Sinskaja, E. N. 1973. Historická geografie kulturních rostlin. Academia. Praha. 468 s.
- Skládanka, J. Čírok obecný [online]. Ústav výživy zvířat a pícninářství MZLU v Brně. 2006. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=cirok.html>.

- Smith, W. C., Frederiksen, R. A. 2000. Sorghum: origin, history, technology and production. John Wiley & Sons, Inc. New York. 840 p. ISBN: 0471242373.
- Svensson, J. 2001. Functional studies of the role of plant dehydrins in tolerance to salinity, desiccation and low temperatures. Swedish University of Agricultural Sciences. Upsala. 259 p. ISBN: 9157657793.
- Swbiodiversity.org. [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z:
<<http://swbiodiversity.org/seinet/imagelib/imgdetails.php?imgid=474002>>.
- Ústav experimentální botaniky ČR. 2012. Milovníci extrémů. [online]. [cit. 2017-01-28].
Dostupné z: <<http://www.ueb.cas.cz/cs/content/milovnici-extremu>>.
- Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2016. Seznam odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize. [online]. [cit. 201-01-26]. Dostupné z:
<http://eagri.cz/public/web/file/408615/_32016.pdf>.
- Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 2011. [online]. [cit. 2017-02-16].
Dostupné z: <<http://www.vumop.cz/>>.
- Výzkumný ústav rostlinné výroby. 2015. [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z:
<https://www.vurv.cz/index.php?p=genova_bank&site=vyzkum>.
- Watereducation.org. [online]. [cit. 2017-01-12]. Dostupné z:
<<http://www.watereducation.org/sites/main/files/file-attachments/2009/10/Salt-on-the-ground.jpg>>.
- Zhang, L. X., Gao, M., Li, S., Liang, Z. 2011. Modulation of plant growth, water status and antioxidative systems of two maize cultivars induced by exogenous glycinebetaine under long term mild drought stress. *Pakistan Journal of Botany*. 43 (3). 1587-1594.
- Zhu, J. K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*. 6 (5). 441-445.

Seznam příloh

- Obr. I: Založení pokusu, rostliny čiroku ve fázi 8-10 BBCH
- Obr. II: Rostliny čiroku ve fázi 11-12 BBCH
- Obr. III: Rostliny čiroku ve fázi 15 BBCH (zahájení pokusu)
- Obr. IV: Rostliny čiroku po ukončení pokusu
- Obr. V: Příprava terčíků pomocí korkovrtu
- Obr. VI: Zkumavky s terčíky před měřením REL_1
- Obr. VII: Měření vodivosti pomocí konduktometru
- Obr. VIII: Navážené vzorky pro stanovení obsahu prolinu (foto autor)
- Obr. IX: Příprava filtrátu pro stanovení obsahu prolinu
- Obr. X: Spektrofotometr Helios γ

9. Přílohy



Obr. I: Založení pokusu, rostliny čiroku ve fázi 8-10 BBCH (foto autor)



Obr. II: Rostliny čiroku ve fázi 11-12 BBCH (foto autor)



Obr. III: Rostliny čiroku ve fázi 15 BBCH (zahájení pokusu) (foto autor)



Obr. IV: Rostliny čiroku po ukončení pokusu (foto autor)



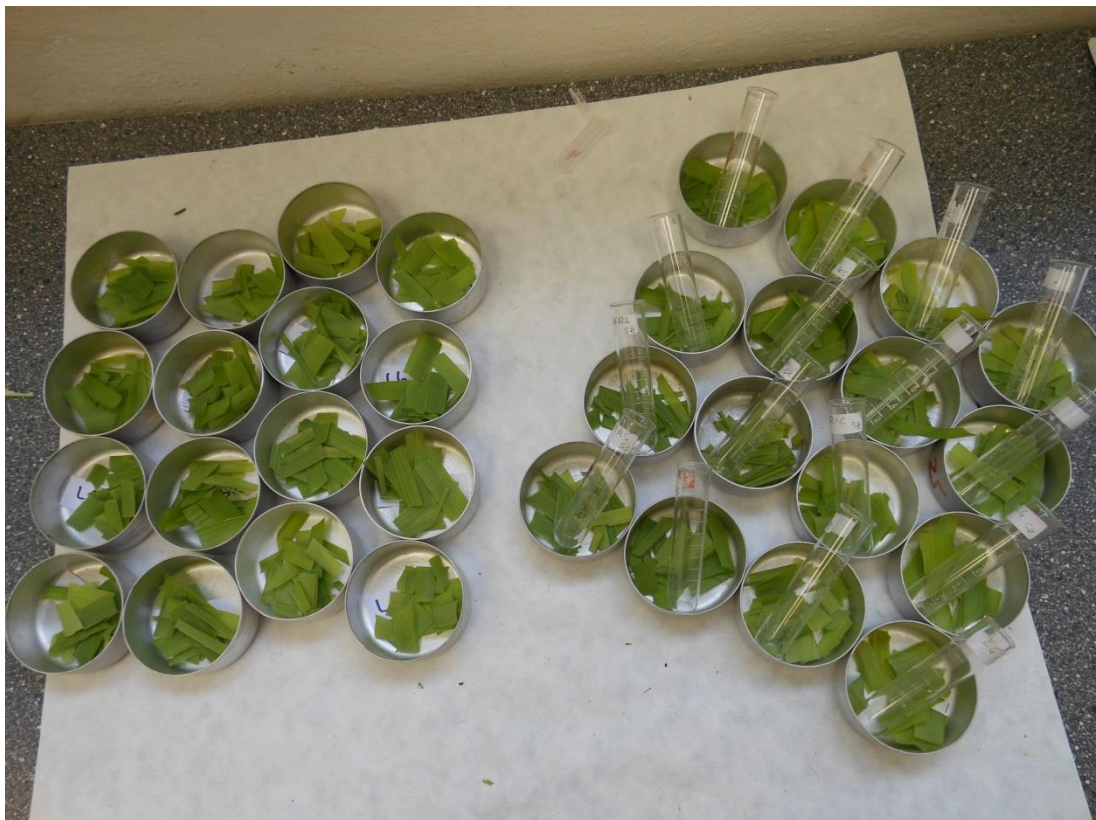
Obr. V: Příprava terčků pomocí korkovrtu (foto autor)



Obr. VI: Zkumavky s terčky před měřením REL_1 (foto autor)



Obr. VII: Měření vodivosti pomocí konduktometru (foto autor)



Obr. VIII: Navážené vzorky pro stanovení obsahu prolinu (foto autor)



Obr. IX: Příprava filtrátu pro stanovení obsahu prolinu (foto autor)



Obr. X: Spektrofotometr Helios γ (foto autor)

