

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Vliv osmotického stresu na stabilitu membrán

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Stará

Obor studia: Zahradnictví

Vedoucí práce: Ing. Helena Hniličková, Ph.D.

© 2017 ČZU v Praze

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci "Vliv osmotického stresu na stabilitu membrán" vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne: 26.3.2017

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Heleně Hniličkové, Ph.D. za obětavý a vstřícný přístup a za cenné rady, které mi poskytla v průběhu tvorby práce.

Dále bych také ráda poděkovala všem, kteří mi umožnili práci zpracovat a byli mou oporou po dobu studia.

Vliv osmotického stresu na stabilitu membrán

Effect of osmotic stress on the stability of the membranes

Souhrn:

Cílem práce bylo zhodnotit rozdílné působení soli na pět druhů listové zeleniny a zhodnotit jejich poškození a stabilitu buněčných membrán v důsledku působení osmotického stresu.

Pokus závěrečné práce „Vliv osmotického stresu na stabilitu membrán“ byl založen v Praze dne 15.3.2016 v experimentálním a pokusném skleníku Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU. Bylo zaseto po 20 g semene salátu, roket, čtyřboče, polníčku a šruchy a po dobu padesáti dní zaléváno roztoky NaCl o různých koncentracích (50, 100, 200 mmol/l) a destilovanou vodou.

Měření specifické elektrické vodivosti pomocí vodivostního čidla GRYF VEL 365/t D od společnosti GRYF HB, s.r.o. probíhalo v laboratorních podmínkách dne 4.5.2016 a bylo rozděleno na tři varianty, zalévané roztoky s rozdílnými koncentracemi soli a jednu variantu zalévanou vodou.

Pokus byl založen na principu vzrůstajícího poškození membrán s rostoucími koncentracemi soli. Čím vyšší koncentrace soli, tím větší poškození membrány a tudíž vyšší hodnota naměřená konduktometrem.

Byla naměřena specifická elektrická vodivost roztoku pro každý druh listové zeleniny. Podle výsledků jsme schopni porovnat rezistenci jednotlivých druhů. Na základě těchto výsledků jsme v grafech porovnali poškození jednotlivých druhů.

Relativní výtok elektrolytu u varianty zalévané roztokem soli o koncentraci 200 mmol/l bylo u salátu 62,2 %, šruchy 86,6 %, čtyřboče 50,2 %, roket 87,7 % a u polníčku byla míra poškození pletiv tak vysoká, že byla poškozena celá rostlina.

Na závěr můžeme konstatovat, že každá z rostlin reaguje na vodní stres a zasolení různým způsobem, což v práci kvantifikujeme, a u citlivých druhů může dojít i k úhynu rostliny. Z našich výsledků vyplynulo, že druhy šrucha a roketa se jeví jako tolerantní k zasolení a salát je citlivý a polníček je velmi citlivý druh k zasolení.

Klíčová slova: salát, šrucha, čtyřboč, roketa, polníček, vodní stres, zasolení, stabilita membrán

Summary:

The experiment of thesis “Effect of the osmotic stress on the membrane stability” started in Prague on March 15, 2016 in the experimental greenhouse of Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Agriculture. There was sown 20g of seed of the lettuce, arugula, tetragonia, lamb’s lettuce and purslane and for fifty days watered by the natrium chloride solution of different concentrations (50, 100, 200 mmol/l) and pure water.

The aim of the work was to evaluate the effect of the salt on five kinds of leafy vegetables, and asses the damage and the stability of plant membranes under the stress of different level of the salinity.

The measurement of the specific electrical conductivity of solutions using the conductivity sensor GRYF VEL 365/t D of GRYF HB, Ltd. took place under laboratory conditions on May 4, 2016. Four different kinds of solutions were used for waterering these plants.

The experiment was based on the principle of increasing membrane damage with increasing salt concentration. The higher salt concentration cause the greater damage of the membrane and therefore a higher level of the measured conductivity.

The specific electric conductivity of the solution was measured for each type of leafy vegetables. So we were able to evaluate the resistance of individual vegetable species. We compared in graphs the level of vegetable leaves damage.

The relative membrane damage of plants watered by 200 mmol/l solution was: 62,2% for lettuce, 86,6% for purslane, 50,2% for tetragonium, 87,7% for arugula and the membrane damage of the lamb’s lettuce was so high, that no plant survived.

In conclusion, we can state, that each of the plant responses to the salinity stress in a different way, which we quantified in the work, and the sensitive species can even die. Our results showed that the species purslane and arugula appears to be tolerant to salinity. Lettuce is sensitive and lamb's lettuce is very sensitive.

Keywords: lettuce, purslane, tetragonia, arugula, lamb's lettuce, water stress, salinity, membrane stability

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární přehled	3
3.1	Rostlinná buňka	3
3.2	Buněčné membrány	5
3.2.1	Vrstva fosfolipidů	6
3.2.2	Proteiny ve fosfolipidové vrstvě	6
3.2.3	Membránový transport	6
3.3	Stres rostlin a jeho obecné pojetí	7
3.3.1	Abiotický stres	7
3.3.2	Biotický stres	10
3.4	Reakce na stres	11
3.4.1	Nespecifická reakce	11
3.4.2	Specifická reakce	11
4	Metodika	12
4.1	Charakteristika jednotlivých pokusných druhů listové zeleniny	12
4.2	Charakteristika lokality	12
4.3	Založení pokusu	13
4.3.1	Výsev	14
4.3.2	Varianty	14
4.4	Zpracování rostlinného materiálu	14
4.5	Zpracování výsledků	15
4.5.1	Vodivostní čidlo	15
4.5.2	Postup	15
5	Výsledky	16
5.1	Salát (<i>Lactuca sativa</i> L.)	16
5.2	Šrucha (<i>Portulaca oleracea</i> L.)	16
5.3	Čtyřboč (<i>Tetragonia tetragonoides</i> Pall. Kuntze)	17
5.4	Roketa (<i>Eruca sativa</i> Mill.)	18
5.5	Polníček (<i>Valerianella locusta</i> L.)	19
5.6	Porovnání jednotlivých druhů rostlin	19
5.6.1	Kontrolní varianta	19
5.6.2	Varianta zalévána roztokem o koncentraci soli 50 mmol/l	20
5.6.3	Varianta zalévána roztokem o koncentraci soli 100 mmol/l	21
5.6.4	Varianta zalévána roztokem o koncentraci soli 200 mmol/l	21
6	Diskuze	23
7	Závěr	26

8	Seznam použité literatury	27
9	Seznam použitých obrázků a grafů	32
9.1	Seznam použitých obrázků.....	32
9.2	Seznam použitých grafů	32
10	Seznam příloh.....	33
10.1	Seznam tabulek.....	33
10.2	Tabulky	34

1 Úvod

Rostliny jsou na svých stanovištích ovlivněny působením biotických a abiotických vlivů vnějšího prostředí. Některé vlivy jsou pozitivní a jsou nezbytné k jejich růstu a vývoji, avšak některé jsou negativní. Negativní působení vnějšího prostředí na rostlinu nazýváme stres. Stres ovlivňuje růst a vývin rostliny a její metabolické a fyziologické pochody. Mezi abiotické stresy patří: extrémní teploty, nedostatek nebo nadbytek vody, světla nebo nevyhovující složení půdy.

Hlavním abiotickým faktorem, ovlivňujícím zemědělskou produkci, je nedostatek vody. Nedostatek vody spolu se zasolením půd jsou v dnešní době největší problémy. Voda v rostlině slouží jako transportní médium pro organické a anorganické látky, další funkce vody v rostlině je regulace teploty a voda ovlivňuje také míru transpirace.

Rostlina bez vody zpomaluje svůj růst, uzavírá průduchy, inhibuje fotosyntézu a v krajních případech je zrychlené období senescence zakončeno úmrtím rostliny.

Zasolení je problém především v přímořských oblastech, kdy jsou za zvýšené koncentrace soli ovlivněny fyziologické procesy rostlin. Jedním z možných důsledků působení soli je porušení stability membrán v rostlinných pletivech. Toto porušení způsobuje pokles vitality.

Neustále probíhající pokusy, zabývající se stresem působícím na rostliny, mohou v budoucnosti pomoci ke zlepšení produkce na nehostinných stanovištích a ke zlepšení výběru odolných druhů.

Z enviromentálního hlediska se jedná o stále větší problém, jelikož lidská populace se neustále rozrůstá a je potřeba zvýšení zemědělské produkce. Tento problém je řešen především v rozvojových zemích, kde se potýkají s nedostatkem úrodné zemědělské půdy pro obživu a především s nepříznivými vlivy počasí.

2 Cíl práce

Cílem práce „Vliv osmotického stresu na stabilitu membrán“ bylo:

- Sledovat vliv osmotického stresu, způsobeného odstupňovanými koncentracemi roztoku NaCl, na poškození buněčných membrán vybraných druhů listových zelenin, kterými byly *Lactuca sativava*, *Eruca sativa*, *Tetragonia tetragonoides*, *Portulaca oleracea* a *Valerianella locusta*, na základě specifické vodivosti roztoku.
- Na základě výpočtu relativního výtoku elektrolytu stanovit poškození buněčných membrán rostlin.
- Porovnat a vyhodnotit odolnost rostlin a zvážit jejich vhodnost pro pěstování na zasolených stanovištích.

3 Literární přehled

3.1 Rostlinná buňka

Jedná se o základní stavební jednotku rostlinného těla, která se skládá z více stavebních částí. Jde o buňku eukaryotního typu a od buňky živočišné se odlišuje výskytem některých organel např. buněčné stěny.

Hlavní části rostlinné buňky:

- Buněčná stěna
- Protoplast
- Cytoplasma
- Jádro
- Jadérko
- Plastidy
- Mitochondrie
- Vakuola
- Endoplasmatické retikulum
- Golgiho komplex
- Cytoplasmatická membrána

Buněčná stěna (BS)

Jedná se o pevnou a permeabilní membránu složenou z hemicelulóz, pektinů a bílkovin, která má zejména strukturní, transportní a ochrannou funkci. Podílí se na růstu a na dělení rostlinných buněk. Lze ji rozlišit na primární BS, která je pružná a roste přidáváním nových vrstev mikrofibril, a sekundární, která je pevná a růst může pouze směrem ke středu buňky („tloušťka“). Pro kontakt s okolím se v BS vyskytují plasmodesmy, neboli „kanálky“ (Simon et al., 2014).

Protoplast

Protoplast je tvořen prostorem pod buněčnou stěnou, který se skládá z cytoplasmy a z ostatních organel (Taiz, Zeiger, 1991).

Cytoplasma

Cytoplasma tvoří výplň buňky pod plasmatickou membránou. Je složena z cytosolu a organel. Cytosol je tekutá složka cytoplasmy tvořena z velké části z vody. Slouží k hydrataci a ochraně organel, dále je také místem bohatých metabolických pochodů (Simon et al., 2014).

Jádro a jadérko

Jádro se skládá z jaderné membrány, karyoplazmy a z jadérka. Je to řídicí centrum eukaryotické buňky obsahující DNA, které je uloženo v chromatinu. Chromatin se podílí na dělení buňky ve formě chromozomů. Jadérko je uloženo v jádře a nemá vlastní jaderný obal. Reguluje syntézu RNA a tvorbu ribosomů. Při dělení buňky zaniká (Taiz, Zeiger, 1991).

Plastidy

Jedná se o semiautonomní organely se zásobní a metabolickou funkcí, tudíž hromadí zásobní látky v buňce. Může zde probíhat transkripce i vlastní fotosyntéza. Je známo několik typů plastidů a to: chloroplasty, chromoplasty, leukoplasty. Plastidy se vyskytují pouze v rostlinné buňce (Simon et al., 2014).

Mitochondrie

Mitochondrie jsou další semiautonomní organely zajišťující buněčné dýchání a výrobu energie ATP, která je pak použita v jiných částech buňky. Jsou tvořeny dvojitou membránou, na povrchu hladkou a uvnitř zvlněnou, tvořící „kristy“ (Pollard et al., 2008).

Vakuola

Vakuola je orgán ohraničený tonoplastickou membránou, který zajišťuje turgor rostlinné buňce a dále shromažďuje látky pro rostlinu toxické. V mladých rostlinách je více malých vakuol v jedné buňce a u starých rostlin se spojují v jednu velkou (Lennarz et al., 2013).

Endoplasmatické retikulum (ER)

ER je organela těsně nasedající na jádro. Rozlišujeme ER drsné a hladké. Drsné ER odpovídá za tvorbu bílkovin a jejich reparaci a na jeho povrchu jsou ribosomy a hladké ER se zbavuje látek škodlivých pro rostlinný organismus (Pollard et al., 2008).

Golgiho komplex

Jedná se o membránový systém tvořený malými váčky, který upravuje složení bílkovin z endoplazmatického retikula. V rostlinné buňce je nazván diktiozóm (Lennarz et al., 2013).

Cytoplasmatická membrána

Často je nazývána také plasmatickou membránou. Jde o semipermeabilní membránu složenou z dvojité vrstvy fosfolipidů, na každé straně membrány s odlišným složením. Její hlavní funkce je enzymatická, transportní a kromě toho vyrovnává osmotický tlak uvnitř buňky (Pollard et al., 2008).

3.2 Buněčné membrány

Jedná se o dvojité vrstvy fosfolipidů, ve kterých najdeme vložené integrální proteiny na vnitřní straně. Na vnější straně se mohou vyskytovat glykoproteiny a glykolipidy, vystupující nad povrch samotné membrány a tvořící glykokalyx (Simon et al., 2014). Procentuální zastoupení proteinů v membráně se u každé buňky liší. Tato stavba umožňuje membráně přijímání nebo držení substancí za současného vylučování substancí jiných. Membrána vymezuje prostor jednotlivých organel a reguluje tok iontů a metabolitů. Většina těchto transportů vyžaduje k jejich průběhu energii a celá struktura membrány je popsána mozaikovým modelem. (Taiz, Zeiger, 1991).

3.2.1 Vrstva fosfolipidů

Fosfolipidy jsou složené molekuly ze dvou mastných kyselin, připojených ke glycerolu, a třetí část je tvořena molekulou fosforylovaného alkoholu. Fosfolipidy mají dvě části:

- Hydrofilní část (hlavička) - vnější část, která interaguje s vnějším prostředím a s vodou, a je tvořena fosforylovaným alkoholem.
- Hydrofobní část (ocásek) – vnitřní část, komunikující s protilehlou hydrofobní vrstvou, tvořící „spoj“ dvojvrstvy. Avšak tyto vrstvy na sebe pevně nenasedají, jsou k sobě pouze přiložené a jednotlivé molekuly fosfolipidů se v membráně mohou pohybovat. Tato část je tvořena mastnými kyselinami.

Tato stavba membrány zajišťuje její semipermeabilitu. Tato vrstva také obsahuje přenašeče, povrchové markery a receptory (Taiz, Zeiger, 1991).

3.2.2 Proteiny ve fosfolipidové vrstvě

Většina proteinů je v této vrstvě fixována pomocí nehydrofilních ocásků, jelikož mají helikální strukturu. Rozlišujeme dva druhy proteinů (Raven et al., 2013):

- Proteiny procházející dvojvrstvou pouze jednou.
- Proteiny procházející dvojvrstvou několikrát tam a zpět.

3.2.3 Membránový transport

- Prostá difuze: Jedná se o velmi pomalý proces. Tímto způsobem se mohou skrz membránu pohybovat malé molekuly, jako je voda nebo látky rozpustné v tucích, bez použití přenašečů. Jedná se o pasivní transport (Taiz, Zeiger, 1991).

- Usnadněná difuze: Je proces o málo rychlejší než difuze prostá. Probíhá pomocí proteinového přenašeče, který pracuje na základě změny konformace po navázání přenášené látky. Transport probíhá bez spotřeby energie, tedy pasivně (Raven et al., 2013).

- Sodno – draselná pumpa: Je způsob přenosu draselných a sodných iontů skrz buněčnou membránu za spotřeby energie ATP. Děj probíhá proti koncentračnímu gradientu. Pracuje na principu transportu tří sodných iontů ven z buňky a dvou draselných iontů do buňky na základě změněné konformace membrány (Alberts, 2004).

- Kalciové kanály: Jedná se často o signální proces buňky probíhající bez spotřeby energie, tedy ve směru koncentračního gradientu, při kterém proudí Ca^+ kalciovým kanálem skrz membránu (Pollard et al., 2008).

3.3 Stres rostlin a jeho obecné pojetí

Rostliny na určitých stanovištích jsou vystavovány vnějším vlivům prostředí, které následně ovlivňují jejich růst, vývoj a rozmnožování. Prostor rostliny ovlivňuje pozitivně nebo negativně. Optimum je stav vnějšího prostředí, při kterém rostlina nejlépe prosperuje, naopak negativní ovlivnění rostliny je zapříčiněno stresorem, který je původcem stresu (Bláha, 2003).

Stresorem jsou nazývány nevhodné životní podmínky, ve kterých se rostlina vyskytuje, a stres je aktuální stav rostliny (Hnilička a Středa, 2016). Tito autoři také tvrdí, že stres je souborem působení několika dynamických reakcí najednou.

Podle Levitta (1980) lze stres definovat dvěma způsoby. Jeden je převzat z mechaniky, kdy je stres vyjadřován jako negativně působící síla, která může mít na rostlinu patologický dopad, stejně tak tvrdí i Schulze (2005). Druhý způsob je vysvětlován jako jakákoli změna vnějšího prostředí negativně působící na rostlinu.

Stres dále můžeme dělit na chronický a akutní. Stres chronický se na rostlině projevuje postupně a pomalu, avšak akutní stres způsobuje rychlé změny v rostlinné buňce (Lichtenthaler, 1987).

Stresové faktory dělíme na biotické, to jsou ty, které vznikly působením živých organismů, a abiotické, které vznikly působením fyzikálních, mechanických a chemických vlivů (Taiz, Zeiger, 1991).

3.3.1 Abiotický stres

Jedná se o stres způsobený fyzikálními, chemickými a mechanickými vlastnostmi prostředí. Do této skupiny patří například půdní podmínky a obsah jednotlivých živin dostupných pro rostlinu, dále také vodní deficit, nadbytek vody, zasolení nebo teplotní extrém. Řadíme sem i vlastnosti světelného spektra dopadajícího na rostlinu (Larcher, 2003).

3.3.1.1 Zasolení

Stres, který je zapříčiněn vysokým obsahem soli v půdě, způsobuje degradaci růstu a snižuje relativní obsah vody (RWC) a proteinů v substrátu. Naopak zvyšuje obsah prolinu (Haddadi, 2016). Sůl se postupně hromadí ve spodních vodách a v zemině a brzy může způsobovat vážné hyperosmolární a hyperiontové problémy, způsobené nedostatkem srážek nebo nadměrným výparem a neustále se opakujícími cykly zavlažování (Mahajan et Tuteja, 2005). Osmotický stres, často nazývaný stresem ze zasolení, je způsoben nadměrnou akumulací iontů Na^+ a Cl^- . Z druhého úhlu pohledu Munns (2002) tvrdí, že osmotický stres je způsoben nedostatkem vody v rostlinné buňce. Osmotický stres způsobuje změny v permeabilitě a stabilitě membrán (Sayed, 2003).

Procesy v rostlinné buňce při nadměrném zasolení (Blumwald et al., 2000):

- Přílivem Na^+ iontů dochází k narušení iontové rovnováhy a snadnějšímu příjmu Cl^- iontů po směru koncentračního gradientu.
- Nadměrný obsah Na^+ aniontů je pro buňku toxický a inhibuje funkci některých enzymů.
- Na^+ iont způsobuje disbalanci a inhibici buněčného dělení.
- Vysoký obsah Na^+ také vede k redukci fotosyntézy.

3.3.1.2 Vodní deficit

Vodní deficit je způsoben vysokou teplotou na stanovišti, a tím zvýšenou transpirací, vysokým obsahem soli v půdě nebo tím, že se jedná o aridní oblast (Simon et al., 2014). Vodní stres v rostlinách se může rozvíjet pomalu v řádech týdnů a měsíců nebo rychle v řádech hodin (Chaves et al., 2003). Cattivelli et al. (2008) a Mir et al. (2012) kladou důraz na fakt, že ve světě klesá roční úhrn srážek, a proto musíme začít hledat kulturní plodiny dobře snášející sucho (Bandurska et al., 2013).

Procesy v rostlinné buňce při vodním deficitu

- Rostliny reagují na stres zavíráním průduchů (stomat) za pomoci kyseliny abscisové, což způsobuje pokles fotosyntézy.
- Dále rostliny hromadí osmoprotektanty, což jsou malé molekuly, které pomáhají rostlině přežít stres, jako jsou glycin-betain a prolin (Bandurska et al., 2013).
- Proti stresu mohou rostliny syntetizovat ochranné proteiny LEA (late embryo abundant)
- Obranným procesem je také vadnutí, při kterém se sníží obsah vody ve vakuolách a tím se aktivuje pokles transpirace (Simon et al., 2014).

3.3.1.3 Vodní nadbytek

Stejně jako vodní deficit je často spojován s tématikou zasolení. Především v přímořských oblastech, kde může dojít k zaplavení mořskou vodou nebo k navátí slané vody kvůli hurikánu (Albrigo et al., 2005) stejně jako (Bianchette et al., 2009). Tento stres způsobuje nedostatek živin a zároveň nevyrovnanost rostlinných pletiv. Při nadměrném zasolení společně s nadbytkem vody pozorujeme pokles koncentrace iontů K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} a ionty Na^+ a Cl^- si konkurují (Romero-Aranda et al., 1998).

3.3.1.4 Živiny

Na celkovém stavu rostliny se podílí i procentuální zastoupení jednotlivých prvků v rostlině. Tyto prvky nazýváme živinami a dělíme je do dvou základních skupin - na makroživiny a mikroživiny. Mezi makroelementy patří: vodík, kyslík, uhlík, dusík, síra, fosfor, draslík a hořčík. Do mikroelementů řadíme: chlor, železo, bor, mangan, zinek, měď, molybden, kobalt. Všechny tyto elementy rostlina potřebuje v přesně daném poměru. Nedostatek jakéhokoli z prvků způsobuje omezený růst nebo dokonce úhyn rostliny (Barker et al., 2007).

3.3.1.5 Vysoké a nízké teploty

Jedná se o tepelný stres, který je rostlina schopna částečně regulovat transpirací a otevíráním a zavíráním průduchů. Bylo objeveno, že teplota listu se může měnit i za konstantní okolní teploty. Listy také mají tendenci k ohřevu, pokud jsou ozářeny a stomata jsou uzavřena (De Boeck et al., 2016).

3.3.1.6 Světelné spektrum

Rostliny jsou ovlivňovány všemi druhy záření, ale fotosyntéza probíhá pouze při dopadu fotonů určité vlnové délky. Světlo, které je rostlina schopna aktivně využít, se nazývá fotosynteticky aktivní radiace (FAR) a jeho vlnová délka je 400-700 nm. Rostliny s vysokými požadavky na světlo, jako je listová zelenina (salát), vyžadují intenzitu ozáření okolo 150 mmol.m⁻².s⁻¹ (Hladký, 2010). Při nižších intenzitách rostliny etiolizují, při vysokých intenzitách je rostlina poškozována volnými radikály kyslíku, které vznikají reakcí s fotony (Simon et al., 2014).

3.3.2 Biotický stres

Je druhým typem stresu. Jedná se o soubor pro rostlinu škodlivých vlivů způsobených živými organismy. Patří sem antropogenní vlivy, dále také parazitismus organismů, napadení mikroorganismy a patogeny nebo vliv býložravců (Schulze, 2005).

3.3.2.1 Parazitismus

Parazitismus je vztah mezi hostitelem a buňkou, která hostitele využívá ve svůj prospěch. Podle Kuijta (1969) platí:

- Pro přenos vody, organických a anorganických látek parazit používá most skrze xylém, floém je zcela nedotčen
- Transpirace rostliny je velmi vysoká, pravděpodobně kvůli lepšímu a rychlejšímu přenosu látek
- Specifita hostitele je velmi široká

3.3.2.2 Herbivoři

Herbivoři neboli býložravci jsou živočichové, kteří se živí rostlinnými pletivy a šťávami. Rostlinu poškozují mechanickým okusem nebo sáním tekutin (Sagers, 1992). Rostliny mají tyto obranné mechanismy:

- Trny nebo malé chloupky sloužící jako mechanická ochrana (Pillemer, 1976).
- Jako chemická ochrana slouží vosková vrstva na povrchu rostlin, obsah pryskyřic a také inkrustace buněčné stěny křemičitanem vápenatým (Epstein, 1994).
- Další chemická obrana pomocí terpenů a fenolů nebo alkaloidů, které způsobují podráždění pokožky a poškození nervového systému herbivora (Langenheim, 1994).

3.4 Reakce na stres

Pro vykonání reakce na stresor je v rostlinném organismu receptor proteinové povahy, který je umístěn nejčastěji v plasmatické membráně. Přenáší vzruch k efektoru, který vykoná fyziologickou odpověď na podráždění. Od receptoru k efektoru vede složitá síť proteinových reakcí (Trewavas, 1997). Stres je prvně zachycen receptory v cytoplasmatické membráně a dále je šířen pomocí sekundárních messengerů jako jsou kalcium, inosolové fosfáty a reaktivní formy kyslíku. Tyto messengery regulují hladinu intracelulárního vápníku, která je snímána receptory citlivými na obsah vápníku. Dále se spustí fosforilační kaskáda a společně s intracelulárním vápníkem aktivují geny zodpovědné za adaptaci rostliny na stres. Stres může vyvolat změnu v expresi genu, která zapříčiní vznik kyseliny amino máselné, salicylové a ethylenu. Tyto látky zesilují signál na receptoru v případě, že se stres objeví opakovaně (Mahajan et Tuteja, 2005) stejně jako (Sairam et Tyagi, 2004).

3.4.1 Nespecifická reakce

Reakce na stres můžeme pozorovat jak na buněčné, tak na molekulární úrovni. Příkladem nespecifické reakce jsou stresory způsobené nedostatkem vody, zasolením nebo nízkými teplotami, kdy se aktivují specifické proteiny pro stabilizaci vody v membránách v kapalném stavu. Syntézou nízkomolekulárních osmotitů v rostlině tedy zabráníme poklesu turgoru (Beck, 2007).

3.4.2 Specifická reakce

Podle Schulze (2005) je každá reakce organismu z části specifická a z části nespecifická, ale typickým příkladem specifické reakce je tvorba proteinů pro regulaci vysokých teplot. Avšak i tyto proteiny se z části podílí na nespecifické reakci, například při denaturaci proteinu.

4 Metodika

4.1 Charakteristika jednotlivých pokusných druhů listové zeleniny

K měření bylo použito těchto pět druhů listových zelenin.

Lactuca sativa L. – locika setá

Jedná se o rostlinu z řádu Asterales (hvězdnicotvaré), čeledi Cichoriaceae (čekankovité). Je to bylina s listy uspořádanými v přízemní růžici a prostoupenými mléčnicemi. Pravděpodobně pochází z Blízkého východu a v České republice se konzumuje jako listová zelenina.

Eruca sativa Mill. – roketa setá

Rostlina patří do řádu Brassicales (brukvotvaré) a do čeledi Brassicaceae (brukvovité). Pochází z oblasti Asie a její bezpalisté listy obsahují hořčičné a aromatické silice. Plodem je šesule. Pro tuto zeleninu je typická trpká chuť. Stejně jako salát je používána jako listová zelenina.

Tetragonia tetragonoides Pall. Kuntze – čtyřboč rozložitá

Jedná se o rostlinu s dužnatými listy z řádu Caryophyllales (hvozdíkotvaré), čeledi Aizoaceae (kosmatcovité). U nás se pěstuje jako napodobenina špenátu. Často je přezdívána „novozélandský špenát“. Plodem je tobolka.

Portulaca oleracea L. – šrucha zelná

Rostlina u nás dříve pěstovaná jako zelenina přezdívána „portulák“ z řádu Caryophyllales (hvozdíkotvaré) a čeledi Portulacaceae (šruchovité) je původem z Asie. Jedná se o rostlinu s dužnatými listy, jejímž plodem je tobolka.

Valerianella locusta L. - kozlíček polníček

Jedná se o jednoletou bylinu, řádu Dipsacales (štětkotvaré), čeledi Valerianaceae (kozlíkovité), která pochází z Ameriky. Používá se jako salátová zelenina po celé Evropě.

4.2 Charakteristika lokality

Celý pokus probíhal na experimentálním pracovišti České zemědělské univerzity (dále jen ČZU) v Praze, které se nachází v srdci střední Evropy, mírně severně od středu ČR. Praha je řazena do mírného klimatického pásma s průměrnými ročními teplotami okolo 8-10 °C. Za nejstudenější měsíc je považován leden, za nejteplejší červen. Roční úhrn srážek se pohybuje okolo 600 mm. Pokusný skleník, ve kterém pokus probíhal, se nachází v části města Prahy –

Suchdol s nadmořskou výškou 270-290 m. n. m.. S touto výškou patří Suchdol mezi nejvyšší části Prahy. Malá část severu Prahy je tvořena černozeměmi, na zbytku převládají hnědozemě.

4.3 Založení pokusu

Pokus byl založen dne 15.3.2016 v experimentálním a pokusném skleníku Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů (dále jen FAPPZ) ČZU. Jedná se o větraný skleník, kde nejnižší teploty neklesají pod 10 °C. Skleník je stolový a celý den vystavený slunečnímu záření.



Obr.č.1 Založení výsevu – první dny po vzejití



Obr.č.2 Založení výsevu – ujmutí rostlin

4.3.1 Výsev

Bylo vyseto 20 g semene salátu, rukoly, čtyřboče, polníčku a šruchy do zahradního substrátu. Substrát byl zaléván pravidelně tak, aby nikdy zcela nevyschl, jinak by ztratil svou kyprost a schopnost zadržovat vodu. Po vyrašení byla zelenina přepichována po třech do čtvercových plastových květináčů o rozměru 13 cm x 13 cm x 13 cm a objemu 1,55 l. Každý druh zeleniny čítal 50 květináčů, čtyřboč pouze 38 květináčů z důvodů menšího počtu semen ve výsevu. Pokus byl až do ujmoutí rostlin zaléván pouze vodou.



Obr.č.3 Rostliny přepíchané do květináčů

4.3.2 Varianty

Po ujmoutí rostlin, zaléváných pouze vodou, bylo vytvořeno pět skupin po deseti květináčích od každého druhu zeleniny (7 od čtyřboče). Tři varianty byly stresované solí a jedna kontrolní, zalévána pouze vodou. Rostliny byly zalévány vždy 50 ml tekutiny o koncentracích solí: 50mmol/l, 100mmol/l, 200 mmol/l a vodou. Frekvence zalévání byla dvakrát až třikrát týdně a ve slunných dnech i každý den z důvodu vysoké teploty ve skleníku. Pletí probíhalo průběžně při každém zalévání a zaplevelenost byla minimální.

4.4 Zpracování rostlinného materiálu

Pokus byl ukončen dne 4.5.2016 po padesáti dnech, kdy byly všechny varianty přesunuty do laboratoře ČZU, katedry botaniky a fyziologie rostlin. Sklizeň byla provedena probírkou náhodných listů, které byly neprodleně zpracovány.

4.5 Zpracování výsledků

Pomocí vodivostního čidla byla měřena specifická elektrická vodivost roztoku, který obsahoval terčiky jednotlivých rostlin.

4.5.1 Vodivostní čidlo

Pro získání výsledků bylo použito vodivostní čidlo GRYF VEL 365/t D od společnosti GRYF HB, s.r.o., které je složeno z průhledného krycího tubusu a měřicího čtyřelektrodového platinového systému na korundové podložce. Slouží k měření konduktivity neboli specifické vodivosti roztoku. Hodnoty byly měřeny v jednotkách $\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$.

Měření začíná ponořením elektrod do měřeného roztoku tak, aby se pod plastovou krytkou nevyskytovaly vzduchové bubliny, které by mohly zkreslit výsledek. Po vynoření elektrod a započetí měření nového vzorku je nutno elektrody pečlivě opláchnout destilovanou vodou.

4.5.2 Postup

Z náhodně vybraných listů bylo vyříznuto 10 terčiků o průměru 1 cm. Těchto deset terčiků bylo použito vždy na sérii tří měření (EC1, EC2, EC3). Z každé varianty stresovaných i kontrolních rostlin byly naměřeny tři série hodnot (EC1, EC2, EC3).

První měření specifické elektrické vodivosti (Electro-Conductivity) EC1, bylo provedeno po proprání terčiků v destilované vodě po dobu 15 minut a jejich ponoření do zkumavek s 5 ml destilované vody. Proběhlo při pokojové teplotě.

Druhé měření EC2 proběhlo po čtyřiaadvacetihodinové expozici vzorku v chladničce, která splňovala podmínku teploty do 10 °C a tmy. Po vynětí vzorku z lednice, před provedením druhého měření, byl vzorek temperován na pokojovou teplotu.

Po vaření vzorku po dobu 15 minut a jeho následném zchlazení na pokojovou teplotu bylo naměřeno EC3.

Z naměřených hodnot elektrické vodivosti byl vypočítán výtok elektrolytu (EL) podle vztahu:

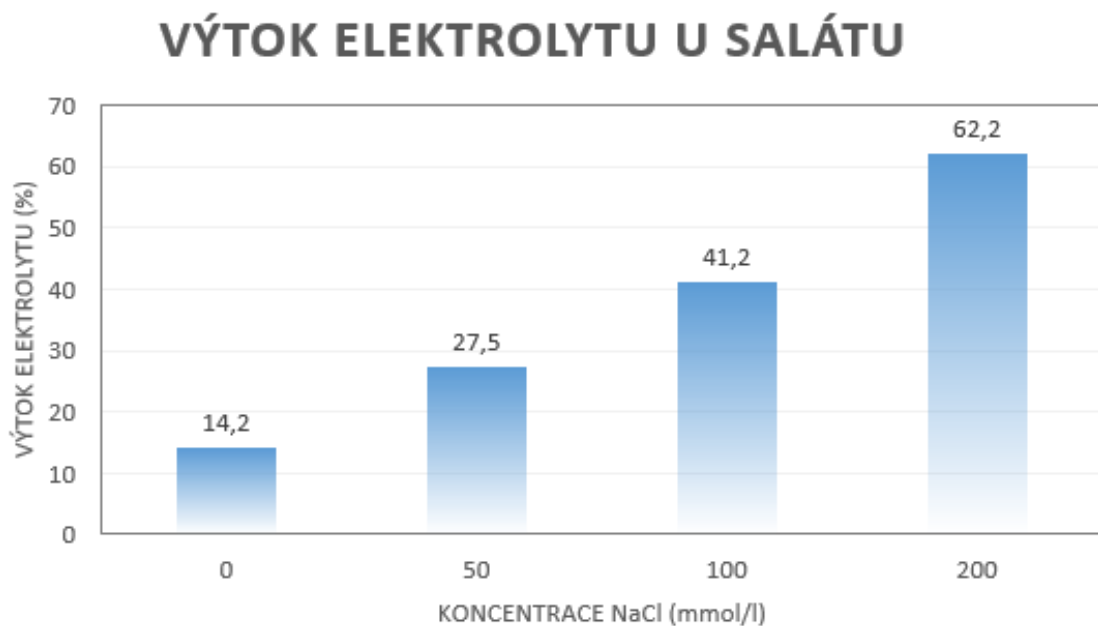
$$\text{EL} = [(\text{EC2} - \text{EC1}) / (\text{EC3} - \text{EC1})] * 100\%$$

5 Výsledky

Byla měřena specifická elektrická vodivost u pěti druhů listové zeleniny, a to u salátu, šruchy, čtyřboče, roketky a polníčku. Měření proběhlo pro variantu zalévanou vodou a roztoky soli NaCl o koncentracích: 50mmol/l, 100mmol/l, 200 mmol/l.

5.1 Salát (*Lactuca sativa* L.)

Pro rostlinu *Lactuca sativa* byly naměřeny hodnoty specifické elektrické vodivosti. Podle průměrných hodnot výsledků bylo zjištěno, že poškození pletiv je pro variantu zalévanou vodou nejnižší, a to 14,2 %. U dalších hodnot poškození byl zřejmý vzrůstající trend. Pro varianty 50,100 a 200 mmol/l hodnoty vycházejí na 27,5 %, 41,2 %, 62,2 %, jak můžeme vidět v grafu č.1. Hodnota poškození narůstá pravidelně bez větších výkyvů, s výjimkou nejvyšší hodnoty při koncentraci roztoku 200 mmol/ NaCl, která stoupla o 21 %.

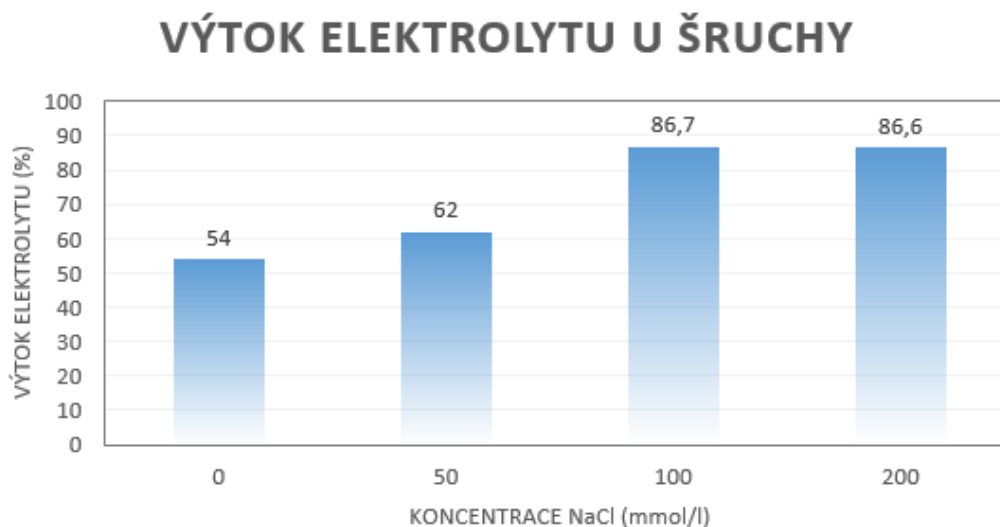


Graf č. 1 Relativní poškození *Lactuca sativa* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

5.2 Šrucha (*Portulaca oleracea* L.)

Můžeme pozorovat podobnost mezi hodnotami poškození u rostlin zalévaných vodou a roztokem o obsahu soli 50 mmol/l. Podle průměrných hodnot výsledků můžeme pozorovat pro *Portulaca oleracea* zalévanou vodou hodnotu poškození 54 %, pro variantu 50 mmol/l poškození 62 %, hodnoty pro 100 a 200 mmol/l jsou 86,7 % a 86,6 %. U šruchy se nepatrně

projevilo větší poškození u varianty zalévané roztokem s koncentrací soli 100 mmol/l než 200 mmol/l. Hodnoty můžeme pozorovat v grafu č.2.



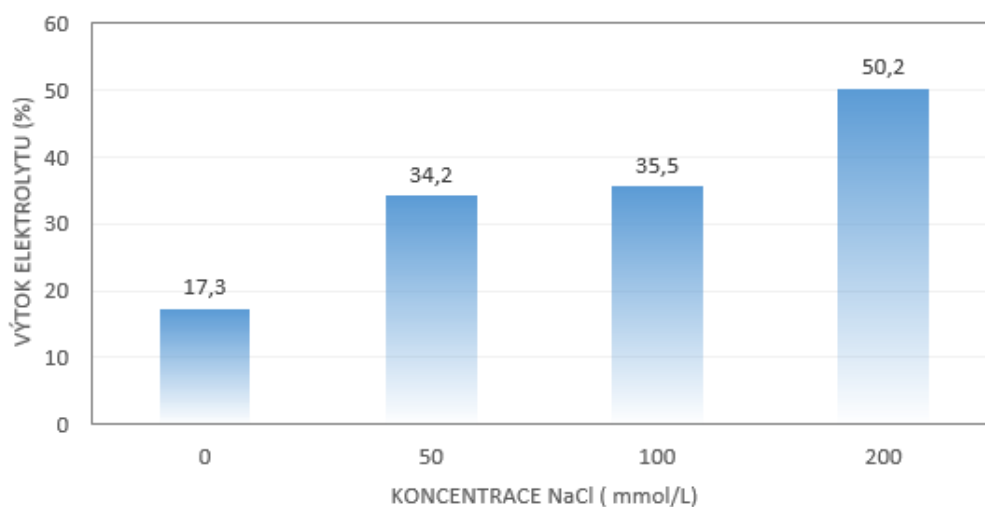
Graf č. 2 Relativní poškození *Portulaca oleracea* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

5.3 Čtyřboč (*Tetragonia tetragonoides* Pall. Kuntze)

U naměřených hodnot pro rostlinu *Tetragonia tetragonoides* pozorujeme velké výkyvy především u varianty s koncentrací NaCl 200 mmol/l, a to především mezi prvním měřením (EC1) a třetím měřením (EC3) viz. kap. 10, tabulka č.3.

Relativní poškození u *Tetragonia tetragonoides* má u varianty zalévané vodou velmi podobnou hodnotu jako u ostatních rostlin a to 17,3 %. Hodnoty variant 50, 100, 200 mmol/l rostou pozvolně: 34,2 %, 35,5 %, 50,2 %. Nárůst poškození ukazuje graf č. 3.

VÝTOK ELEKTROLYTU U ČTYŘBOČE



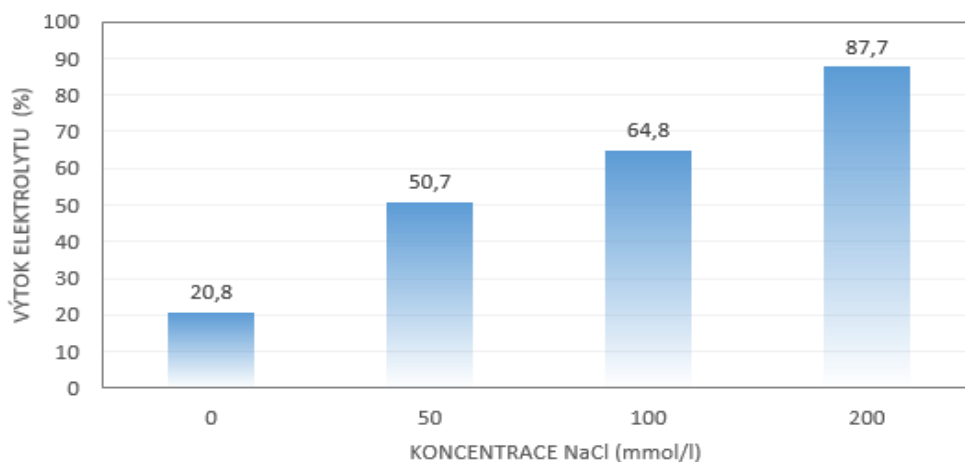
Graf č. 3 Relativní poškození *Tetragonia tetragonoides* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

5.4 Roketa (*Eruca sativa* Mill.)

Hodnoty specifické elektrické vodivosti roztoku pro rostlinu *Eruca sativa* dosahovaly doposud nejvyšších hodnot ze všech rostlin, především u varianty 200 mmol/l.

U *Eruca sativa* pozorujeme největší rozdíly hodnot poškození mezi variantou s vodou a variantou s 200 mmol/l soli. Pro variantu zalévanou vodou se relativní poškození pohybuje ve výši 20,8 % a pro variantu zalévanou roztokem 200 mmol/l 87,7 %. Rostliny zalévané zbývajícími koncentracemi 50 a 100 mmol/l jsou poškozené z 50,7 % a 64,8 %, jak ukazuje graf č. 4.

VÝTOK ELEKTROLYTU U ROKETY

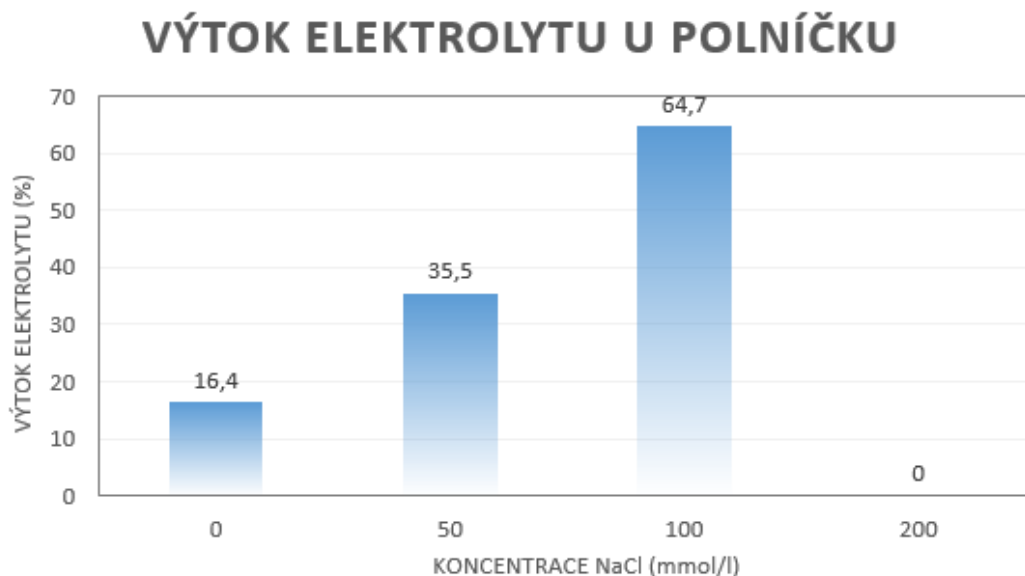


Graf č. 4 Relativní poškození *Eruca sativa* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

5.5 Polníček (*Valerianella locusta* L.)

Z výsledků vyplývá, že *Valerianella locusta* je nejméně odolný druh vůči zasolení a varianta zalévaná roztokem soli o koncentraci 200 mmol/l zahynula. Proto se ve výsledcích neobjevují hodnoty pro tuto koncentraci. Přestože vizuální vitalita rostliny *Valerianella locusta* byla v porovnání s ostatními rostlinami nejhorší, naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti se pohybovaly v podobných rozmezích jako u ostatních rostlin.

Z grafu č.5 je patrné, že poslední varianta uhynula, avšak varianta zalévaná vodou má druhé nejmenší relativní poškození ze všech rostlin a to 16,4 %. Hodnoty pro varianty zalévané roztoky soli jsou: 35,5 %, 64,7 %.



Graf č. 5 Relativní poškození *Valerianella locusta* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

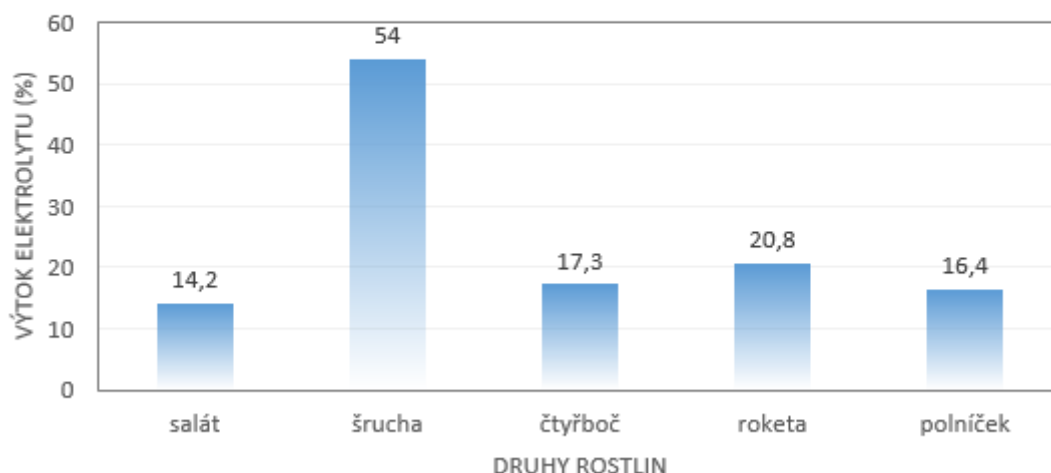
5.6 Porovnání jednotlivých druhů rostlin

V následujících grafech jsou zaznamenány rozdíly v relativním poškození membrán pro každou variantu zálivky a druh rostliny.

5.6.1 Kontrolní varianta

Pro variantu zalévanou vodou byly naměřeny hodnoty relativního poškození: u salátu 14,2 %, čtyřboče 17,3 %, rockety 20,8 % a polníčku 16,4 %. Hodnota u šruchy vystoupala až na 54 %, což je nejvyšší naměřená hodnota. Můžeme tvrdit, že množství iontů v buněčné šťávě se liší s každým druhem rostliny.

POROVNÁNÍ ROSTLIN KONTROLNÍHO VZORKU

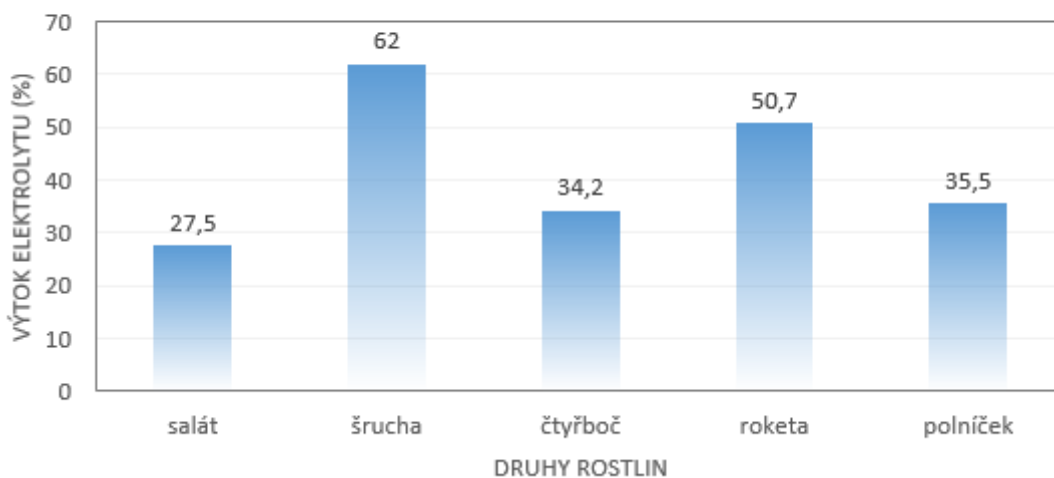


Graf č.6 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané vodou

5.6.2 Varianta zalévaná roztokem o koncentraci soli 50 mmol/l

Zalévání roztokem s touto koncentrací mírně smazalo rozdíly v poškození mezi šruchou a roketou. Pro šruchu byla naměřena hodnota 62 % a pro roketu 50,7 %. Další tři druhy vykazovaly poškození velmi podobné a to 27,5 % u salátu, 34,2 % u čtyřboče a 35,5 % u polníčku. Přesto, že šruha vykazuje nejvyšší poškození, její nárůst poškození membrán je od varianty zalévané vodou nejmenší.

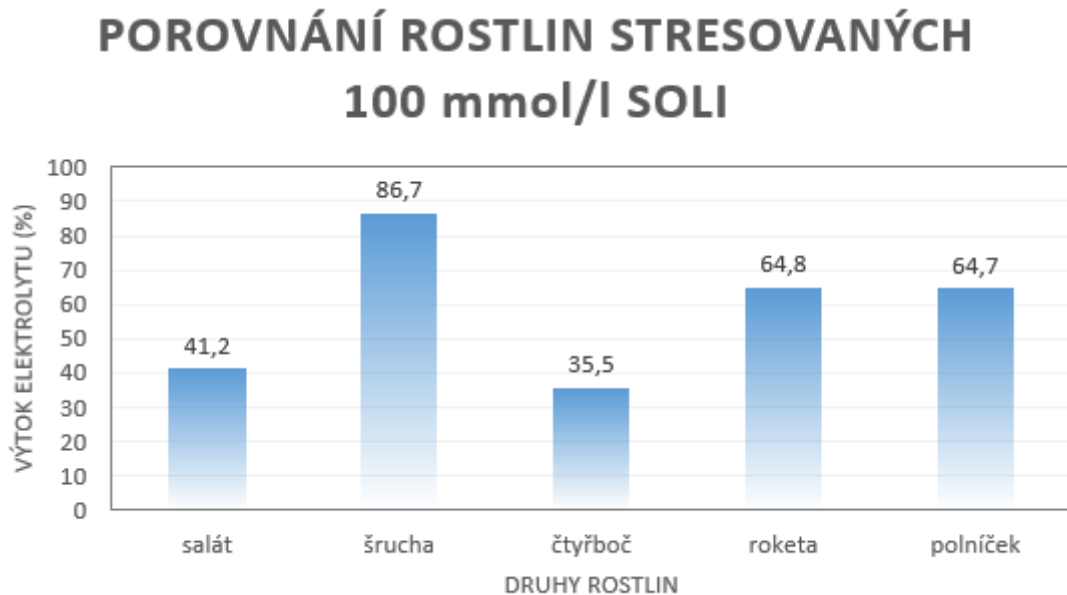
POROVNÁNÍ ROSTLIN STRESOVANÝCH 50 mmol/l SOLI



Graf č.7 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané roztokem soli o koncentraci 50 mmol/l

5.6.3 Varianta zalévaná roztokem o koncentraci soli 100 mmol/l

U této varianty můžeme pozorovat nárůst poškození čtyřboče pouze o 1,3 %. Poškození rockety a polníčku pro tuto variantu je téměř stejné a to 64,8 % a 64,7 %. Nejvyšších hodnot opět dosáhla šrucha a to 86,7 %. Pro salát platí hodnota poškození 41,2 %.

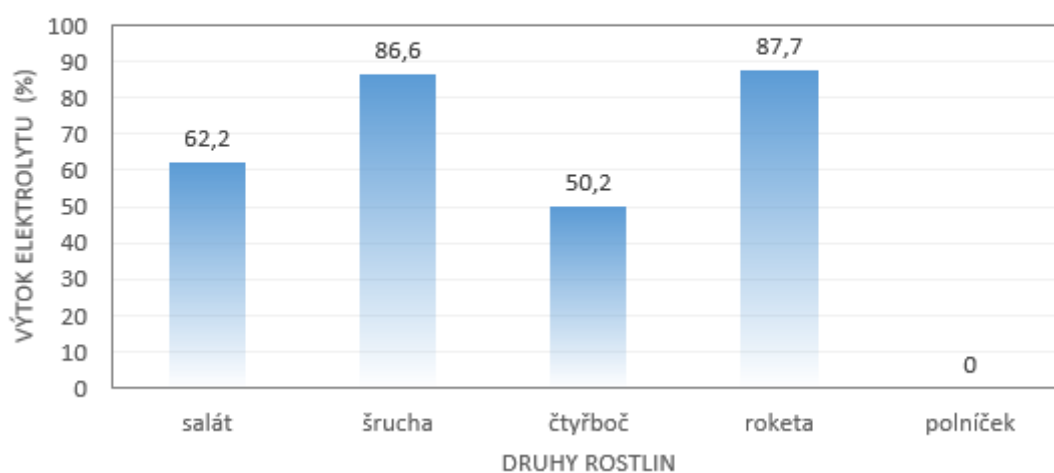


Graf č.8 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané roztokem soli o koncentraci 100 mmol/l

5.6.4 Varianta zalévaná roztokem o koncentraci soli 200 mmol/l

U rostlin zalévaných nejvyšší koncentrací roztoku soli došlo k úhynu polníčku, proto byly jeho hodnoty neměřitelné. U šruchy došlo dokonce k poklesu hodnot poškození a při měření těchto hodnot byla šrucha vizuálně nejvitálnější. Z toho můžeme vyvozovat odolnost šruchy vůči zasolení. Hodnota pro salát byla naměřena přibližně stejná jako pro roketu a polníček v předchozím měření, tedy 62,2 %. Nejnižší hodnotu poškození ve výsledném stavu jsme zaznamenali u čtyřboče (50,2 %) a nejvyšší u rockety (87,7 %).

POROVNÁNÍ ROSTLIN STRESOVANÝCH 200 mmol/l SOLI



Graf č.9 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané roztokem soli o koncentraci 200 mmol/l

6 Diskuze

Zasolení je jedním z největších hospodářských problémů v dnešní době a potýká se s ním zemědělství ve všech zemích po celém světě (Munns, 2002).

Podle Sairama a Tyagia (2004) je až 20 % zemědělské zavlažované půdy silně ovlivněno salinitou. Podle Munse a Testera (2008) je zasoleno až 6 % půdy na Zemi. Zasolení působí největší problémy především v období klíčení semen, růstu sazenic, vegetačního růstu a také v době kvetení. Negativní vliv zasolení je patrný především na sníženém hospodářském výnosu a zhoršené kvalitě rostlinných produktů.

Schopnost rostlin přežít pod stresem způsobeným zasolením je velmi důležitá především při výběru lokality a rozmístění rostlin (Flowers and Flowers, 2005).

Stejně jako Munns (2002) tvrdí i Ashraf (2004), že schopnost rostlin přizpůsobit se stresu z nadbytku soli a nedostatku vody pramení především ze změn morfologických, fyziologických a biochemických.

Podle schopnosti reagovat na stres zasolením rozdělujeme rostliny do dvou skupin:

- Rostliny, které zasolení snáší velmi dobře, tedy halofyty.
- Rostliny, které rostou v půdách s vysokým obsahem NaCl s velkými obtížemi (glykofyty) (Sairam and Tyagi, 2004).

Salát je považován za rostlinu, která je středně citlivá k zasolení s prahovou hodnotou výtoky elektrolytu 1,3 dS/m¹ (Ayers et al., 1951). Bylo zjištěno, že odolnost vůči zasolení roste s věkem rostliny. Byla také porovnávána odolnost dvou skupin salátů a to saláty „římské“ a saláty „ledové“, kde se jako odolnější vůči zasolení projeví saláty „římské“ (Shannon et al., 1983).

Roketa je pravděpodobně původem z jižní Evropy, proto byla často pěstována v aridních a zasolených oblastech (Ashraf and Noor, 1993). Rostlina je vůči zasolení odolná a pod vlivem zasolení u ní dochází ke kumulaci cukrů, volných aminokyselin a prolinu v listech. Ke zpomalení vegetačního růstu došlo u roketky až při koncentraci 300 mmol/l NaCl (Ashraf, 1994).

Šrucha je plodina používaná jako zelenina, velmi rozšířená v oblasti středomoří. Její prahová hodnota výtoky elektrolytu je 6,3 dS/m¹ (Kumamoto et al., 1990).

Naprostá většina flory naší planety je tvořena glykofyty (99 %), tedy rostlinami, které nejsou schopny za zvýšené koncentrace NaCl přijímat vodu kořeny, kvůli vysokému osmotickému tlaku v půdě. Druhý problém glykofytů spočívá v neschopnosti rostliny

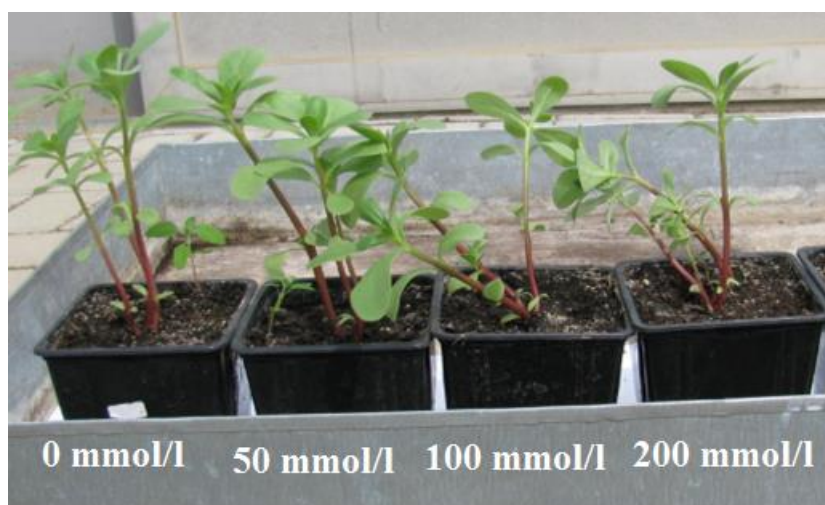
zabudovat nadbytečný iont Na^+ do vakuoly, což je u halofytních rostlin běžným procesem (Sairam and Tyagi, 2004).

Stejně tak Moseki a Buru (2010) tvrdí, že osmotická rovnováha v rostlině, mezi vakuolou a cytoplasmou, je zajištěna zabudováním iontů Na^+ do vakuoly.

Rostlina *Sesuvium portulacastrum* (L.) je silně halofytní rostlina nejlépe prospívající při koncentraci NaCl mezi 100-400 mmol/l, na jejích listech nebyly viditelné deformace ani při koncentraci NaCl až 1000 mmol/l. Bylo zjištěno, že je schopna vychytávat solné ionty z roztoku a ukládat je v různých částech rostliny. Velkoplošné vysazování této rostliny v aridních oblastech by mohlo být řešením pro snížení obsahu solí v půdním roztoku (Lokhande et al., 2013).

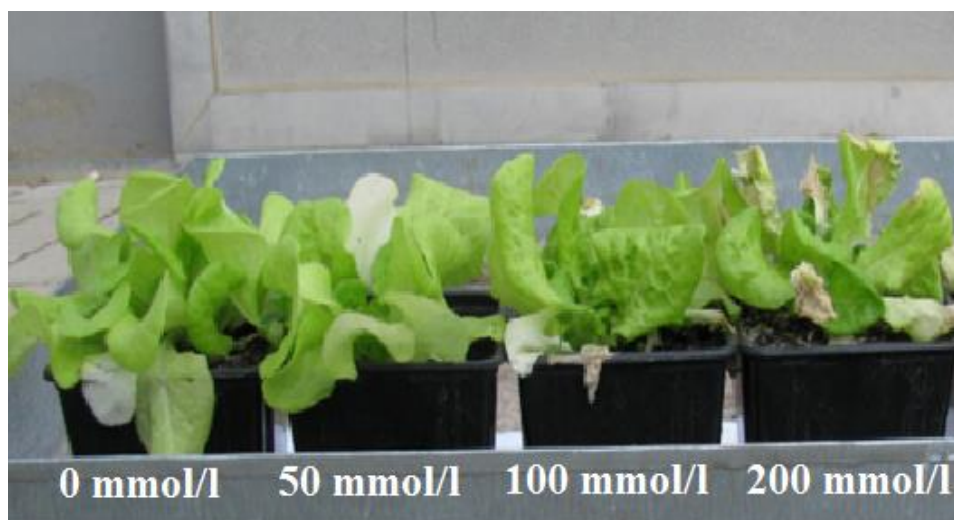
Z výsledků týkajících se čtyřboče byl zřejmý stoupající trend nárůstu poškození u variant zalévaných vodou poté roztokem o koncentraci 50 mmol/l, až do varianty zalévané koncentrací 100 mmol/l. Poškození varianty zalévané 200 mmol/l opět stouplo. Stejných výsledků dosáhl i Basim et al. (2010) u stejné rostliny *Tetragonia tetragonoides*. Ve svém měření pozoruje nejvyšší nárůst výtoku elektrolytu u varianty zalévané roztokem o koncentraci 50 mmol/l.

Byla zjišťována míra poškození buněčných membrán, pomocí měření výtoku elektrolytu roztoku. Nejvyšší míru výtoku elektrolytu procentuálně vykazovala roseta se šruchou (87,7 %; 86,6 %), avšak vizuálně byla vitalita těchto rostlin znatelně nejlepší (viz. obr. č. 4). Podle Glenna a Browna (1999) lze tento jev vysvětlit tím, že halofytní rostliny mají tendenci akumulovat Na^+ ve vakuolách na rozdíl od rostlin nehalofytních, které se naopak snaží Na^+ iontu zbavit za cílem udržení správného poměru K^+/Na^+ . Tím můžeme vysvětlit jev, kdy rostliny vykazující vysokou koncentraci iontů v elektrolytu byly vitálnější a bez znatelných problémů. Stejně tak tvrdí i Yazici et al. (2007), který se zabýval odolností šruchy, nazval ji halofytem a doporučuje ji na zasolená stanoviště.



Obr. č. 4 Zasolením téměř nepoškozená šrucha

Výsledky výtoku elektrolytu u salátu a polníčku byly při koncentraci 100 mmol/l: 41,2 % a 64,7 %. U koncentrace 200 mmol/l došlo k úhynu polníčku a salát vykazoval hodnotu 62,2 %. Přesto, že tyto hodnoty v porovnání s ostatními rostlinami nejsou zdaleka nejvyšší, vitalita těchto rostlin byla tak špatná, že u polníčku nebyl dostatek rostlinného materiálu na odběr vzorků potřebných pro měření. Ünlükara et al. (2008) podle svých výzkumů tvrdí, že salát je značně citlivý na zasolení a již při koncentraci 10 mmol/l NaCl dochází k 13 % poklesu výnosu produkce. Okrajová nekróza listů, která se projevila i u testovaných rostlin (viz. obr. č. 5), je typickým příznakem nadměrného zasolení působícího na salát (Poss et al., 1999).



Obr. č. 5 Okrajové nekrózy u salátu

Z našich výsledků vyplynulo, že druhy šrucha a roketa se jeví jako tolerantní k zasolení a salát je citlivý a polníček je velmi citlivý druh k zasolení. Jako řešení problémů zemědělské produkce týkajících se zasolení se jeví pěstování rostlin odolných vůči soli na zasolených oblastech a snaha člověka zmírnit dopady zasolení a znečištění půd a vod.

7 Závěr

V pokusu, který probíhal po dobu padesáti dní, bylo pěstováno pět druhů listové zeleniny. Každý druh byl zaléván solným roztokem o koncentracích 50, 100, 200 mmol/l a kontrolní vzorek byl zaléván vodou. Byl pozorován vliv slaných roztoků na vitalitu rostlin a následně měřena míra poškození membrán pomocí specifické měrné elektrické vodivosti roztoku s terčíky listů. Byly naměřeny následující hodnoty.

- U *Lactuca sativa* byl zjištěn se zvyšující se koncentrací (50, 100 a 200 mmol/l NaCl) postupný nárůst hodnot výtoku elektrolytu: 27,5 %; 41,2 % a 62,2 %.
- U *Portulaca oleracea* byl zjištěn se zvyšující se koncentrací (50, 100 a 200 mmol/l NaCl) postupný nárůst hodnot výtoku elektrolytu: 62 %; 86,7 % a 86,6 %, přičemž vysoké hodnoty byly naměřeny i u kontrolní varianty (54 %).
- U *Tetragonia tetragonoides* byl zjištěn se zvyšující se koncentrací (50, 100 a 200 mmol/l NaCl) postupný nárůst hodnot výtoku elektrolytu: 34,2 %; 35,5 %; 50,2 %.
- U *Eruca sativa* byl zjištěn se zvyšující se koncentrací (50, 100 a 200 mmol/l NaCl) postupný nárůst hodnot výtoku elektrolytu: 50,7 %; 64,8 % a 87,7 %.
- U *Valerianella locusta* byly hodnoty výtoku elektrolytu u varianty 50 a 100 mmol/l NaCl na úrovni 35,5 % a 64,7 %. U koncentrace 200 mmol/l NaCl došlo k úhynu rostlin.
- Z naměřených hodnot a vizuálního hodnocení rostlin je patrné, že nejméně odolný druh vůči zasolení je *Valerianella locusta*. Znatelné poškození v podobě zasychání listů se projevilo u *Lactuca sativa*. Tyto dva zmíněné druhy ovšem nevykazovaly nejvyšší naměřené hodnoty výtoku elektrolytu.
- Velice vitálně působila *Portulaca oleracea*, která ovšem vykazovala velice vysoké hodnoty výtoku elektrolytu. Vysvětlením může být fakt, že *Portulaca oleracea* má vyšší obsah iontů v buněčné šťávě, což je typické pro halofytní druhy a tudíž specifická elektrická vodivost je vyšší, aniž by došlo k poškození pletiv.
- Rovněž *Eruca sativa* může být považována za tolerantní druh vůči zasolení.

8 Seznam použité literatury

- ALBERTS, Bruce. *Essential cell biology*. 4th ed. New York: Garland Science, c2014. ISBN 978-0-8153-4454-4.
- ALBRIGO, L.G., Attaway, J., Bowman, K., Buker, R.S., Castle, W.S., Hancock, K.W., McCoy, C.W., Muraro, R.P., Rogers, M.E., Ritenour, M.A., Spreen, T., Spyke, P.D., Syvertsen, J.P., Timmer, L.W., Vachon, R.C., 2005, The impact of three hurricanes in 2004 on the Florida Citrus Industry: experiences and lessons learned. In: Proc. FSHS 11, 66–74.
- ASHRAF, M., 1994, Organic substances responsible for salt tolerance in *Eruca sativa*, Biol. Plant, 36, 255-259.
- ASHRAF, M., Noor, R., 1993, Growth and pattern of ion uptake in *Eruca sativa* Mill. under salt stress, Angew. Bot, 67, 17-21.
- AYERS, A.D., Wadleigh, C.H., Bernstein, L., 1951, Salt tolerance of six varieties of lettuce, Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 57, 237-242.
- BANDURSKA, H., Niedziela J., Chadzinikolau T., 2013, Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation., Plant Sci, 213, 98–105.
- BARKER, Allen V. a D. J. PILBEAM. *Handbook of plant nutrition*. Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis, c2007. ISBN 9780824759049.
- BASIM, S., YOUSIF, NGUYEN T. NGUYEN, YASUKO FUKUDA, HIROAKI HAKATA, YU OKAMOTO, YOSHIKUNI MASAOKA AND HIROFUMI SANEOKA, 2010, Effect of Salinity on Growth, Mineral Composition, Photosynthesis and Water Relations of Two Vegetable Crops; New Zealand Spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and Water Spinach (*Ipomoea aquatica*), INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY, 12, 211–216.
- BECK, EH., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K., Bhattarai, T., 2007, Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress, Journal of biosciences, 32 (3), 501-510.
- BIANCHETTE, T.A., Liu, K.-B., Lam, N.S.-N., Kiage, L.M., 2009, Ecological impacts of hurricane Ivan on the Gulf Coast of the Alabama: a remote sensing study, J. Coast, Res. 56, 1622–1626.

- BLÁHA, Ladislav. Rostlina a stres. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2003. ISBN 80-86555-32-1.
- BLUMWALD, E., G.S. Aharaon, M.P. Apse, 2000, Sodium transport in plant cells, *Biochim Biophys Acta*, 1465 (1-2),140-151.
- CATTIVELLI, L., Rizza F., Badeck F.W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Francia E., Mare` C., Tondelli A., Stanca A.M., 2008, Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics., *Field Crop*, 105, 1–14.
- DE BOECK, H. J., Helena Van De Velde, Toon De Groote, and Ivan Nijs, 2016, Ideas and perspectives: Heat stress: more than hot air, *Biogeosciences*, 13, 5821–5825.
- EPSTEIN, Emanuel, 1994, Review The anomaly of silicon in plant biology, *Proc. Natl. Acad. Sci*, 91, 11–17.
- FLOWERS, T.J. and S.A. Flowers, 2005, Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?, *Agric. Water Manage*, 78, 15–24.
- GLENN, E.P., J.J. Brown, 1999, Salt tolerance and crop potential of Halophytes., *Crit. Rev. Plant Sci.*, 18, 227–255.
- HADDADI, B.S., Hassanpour, H., Niknam, V., 2016, Effect of salinity and waterlogging on growth, anatomical and antioxidative responses in *Mentha aquatica* L., *Acta Physiol Plant*, 38 (119), DOI 10.1007/s11738-016-2137-3.
- HLADKÝ, Luděk, 2010, Osvětlení z pohledu rostlin, *Lighting OEM, Philips*,5, 42–44.
- HNILIČKA, František a Tomáš STŘEDA (eds.). Rostliny v podmínkách stresu - abiotické stresory. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016. ISBN 978-80-213-2680-4.
- CHAVES, M.M., Morocco J.P., Pereira J.S., 2003, Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant., *Funct Plant Biol*, 30, 239–264.
- KUIJT, Job, *The biology of parasitic flowering plants*, Berkeley: University of California Press, 1969.
- KUMAMOTO, J., Scora, R.W., Clerx, W.A., Matsumura, M., Layfield, D., Grieve, C.M., 1990, Purslane: a potential new vegetable crop rich in omega-3 fatty acid with a controllable sodium

chloride content. In: Naqvi, H.H., Estilai, A., Ting, I.P. (Eds.), Proceedings of the First International Conference on New Industrial Crops and Products, University of Arizona, Tucson. Riverside, CA, pp. 229-233.

LANGENHEIM, J.H., 1994, *Higher plant terpenoids: a phytocentric overview of their ecological roles*, *Journal of Chemical Ecology*, 20 (6), 1223–1280.

LARCHER, W. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 3rd ed. New York: Springer-Verlag, 1995. ISBN 0387581162.

LENNARZ, William J. a M. Daniel LANE (eds.). *Encyclopedia of biological chemistry*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. ISBN 978-0-12-378630-2.

LEVITT, J. *Responses of plants to environmental stresses*, 2d ed., New York: Academic Press, 1980. ISBN 0124455026.

LICHTENTHALER, H.K., 1987, Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes, *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.

LOKHANDE, Vinayak H., Gor Bhoomi K., Desai Nitin S., Nikam Tukaram D., Suprasanna Penna, 2013, *Sesuvium portulacastrum*, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review, *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 329–348.

MAHAJAN Shilpi, TUTEJA Narendra, 2005, Cold, salinity and drought stresses: An overview, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444, 139–158.

MIR R.R., Zaman-Allah M., Sreenivasulu N., Trethowan R., 2012, Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops, *Theor. Appl. Genet.*, 125 (4), 625–645.

MOSEKI, B., Buru, J.C., 2010, Ionic and water relations of *Sesuvium portulacastrum* (L). *Scient Res*, Ess 5, 35–40.

MUNNS, R., 2002, Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Env.*, 25, 239–250.

MUNNS, R., Tester, M., 2008, Mechanism of salinity tolerance., *Ann Rev Plant Biol*, 59, 651–581. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

- PILLEMER, E.A., Tingey, W.M., 1976, Hooked Trichomes: A Physical Plant Barrier to a Major Agricultural Pest, *Science*. 193 (4252), 482–484.
- POLLARD, Thomas D. a William C. EARNSHAW. *Cell biology*. 2nd ed. Philadelphia: Saunders Elsevier, c2008. ISBN 9781416022558.
- POSS, J.A.; Grattan, S.R.; Grieve, C.M.; Shannon, M.C., 1999, Characterization of leaf boron injury in salt-stressed Eucalyptus by image analysis. *Plant Soil*, 206, 237–245.
- RAVEN, Peter H., Ray Franklin EVERT a Susan E. EICHHORN. *Biology of plants*. Eighth edition. New York: W.H. Freeman and Company Publishers, 2013. ISBN 1429219610.
- ROMERO-ARANDA, R., Moya, J.L., Tadeo, F.R., Legaz, F., Primo-Millo, E., Talon, M., 1998, Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerance citrus: beneficial and detrimental effects of cations., *Plant Cell Environ*. 21, 1243–1253.
- SAGERS, C. L., 1992, Manipulation of Host Plant Quality: Herbivores Keep Leaves in the Dark., *Functional Ecology*, 6(6), 741–743.
- SAIRAM, R. K., Aruna Tyagi, 2004, Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants , *CURRENT SCIENCE*, 86 (3), 407-421.
- SAIRAM, R. K., Tyagi A., 2004, Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants, *CURRENT SCIENCE*, 86 (3), 407-421.
- SAYED, O.H., 2003, Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal crop research, *Photosynthetica*, 41 (3), 321-330.
- SHANNON, M.C., McCreight, J.D., Draper, J.H., 1983, Screening tests for salt tolerance in lettuce. *J. Am. Soc. Hort. Sci*, 108, 225-230.
- SCHULZE, E.-D., E. BECK a Klaus. MÜLLER-HOHENSTEIN. *Plant ecology*. Berlin: Springer, c2005. ISBN 354020833X.
- SIMON, Eric J., Jean DICKEY a Jane B. REECE. *Campbell essential biology with physiology*. 4th ed. Harlow: Pearson Education, c2014. ISBN 978-1-29202-632-9.
- TAIZ, Lincoln. a Eduardo. ZEIGER. *Plant physiology*. Redwood City, Calif.: Benjamin/Cummings Pub. Co., c1991. ISBN 080530245X.

TREWAVAS, A.J. 1997, Signal preception and transduction: the origin of the phenotype. *Plant cell*, 9(7), 1181-1195.

ÜNLÜKARA, A.; Cemek, B.; Karaman, S.; Er,sahin, S., 2008, Response of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) to salinity of irrigation water., *N. Z. J. Crop Horticul. Sci*, 36, 265–273.

YAZICI, Isin, Turkan Ismail, Askim hediye Sekmen, Tijen Demiral, 2007, Salinity Tolerance of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is Achieved by Enhanced Antioxidative System, Lower Level of Lipid Peroxidation and Proline Accumulation, *Environmental and Experimental Botany*, 61(1), 49-57.

9 Seznam použitých obrázků a grafů

9.1 Seznam použitých obrázků

Obr.č.1 Založení výsevu – první dny po vzejití

Obr.č.2 Založení výsevu – ujmoutí rostlin

Obr.č.3 Rostliny přepíchané do květináčů

Obr. č. 4 Zasolením téměř nepoškozená šrucha

Obr. č. 5 Okrajové nekrózy u salátu

9.2 Seznam použitých grafů

Grag č. 1 Relativní poškození *Lactuca sativa* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

Graf č.2 Relativní poškození *Portulaca oleracea* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

Graf č.3 Relativní poškození *Tetragonia tetragonoides* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

Graf č.4 Relativní poškození *Eruca sativa* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

Graf č.5 Relativní poškození *Valerianella locusta* pro jednotlivé koncentrace soli v zálivce

Graf č.6 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané vodou

Graf č.7 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané roztokem soli o koncentraci 50 mmol/l

Graf č.8 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané roztokem soli o koncentraci 100 mmol/l

Graf č.9 Porovnání jednotlivých druhů rostlin u varianty zalévané roztokem soli o koncentraci 200 mmol/l

10 Seznam příloh

10.1 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Lactuca sativa*

Tabulka č. 2 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Portulaca oleracea*

Tabulka č. 3 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Tetragonia tetragonoides*

Tabulka č. 4 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Eruca sativa*

Tabulka č. 5 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Valerianella locusta*

10.2 Tabulky

V příloze jsou vloženy tabulky zobrazující výsledky specifické měrné vodivosti všech měření.

Měření(μ S)	Druh	Obsah soli (mmol/l)	1 opak.	2 opak.	3 opak.
EC1	salát	50	73	56,7	48
EC2	salát	50	224	225	195,7
EC3	salát	50	680	635	568
EC1	salát	100	50,1	44,1	46,5
EC2	salát	100	356	319	397
EC3	salát	100	885	791	745
EC1	salát	200	46,2	83,4	65,3
EC2	salát	200	738	1006	752
EC3	salát	200	1242	1447	1192
EC1	salát	voda	34,7	29,8	35,3
EC2	salát	voda	116	107	135,6
EC3	salát	voda	726	709	552

Tabulka č. 1 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Lactuca sativa*

Měření(μ S)	Druh	Obsah soli (mmol/l)	1 opak.	2 opak.	3 opak.
EC1	šrucha	50	135,2	103,1	134,7
EC2	šrucha	50	984	1191	1041
EC3	šrucha	50	1695	1666	1598
EC1	šrucha	100	96,7	150,5	121,8
EC2	šrucha	100	1286	1278	1442
EC3	šrucha	100	1439	1482	1644
EC1	šrucha	200	160,8	132,7	169,5
EC2	šrucha	200	1458	1831	1678
EC3	šrucha	200	1887	1989	1787
EC1	šrucha	voda	103,7	98,9	78,6
EC2	šrucha	voda	771	862	616
EC3	šrucha	voda	1349	1388	1171

Tabulka č. 2 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Portulaca oleracea*

Měření(μ S)	Druh	Obsah soli (mmol/l)	1 opak.	2 opak.	3 opak.
EC1	čtyřboč	50	98,1	100,7	146,1
EC2	čtyřboč	50	861	519	941
EC3	čtyřboč	50	2450	2150	1744
EC1	čtyřboč	100	61,7	54,5	87,4
EC2	čtyřboč	100	826	753	767
EC3	čtyřboč	100	2320	2410	1667
EC1	čtyřboč	200	118	206	72,8
EC2	čtyřboč	200	956	1640	1369
EC3	čtyřboč	200	2380	2510	2600
EC1	čtyřboč	voda	85,4	70,8	75,6
EC2	čtyřboč	voda	507	249	485
EC3	čtyřboč	voda	2050	2140	1944

Tabulka č. 3 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Tetragonia tetragonoides*

Měření(μ S)	druh	Obsah soli (mmol/l)	Obsah soli		
			1 opak.	2 opak.	3 opak.
EC1	roketa	50	175,1	95,7	146,7
EC2	roketa	50	657	707	1242
EC3	roketa	50	1884	1566	1475
EC1	roketa	100	83,3	90,9	60,5
EC2	roketa	100	1442	892	1139
EC3	roketa	100	1843	1555	1783
EC1	roketa	200	127,3	111,8	170,9
EC2	roketa	200	1933	1681	1721
EC3	roketa	200	2230	1873	1929
EC1	roketa	voda	59,5	56,4	45,9
EC2	roketa	voda	411	252	191
EC3	roketa	voda	1253	1224	936

Tabulka č. 4 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Eruca sativa*

Měření(μ S)	Druh	Obsah soli (mmol/l)	Obsah soli		
			1 opak.	2 opak.	3 opak.
EC1	polníček	50	103,4	176,2	87,5
EC2	polníček	50	399	596	318
EC3	polníček	50	1025	1006	1059
EC1	polníček	100	110	81,2	110,5
EC2	polníček	100	864	812	987
EC3	polníček	100	1289	1273	1383
EC1	polníček	200			
EC2	polníček	200			
EC3	polníček	200			
EC1	polníček	voda	49	63,1	54,3
EC2	polníček	voda	188,8	203	187,1
EC3	polníček	voda	823	1024	856

Tabulka č. 5 Naměřené hodnoty specifické elektrické vodivosti pro rostlinu *Valerianella locusta*