

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Negativní vliv zasolení na fyziologický stav rostlin a jeho dopady na zemědělskou produkci

Diplomová práce

Vedoucí bakalářské práce:	Ing. František Hnilička, Ph.D.
Vypracoval:	Bc. Jaroslav Štěrbá
Rok odevzdání:	2015

Prohlášení

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

V Praze dne 2. 4. 2015

.....
Bc. Jaroslav Štěřba

Poděkování

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

Souhrn

Pokusné varianty vychází z podmínek, které nejsou typické jen pro přímořské oblasti, ale i pro Českou republiku. Zasolení v našem klimatickém pásmu je způsobeno především pěstování monokultur, či nadměrným použitím chemických hnojiv. V České republice v roce 2009 činila výměra slabě zasolených půd kolem 6600 ha (0,2 %) zemědělské půdy. Existuje reálný předpoklad, že se výměra zasolených půd v ČR do současnosti zvýšila.

Cílem této diplomové práce je sledování vlivu zasolení na rychlost výměny plynů a fluorescenci chlorofylu 3 vybraných druhů listové zeleniny: špenátu setého (*Spinacea oleracea* L.), šruchy zelné (*Portulaca oleracea* var. *sativa* Haw.) a čtyřboče rozkladité (*Tetragonia tetragonioides* Pall.). Součástí práce je také výpočet efektivity využití vody (WUE) u sledovaných rostlinných druhů v závislosti na stresu zasolením.

Sledované druhy špenátové zeleniny byly pěstovány v přirozeně řízených světelných podmínkách a částečně řízených teplotních podmínkách, ve fyziologickém skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Teplota byla nastavena na 25 °C ve dne a 18 °C v noci. Rostliny byly pěstovány v nádobách 11×11 cm ve směsi zahradního substrátu A a říčního křemičitého písku v poměru 2:1. Schéma pokusu zahrnovalo dvě základní varianty. První varianta byla představována kontrolními podmínkami, kdy rostliny byly zavlažovány neionizovanou vodou. Druhá varianta byla představována variantou pokusnou, která zahrnovala stres zasolením. Uvedená varianta byla dále členěna na tři dílčí varianty. První varianta byla zavlažována solným roztokem o koncentraci 0,15 M, druhá varianta představovala rostliny zavlažované solným roztokem o koncentraci 0,25 M a poslední varianta byla zaměřena na rostliny zavlažované solným roztokem o koncentraci 0,5 M. Rostliny byly zavlažovány v intervalech 2 – 3 dnů. Pro měření CO₂ byl využit infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC BioScientific Ltd.) a pro měření aktivity fluorescence chlorofylu byl využit fluorimetr typ (ADC BioScientific Ltd.).

Z naměřených údajů jsou patrné rozdíly v rychlosti výměny plynů v průběhu ontogeneze u všech sledovaných druhů listové zeleniny. Rychlost fotosyntézy a transpirace byla u všech rostlin vyšší u kontroly v porovnání se stresovými variantami. Nejnižší pokles kvantového výtěžku byl zaznamenán u stresované varianty S3 a naopak nejvyšší hodnoty byly naměřeny u stresované varianty S1 (0,15 M). V podmínkách zatížených zasolením je vhodné pěstovat čtyřboč, která má velmi vysokou odolnost vůči tomuto abiotickému stresoru. Naopak

kultivovat špenát v prostředí, které je zasažené zasolením, není příhodné, neboť ze sledovaných rostlinných druhů vykázal špenát nejnižší odolnost vůči i nízké koncentraci soli.

Klíčová slova: špenát setý (*Spinacea oleracea* L.), šrucha zelná (*Portulaca oleracea* var. *sativa* Haw.), čtyřboč rozkladitá (*Tetragonia tetragonioides* Pall.), zasolení, fotosyntéza, tranpsirace, fluorescence, WUE

Summary

Experimental variations are based on conditions that are not typical only for coastal areas, but also for the Czech Republic. Salination is caused in our climate zone mainly due to the cultivation of monocultures or excessive use of chemical fertilizers. Moderate salty soils were present in the Czech Republic in 2009 on area around 6600 ha (0.2 %) of agricultural land. There is a realistic assumption that the acreage of saline soils in the Czech Republic have increased to the present day .

The aim of this diploma thesis is to observe the impact of salinization on the speed rate of gas exchange and chlorophyll fluorescence of 3 selected species of leafy vegetables: spinach (*Spinacea oleracea* L.), purslane (*Portulaca oleracea* var. *sativa* Haw.) and New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides* Pall.). The work also includes the calculation of water use efficiency (WUE) in the investigated plant species depending on the salinity stress.

The investigated species of leafy plants were cultivated in the greenhouse of the physiological Department of Botany and Plant Physiology FAPPZ CULS under naturally controlled lighting conditions and partly controlled temperature conditions. The temperature was set at 25 ° C during the daytime and 18 ° C at night. The plants were grown in containers with dimensions of 11x11 cm. The plants were grown in a mixture of garden substrate A and river silicic sand in the ratio 2:1. The scheme of the experiment included two basic variants. The first option was presented by controled conditions, where plants were irrigated with deionized water. The second option presented experimental variants that included salinity stress. That option has been further divided into three sub-options. The first option was irrigated with saline solution with concentration of 0,15 M, the second variant represented plants irrigated with saline solution with concentration of 0,25 M and the final variant was focused on the plants irrigated with saline solution with a concentration of 0,5 M. The plants were irrigated at intervals of 2 – 3 days. Infrared gas analyzer LCpro + (ADC BioScientific Ltd.) was used for the measurement of CO₂ and a fluorimeter type (ADC BioScientific Ltd.) for measuring the chlorophyll fluorescence activity was used.

The measured data have noticeable differences in the rate of gas exchange during ontogeny in all monitored types of leafy vegetables. The rate of transpiration and photosynthesis of the treated plants was higher in the controled group compared to the stress variations. The lowest decrease of quantum yield was observed in stressed S3 variants, while the highest values were found in stressed variants S1 (0,15 M). New zealand spinach is convenient to

cultivate in terms of burdened salination to which has very high resistance to the abiotic stressors. Conversely cultivation of spinach in an environment that is affected by salinity is not convenient because the monitored plant species showed that spinach has the lowest resistance even in low salt concentration.

Key words: spinach (*Spinacea oleracea* L.), purslane (*Portulaca oleracea* var. *sativa* Haw.), New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides* Pall.), salinization, photosynthesis rate, transpiration rate, fluorescence, WUE

Obsah

1	Úvod	3
2	Cíle:	5
3	Hypotéza:	5
4	Literární rešerše	6
4.1	Špenát setý (<i>Spinacea oleracea</i> L.).....	6
4.1.1	Botanická charakteristika	6
4.1.2	Historie a současnost pěstování špenátu	6
4.1.3	Nároky na pěstování	7
4.2	Čtyřboč rozkladitá (<i>Tetragonia tetragonoides</i> Pall.).....	9
4.2.1	Botanická charakteristika	9
4.2.2	Historie a současnost pěstování čtyřboče	10
4.2.3	Nároky na pěstování	11
4.3	Šrucha zelná (<i>Portulaca oleracea</i> var. <i>sativa</i> Haw.)	11
4.3.1	Botanická charakteristika	11
4.3.2	Historie a současnost pěstování šruchy	11
4.3.3	Nároky na pěstování	12
4.4	Stres – obecná koncepce	12
4.4.1	Stresor.....	15
4.4.2	Stresová reakce.....	16
4.5	Vztah rostlin k zasolení.....	17
4.5.1	Halofyty.....	18
4.5.2	Zasolení	22
4.5.3	Efekt zasolení na zemědělství	24
4.6	Fyziologické charakteristiky	27
4.6.1	Fotosyntéza.....	27

4.6.2	Fluorescence chlorofylu	- 29 -
4.6.3	Vodní bilance rostlin	- 30 -
4.6.4	Evapotranspirace	- 30 -
4.6.5	Transpirace	- 31 -
5	Metodika.....	- 32 -
5.1	Charakteristika rostlinného materiálu	- 32 -
5.1.1	Špenát setý.....	- 32 -
5.1.2	Šrucha zelná	- 32 -
5.1.3	Čtyřboč rozkladitá	- 32 -
5.2	Založení pokusu	- 32 -
5.2.1	Metody stanovení výměny plynů	- 33 -
5.2.2	Stanovení rychlosti transpirace	- 34 -
5.2.3	Výpočet WUE, dle Šantrůčka (2010).....	- 35 -
5.2.4	Stanovení fluorescence chlorofylu.....	- 35 -
5.2.5	Statistické hodnocení.....	- 37 -
6	Výsledky	- 38 -
6.1	Rychlost fotosyntézy.....	- 38 -
6.2	Rychlost transpirace	- 44 -
6.3	Fluorescence chlorofylu	- 49 -
6.4	Efektivita využití vody (WUE).....	- 54 -
7	Diskuse.....	- 55 -
7.1	Rychlost fotosyntézy.....	- 55 -
7.2	Rychlost transpirace	- 56 -
7.3	Fluorescence chlorofylu	- 57 -
7.4	Efektivita využití vody - WUE	- 59 -
8	Závěr	- 61 -

9	Seznam literatury	- 63 -
9.1	Knižní zdroje.....	- 63 -
9.2	Internetové zdroje.....	- 74 -
10	Příloha.....	- 76 -

1 Úvod

Problematika zasolených půd se netýká pouze přímořských oblastí, ale také zemí, v nichž je nesprávně půda obhospodařována nebo oblastí s aridním klimatem. V posledních letech se čím dál více zvyšuje intenzifikace obdělávané půdy, díky čemuž může docházet k utužování půdního horizontu a tím také minerály a soli setrvávají ve svrchní vrstvě půdy. Tímto problémem se zabývá i evropský parlament, který se snaží, aby půda mohla být využita i dalšími generacemi (Směrnice o ochranu půdy 2006/0086 (COD)). V České republice v roce 2009 činila výměra slabě zasolených půd kolem 6600 ha (0,2 %) zemědělské půdy existuje reálný předpoklad, že se výměra zasolených půd v ČR do současnosti zvýšila.

Z tohoto pohledu je nutné hledat druhy kulturních rostlin, které by byly k uvedenému stresoru tolerantní. Jedná se o využití genofondu stávajících prošlechtěných rostlin nebo rostlin s nízkým stupněm prošlechtění. Na zasolení citlivěji reagují také zeleniny, neboť ty jsou ve větší míře náročnější na vodu, a proto je nutné v této oblasti hledat vhodné druhy rostlin.

Rostliny čeledi merlíkovitých (*Chenopodiaceae*), šruchovitých (*Portulacaceae*), kosmatcovitých (*Aizoaceae*) se řadí mezi plodiny, které jsou různým stupněm odolné vůči některým stresorům, například zasolení (halofyta), či působení sucha (xerofyta). Do této čeledi patří i rostliny, kterými se zabývá tato práce – špenát setý (*Spinacea oleracea* L.), čtyřboč rozkladitá (*Tetragonia tetragonioides* Pall.) a šrucha zelná (*Portulaca oleracea* var. *sativa* Haw.). Tyto druhy patří mezi více či méně známe kulturní plodiny. Špenát je v oblasti České republiky pěstován dlouhou dobu, během které prošel mnoha kroky šlechtění a genetickými modifikacemi, který je záměrně infikován geneticky změněným virem tabákové mozaiky obsahujícím transgen pro ochranný antigen *Bacillus anthracis*, jenž je jednou ze tří složek toxinu antraxu. Předpokládá se, že by z GM špenátu mohla být vyráběna vakcína proti antraxu, v případě, že by byl zneužit jako biologická zbraň hromadného ničení (anonym, 2008). Během těchto procesů ztratil svou původní vlastnost typickou pro čeleď *Chenopodiaceae*. I když šruchu hojně využívaly naše babičky a čtyřboč se u nás objevila v období mezi světovými válkami, jsou v ČR veřejnosti méně známé. Tyto dvě rostliny si svou odolnost vůči zasolení částečně zachovaly.

Cílem této práce je zjištění odolnosti zkoumaných druhů rostlin vůči různému stupni zasolení půdy. Tento výzkum pomůže vyvinout strategii pro pěstování listové zeleniny v nehostinných podmínkách, které jsou postižené salinizací a sodifikací.

2 Cíle:

Stres zasolením se vedle vodního deficitu řadí k velmi významným stresorům a to především v oblastech, kde je úhrn srážek nižší než výpar, nebo v oblastech, kde se používá nevhodná závlahová voda. Kulturní rostliny, včetně zelenin, vykazují rozdílnou míru tolerance k zasolení, a proto je ve výzkumu vhodné se zaměřit i na tuto problematiku.

Z výše uvedeného vychází cíle práce:

1. Stanovení rozdílu rychlosti fotosyntézy a WUE (efektivita využití vody) v návaznosti na míru zasolení;
2. stanovit závislost u vybraných druhů rostlin na rychlost fotosyntézy, transpirace a WUE,
3. stanovit změny fluorescence chlorofylů sledovaných druhů rostlin v závislosti na stresu zasolením,
4. stanovit vliv zasolení na fluorescenci chlorofylů.

3 Hypotéza:

Z navržených cílů byly stanoveny následující hypotézy:

1. existují mezidruhové rozdíly v rychlosti v reakci na obsah soli v půdě;
2. existují mezidruhové rozdíly v rychlosti výměny plynů a WUE v závislosti na koncentraci soli;
3. existují mezidruhové rozdíly ve fluorescenci chlorofylu v závislosti na koncentraci soli?

Jako modelové rostliny byly použity vybrané druhy špenátové zeleniny, u kterých existuje rozdílná míra tolerance vůči stresu zasolení. Špenát setý, čtyřboč rozložitá i šrucha zelná si během svého vývoje vytvořili různé mechanismy, které slouží k přežití v oblastech s možným zasolením. U špenátu jeho přirozená odolnost vůči zasolení otupěla z důvodu šlechtění, které vedlo k rozvinutí jiných znaků.

4 Literární rešerše

4.1 Špenát setý (*Spinacea oleracea* L.)

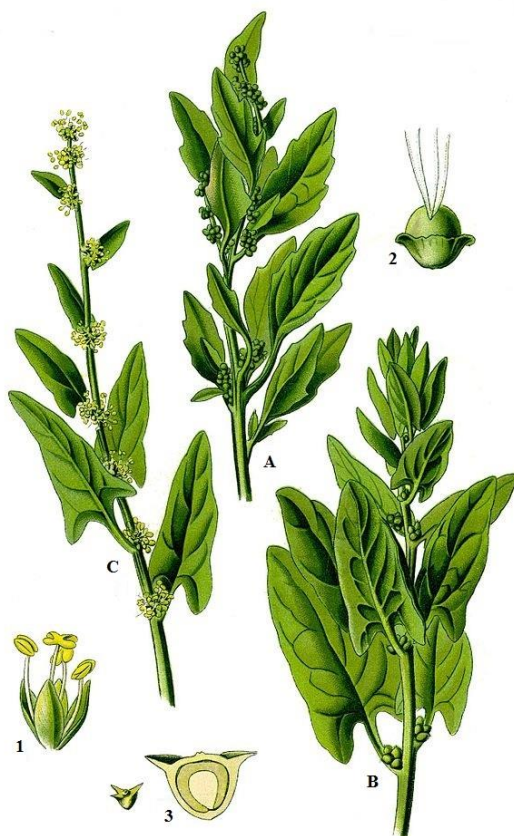
4.1.1 Botanická charakteristika

Jeho latinský název a odvozeniny v řadě evropských jazyků vznikly pravděpodobně z latinského *spina*, osten, podle jeho semen s pichlavými ostny. Brickell (1994) uvádí, že rostlina je vysoká 15–20 cm a 15 cm široká (Obr. 1). Podle Hejného a kol. (1990) má špenát přímou lodyhu, nepravidelně hranatou a lysou. Dle Arburyho et al. (1997) je pravý špenát rychle rostoucí, jednoletá rostlina. Tato rostlina je středně odolná, nejlépe rostoucí během chladných jarních dnů, která může být také pěstována jako sazenice. Při teplém počasí má tendenci vybíhat do květu. Tradiční oválno-semenné typy byly používány pro letní sklizeň a ostnato-semenné typy pro podzimní sklizeň. Pekárková (2002) udává, že špenát je jednoletá rostlina patřící do čeledi merlíkovité (*Chenopodiaceae*) (Hejný a kol., 1990). Vytváří nejdříve růžici sytě zelených hladkých nebo bublinatých lesklých listů, později rozvětvený, 60 až 70 cm vysoký květní stonek. Přízemní listy jsou dle Hejného a kol. (1990) dlouze nebo krátce řapíkaté nejčastěji s trojúhelníkovitě vejčitou čepelí. Lodyžní listy jsou užší s kratším řapíkem, které mají střelovité až hrálovité zaoblení. Mladé listy jsou typické svými měchýřkovitými trichomy. Rostlina je výrazně dlouhodobní, proto při pozdním jarním výsevu vybíhá rychle do květu. Původní typy špenátu byly dvoudomé, to znamená, že porost sestával z oddělených samčích a samičích rostlin. Ty se navíc výrazně lišily celkovým olistěním a rychlostí vykvétání, což jsou významné hospodářské vlastnosti. Rychleji vybíhající a méně olistěné samčí rostliny jsou mnohem méně hodnotné než samičí. V posledních letech byly zavedeny F1 hybridy, jejichž předností je, že vytvářejí pouze rostliny s obojími květy, tedy rostliny jednodomé, takže porost je více olistěný a vzrůstem vyrovnaný (Pekárková, 2002).

4.1.2 Historie a současnost pěstování špenátu

Podle Pekárkové (2002) je špenát setý nejrozšířenější a nejznámější špenátovou zeleninou. Websterův slovník popisuje špenát jako rostlinu s tmavě zelenými, šťavnatými listy (Laird et al., 1995). Pekárková (2002) se domnívá, že špenát pravděpodobně vznikl z planého druhu *Spinacia tetrandra*, který roste od Kavkazu přes Turkmenistán a Írán až po Afghánistán, oproti tomu Mareček a kol. (2001) konstatují, že původním druhem je *Spinacia turkestanica* Iljin. Podle těchto autorů je špenát v kultuře pravděpodobně již koncem starověku, kdy se

pěstoval v Iránu, odkud se šířil do celé Indie a Číny. Podle Uhriho (2011) se špenát v Evropě objevil pravděpodobně v období středověku. Oproti tomu Pekárková (2002) uvádí, že nejstarší zmínka o špenátu pochází ze Španělska. Starší evropské národy špenát neznaly. Pravděpodobně jej z blízkého východu dovezli do Španělska Arabové nebo křižáci. V 16. století byl již v Evropě běžnou zeleninou.



Obr. 1: A, B. Rostlina se semeny, C. rostlina v květu, 1. květ, 2. semeno, 3. průřez semenem
(www.wikipedia.org).

4.1.3 Nároky na pěstování

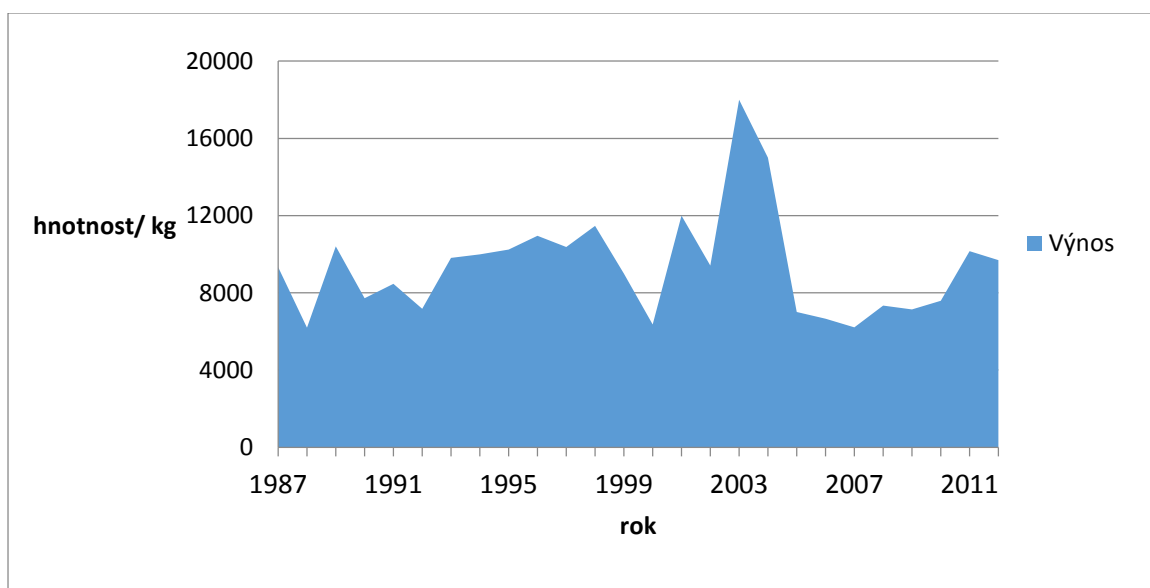
Moderní kultivary jsou většinou vhodné pro každý termín setí. Jedná se především o výsev v *in situ* podmínkách. Ostnitá semena, která se špatně vysévají, má dle Pekárkové (2002) však pouze varieta *spinosa*. Většina dnešních odrůd patří ke kulatosemenné varietě *dermis*, která je k výsevu mnohem výhodnější. Původní přirozená dvoudomost je dle Marečka a kol. (2001) šlechtitelsky měněna na jednodomost se samičím habitem vzrůstu a vývoje, protože samičí rostliny dříve vykvétají a jsou méně olistěné. Špenát je dle Brickella (1994) chladnomilná rostlina, která se nejlépe vyvíjí při teplotách 16 až 18 °C; roste dobře i za nižších

teplot. Mladé rostliny přežívají i teploty $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Petříková a kol. (2006) uvádí, že špenát je k zasoleným půdám relativně tolerantní. Hybridy mají podle Pekárkové (2002) kromě toho kombinovanou rezistenci k plísni špenátové – *Peronospora effusa*, dnes dokonce k pěti známým rasám této houbové choroby listů. Účinnou ochranou je pěstování rezistentních odrůd, či moření semene. Podle Marečka a kol. (2001) koncem 90. let 20. stol. dosahovala v ČR průměrná plocha špenátu přibližně 700 ha, průměrná produkce se pohybovala kolem 5000 t, výnos byl $8\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Začátkem druhé dekády 21. století plocha využitá pro pěstování špenátu snížila o polovinu, oproti konci 90. let (viz tab. 1).

Tab. 1. Přehled tržní produkce špenátu v České republice (Buchtová, 2013)

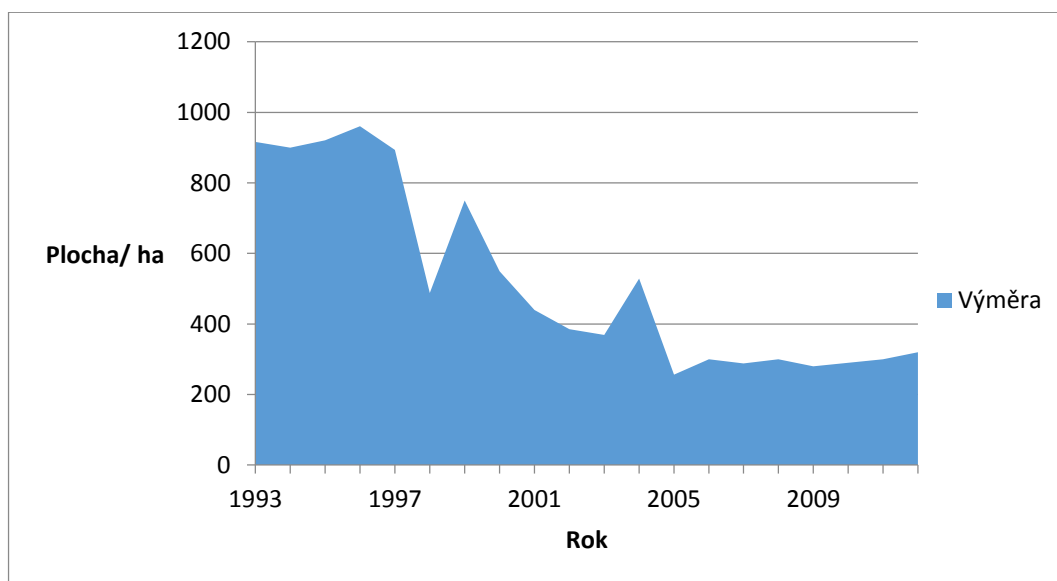
rok	2011	2012	2013 (odhad)
výměra (ha)	361	425	347
výnos (t)	5415	6800	5552

Graf 1. Výnos špenátu v České republice mezi lety 1987 – 2012 (FAOSTAT)



Graf 1 popisuje změnu výnosu špenátu v České republice během 25 let. Nejvyšší výnos byl zaznamenán v roce 2003, který činil 18 t. Oproti tomu nejnižší výnos špenátu se vyskytl o 3 roky dříve, kdy činil 6,36 tun. Prudký pokles výnos po roce 2003 mohla způsobit nedostatečná nabídka, či špatná grantová politika. V minulém roce 2014 činil výnos 7456 t (Buchtová, 2014).

Graf 2. Výměra půdy pro pěstování špenátu mezi léty 1993 – 2012 (FAOSTAT)



Z grafu 2 je patrné, že nejvyšší výměra pro pěstování špenátu v ČR činící 961 ha byla v roce 1996. Zato nejnižší obdělávaná plocha byla zaznamenána v roce 2005 a to s plochou 256 ha. V minulém roce 2014 činila výměra 466 ha (Buchtová, 2014).

4.2 Čtyřboč rozkladitá (*Tetragonia tetragonioides* Pall.)

4.2.1 Botanická charakteristika

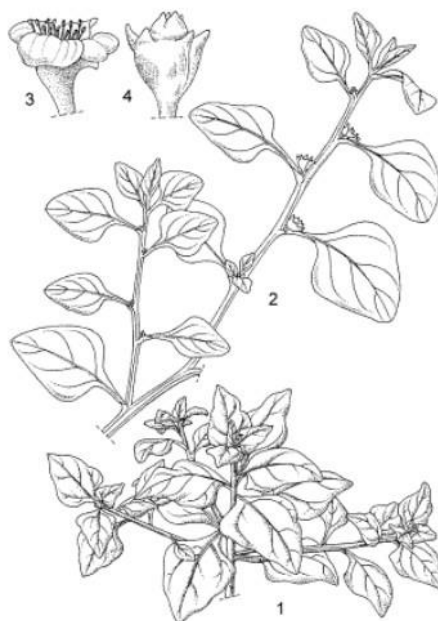
Český název čtyřboč i vědecké pojmenování *Tetragonia* je dle Pekárkové (2002) odvozeno od neobvyklého čtyřrohého tvaru plodu, který se obvykle považuje za semeno. Plod je naprosto nezaměnitelný s plody jiných zeleninových druhů: je velký a obsahuje několik pouzder s jednotlivými semeny. Hejný a kol. (1990) udává, že lodyha čtyřboče je bohatě větvená a má poléhavý až plazivý charakter. Čtyřboč patří do čeledi kosmatcovitých (*Aizoaceae*) je podle Pekárkové (2002) rostlina pravému špenátu botanicky velmi vzdálená. Špenátem se nazývá jenom proto, že se stejným způsobem využívá. Popis rostliny znázorňuje obrázek 2.

U nás se vyvíjí jako jednoletá, poléhavá, s bohatě rozvětvenými, až 1 m dlouhými výhony. Koření poměrně mělce. Dle Marečka a kol. (2001) má čtyřboč střídavé listy, obvykle je poléhavá. Pekárková (2002) uvádí, že listy jsou tmavozelené, kosočtverné, řapíkaté, silně dužnaté a mají na povrchu řídce rozložené žlázy a Hejný a kol. (1990) dodává, že listy jsou kosníkovité s měchýřkovitými chlupy. Listy čtyřboče jsou dle Lova (1991) 3-15 cm dlouhé trojúhelníkového tvaru světle zelené barvy. Povrch listu je pokryt malými papily, které vypadají

jako vodní kapky. Květy jsou dle Pekárkové (2002) malé, nenápadné, žlutozelené, vyrůstají jednotlivě v paždí listů, dle Marečka a kol. (2001) jsou zelené, žluté nebo načervenalé a bez korolických staminodií (Hejný a kol., 1990). Semeno je dle Grubbena a Dentona (2004) obchodně rozděleno podle druhového jména bez použití jména kultivaru. Je možné pozorovat malé morfologické rozdíly ve tvaru listu mezi rostlinami s různým původem.

4.2.2 Historie a současnost pěstování čtyřboče

Dle Pekárkové (2002) je čtyřboč rozložitá jednou z mála plodin, které pocházejí z jižní polokoule. Jejím domovem je Nový Zéland a ostrovy přiléhající k Austrálii. Odtud se již v dávných dobách rozšířila do Jižní Ameriky a do Japonska. V roce 1770 byla rostlina nalezena na Novém Zélandě K. Banksem při tichomořské expedici kapitána Cooka (Mareček a kol., 2002). A v roce 1772 byla podle Pekárkové (2002) rostlina z Nového Zélandu dovezena do Velké Británie a pomalu se šířila do ostatních částí Evropy pod názvem novozélandský špenát. Novozélandský špenát je výhodnou letní náhradou pravého špenátu, ale jeho sklizeň je pracná, proto se nepěstuje na velkých plochách a zůstává výhradně zahrádkářskou zeleninou.



Obr. 2: hlavní část stonku, 2. výhon, 3. květ, 4. semeno (Grubben, 2004)

4.2.3 Nároky na pěstování

Rostlina je halofytní a roste dobře v zasolené půdě. Mareček a kol. (2001) a Brickell (1994) udávají, že v našich podmínkách se novozélandskému špenátu daří, rozvoj podporuje teplo, slunná poloha, citlivá je k chladu, i slabý mráz ji ničí. Je odolná vůči suchu. Spokojí se s průměrnou půdou. Podle Lova (1991) čtyřboč preferuje pro růst vlhké přírodní podmínky. Rostlina se lehce rozšiřuje a v místě růstu pokrývá půdu v kobercové formě nebo překrývají konkurenční vegetaci.

4.3 Šrucha zelná (*Portulaca oleracea* var. *sativa* Haw.)

4.3.1 Botanická charakteristika

Laird et al. (1996) popisuje ve Websterově slovníku šruchu jako roční rostlinu s masitými listy. Mareček a kol. (1999) uvádí, že šrucha patřící do čeledi šruchovitých (*Portulacaceae*) je jednoletá a vytrvalá bylina. Dle Hejného a kol. (1990) má tato rostlina podlouhlou až vystoupavou lodyhu, která je 10–30 cm dlouhá. Listy jsou podle Pekárkové (2002) vstřícné, dužnaté a dle Hejného a kol. (1990) mají obvejčitý až vejčitý tvar. Listy jsou na bázi klínovité. V parenchymu se nachází slizové buňky. Kulturní typy (var. *sativa*) jsou dle Pekárkové (2002) vzpřímenější, podstatně vyšší, s mnohem většími dužnatějšími listy. Kulturní šrucha je jednoletá, poléhavá nebo polovzpřímená, hustě rozvětvená rostlina. Vytváří výhony 30 až 60 cm dlouhé, s podlouhlými, na špičce uťatými a vykrojenými listy (Obr. 3). Celá rostlina je lysá a výrazně dužnatá. Kvete drobnými kvítky bílé, žlutavé barvy se zřetelnými trojúhelníkovitými bezbarvými listeny. Hejný a kol. (1990) uvádí, že květy jsou terminální nebo úžlabní. Tato rostlina se vyznačuje elipsoidními tobočkami. Semeno je dle Pekárkové (2002) drobné, tmavošedé, slabě bradavičnaté (Hejný a kol., 1990) a uložené v tobočkách (Pekárková, 2002).

4.3.2 Historie a současnost pěstování šruchy

Šrucha zelná neboli portulák pochází dle Pekárkové (2002) z Indie a západního Himaláje, kde roste planě až do výšek 5000 m nad mořem. Její přirozený areál zasahoval kdysi do Řecka. Dnes se vyskytuje ve většině evropských zemí i v Americe. Jako zeleninu i léčivou rostlinu ji znali již staří Egypťané. Pěstuje se především ve Francii, Nizozemí a jihovýchodní Evropě. U nás jsou téměř neznámé. Dle Webstrova slovníku (Mckechnie et al., 1959) se šrucha dříve používala jako sezónní rostlina využívaná na salát, zdobení či jako nakládaná zelenina.



Obr. 3: 1. květ, 2. rostlina (www.botanickafotogalerie.cz)

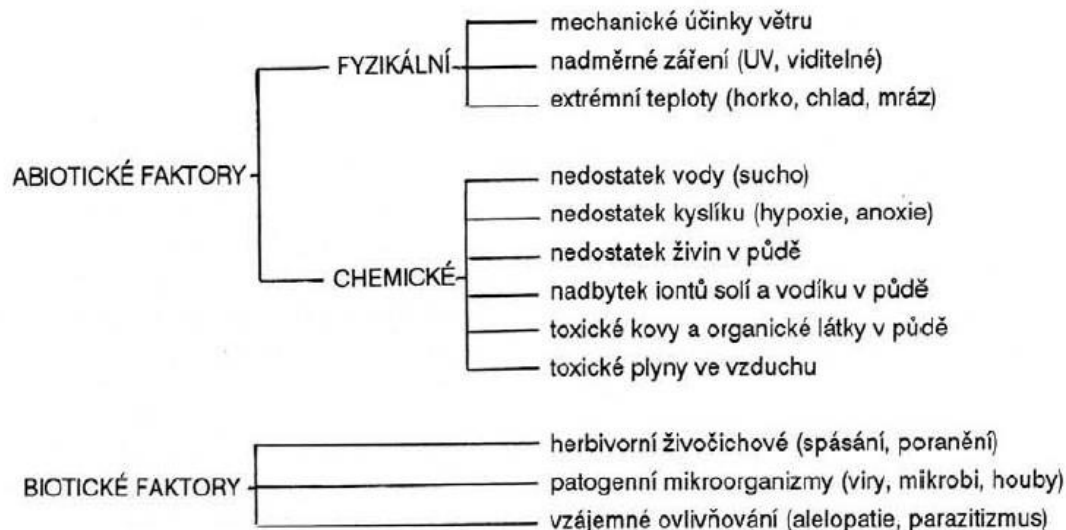
4.3.3 Nároky na pěstování

Šrucha zelná je odolná a roste nízko při zemi a vytěsňuje jiné pěstované rostliny (Mckechnie et al., 1959). Existují zelenolisté a žlutolisté formy (Brickell, 1994). Těto drobnolisté, poléhavé, narůžovělé rostlině se daří dle Pekárkové (2002) všude, kde má dostatek slunce a tepla. Snadno se vysemeňuje a rychle se rozmnožuje, takže se stala i u nás plevelem, zejména ve vinařských oblastech. Pěstují se zelené nebo zlatožluté formy, s užšími nebo širšími listy. Podle Marečka a kol. (1999) čeleď šruchovitých většinou obsazuje niky xerofilních otevřených biotopů. Brickell (1994) uvádí, že rostliny potřebují teplé chráněné stanoviště s lehkou propustnou půdou.

4.4 Stres – obecná koncepce

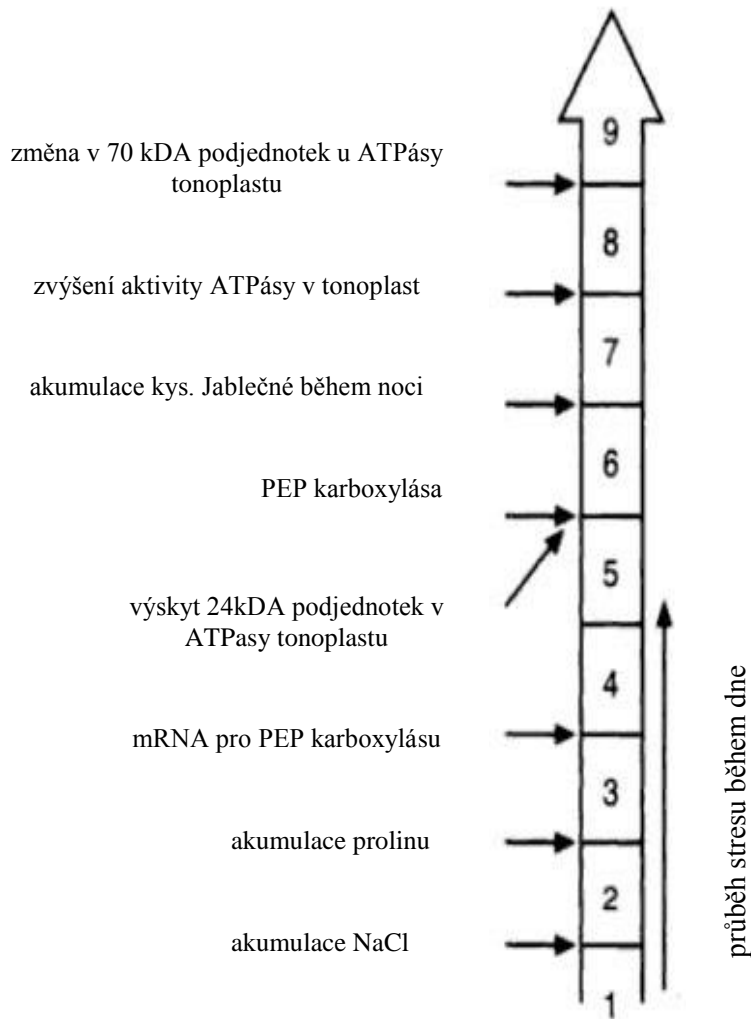
V současné době je stres u rostlin zkoumán z různých hledisek, od velkých celků – ekosystémů až po biologické regulaci rostliny na molekulární úrovni (Bláha a kol., 2003). První označení stres a stresor použil Selye (1936). Doslovný význam slova stres je složitá situace (odvozeno od latinského *stringere*) nebo utrpení (Lambers et al., 2006). Keddy (2007) uvádí,

že stres je faktor zvyšující metabolické náklady na přežití a intenzita stresu je měřitelná množstvím spotřebované energie, která je potřeba k vyřešení stresové situace. Levitt (1980) používá 2 termíny, stres a strain reakce (odezva) na stres. Stres je tlak působící na organismus z vnějšího prostředí a odezva je míra, do jaké je fyziologie organismu poškozena stresem. Obecné rozdělení stresu je znázorněno na obr. 4. Po celém světě obývají rostliny širokou škálu prostředí s různými kombinacemi abiotických a biotických interakcí (Nielsen et al., 2008). Lambers et al. (2006) uvádí, že stres je většinou definován jako významná odchylka od optimálního stavu života. Stres vyvolává změny a reakce na všech funkčních úrovních organismu. Zpočátku mohou tyto změny být reverzibilní, ale může dojít ke změně stálé. Při růstu dle Bögra a kol. (2008), rostlina velmi dobře reaguje na změny životního prostředí. Růst, dělení a expanze rostlinných buněk je podporován dostupností živin a inhibován abiotickým stresem. Životní prostředí rostlin je charakterizováno proměnlivými vnějšími podmínkami, které jsou buď pro jejich růst, vývoj a rozmnožování vhodné anebo méně vhodné a nutí rostliny měnit se a přizpůsobit se stávajícím podmínkám prostředí (Bláha a kol., 2003). Biofyzikální a chemické omezení rostlinné struktury a její funkce ohraničuje počet znaků a morfologických rysů, které se mohou projevit v dané lokalitě. Žádná rostlina nežije v prostředí, kde působí pouze jeden zdroj, který je významný pro jeho rozvoj a přežití. Množství abiotických a biotických faktorů se liší prostorově a časově v rostlinném prostředí. Některé mohou mít interaktivní účinky na fyziologii dané rostliny (Nielsen et al., 2008). Na živé organizmy nikdy nepůsobí pouze jednotlivé faktory vnějšího prostředí, ale celý komplex vlivů, abiotických (fyzikálních a chemických) a biotických faktorů (živých organismů včetně člověka), které vstupují do vzájemných interakcí (Bláha a kol., 2003).



Obr. 4: Obecné rozdělení stresu dle Procházky a kol. (1998)

Stres se dá dále rozdělovat na eustres a distres. Linhart (2003) popisuje eustres jako pozitivní zátěž, která v přiměřené míře stimuluje jedince k vyšším anebo lepším výkonům. Distres je popisován jako nadměrná zátěž, která může jedince poškodit a vyvolat onemocnění či dokonce smrt. Lütz (2010) udává, že eustres aktivuje a moduluje rostlinné reakce a je požadován pro rozvoj a evoluci, zatímco distres je zraňující, destruktivní stres, který potlačuje všechny varovné mechanismy rostliny. Z tohoto důvodu rostliny, které rostou v chladném prostředí po tisíce let, prodělávají hlavně eustres a pouze v některých situacích prodělávají občas distres. Speciální mechanismus rezistence zahrnuje všechny funkční úrovně a v mnoha případech je vyvolán diferenciální aktivací genu, například, v případě syntézy stresem, který je indukovaný proteiny a speciálními izoenzymy (obr. 5).



Obr. 5. stresová indukce syntézy polypeptidů a izoenzymů (Heun et al., 1981)

4.4.1 Stresor

Existují rozmanité typů stresorů, které mohou mít vliv na fyziologické procesy rostliny. Obecně platí, že stresory mohou být klasifikovány do tří skupin (tab. 2) (Nielsen et al., 2008). Selye (1978) uvádí, že faktory (vnitřní, vnější), které vyvolávají stres, se nazývají stresory. Stresové faktory často působí v kombinaci, toto společné působení zesiluje dopady stresu je označován jako násobné působení stresových faktorů (Mooney et al., 1991). Negativní vnější vlivy – stresory, působí na celou rostlinu, tj. na kořeny, nadzemní část i na vyvíjející se semena. Při působení stresorů může rostlina dosáhnout nového rovnovážného stavu na základě činnosti kompenzačních procesů (Bláha a kol., 2003). Narušený ekosystém má mnoho stresorů ovlivňující rostliny, které se snaží obnovit svou oporu (Nielsen and Orcutt, 2008). Stresový

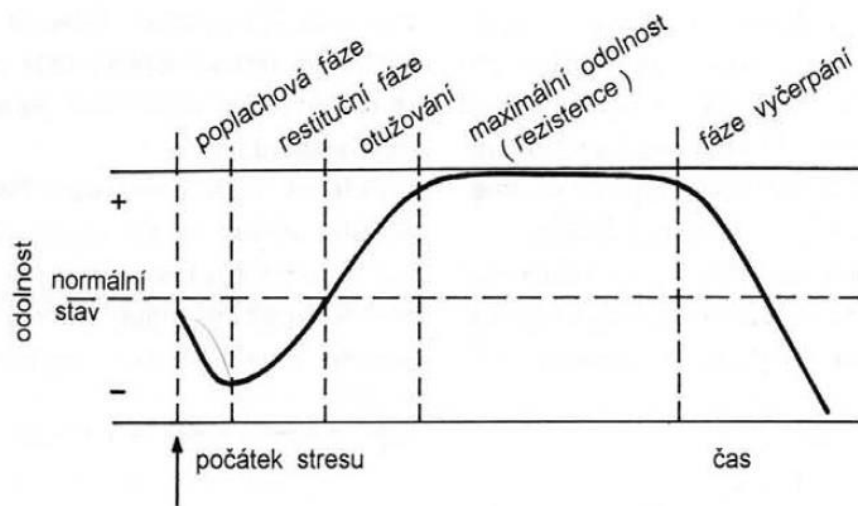
faktor neboli stresor, dle Larchera (2003) indikuje stresové stimuly a stresovou odpověď nebo stav stresu, jenž označuje odpověď na stimuly stejně, tak i následný stav adaptace.

Tab. 2. částečný seznam zdrojů environmentálních stresů působící na rostlinu (Nielsen et al., 2008)

fyzikální	chemické	biotické
sucho	znečištění ovzduší	kompetice
teplota	těžké kovy	alelopatie
radiace	pesticidy	nemoci
záplava	toxiny	patogenní houby
vítr	pH půdy	viry
magnetické pole	zasolení	herbivoři

4.4.2 Stresová reakce

Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, se nazývá stresová reakce (poplachová fáze – restituční fáze – fáze rezistence – fáze vyčerpání) (Nielsen and Orcutt, 2008). Průběh stresové reakce je rozdělen do pěti fází: poplachová, restituční, otužování, rezistence a fáze vyčerpání. Postup těchto fází je možno sledovat v grafické podobě na obr. 6. Selye (1978) uvádí, že existují specifické a nespecifické odpovědi na působení stresorů. Pro pochopení specifických a nespecifických reakcí je nutné studovat rostlinné reakce od molekulární úrovně až po celou rostlinu (Myrene, 2011). Dobrým příkladem pro nespecifickou odpověď je reakce na stresory, které jsou vyvolané při nedostatku vody – sucho, zasolení, chlad a zejména mráz (Beck et al., 2007).



Obr. 6: Idealizovaný průběh stresové reakce (Larcher, 1995).

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

- poplachová – narušení buněčných struktur; objevuje se pozorovatelná reakce organismu; pokud zátěž trvá, organismus se pokouší aktivovat prostředky na zvládnání stresu, i když se přizpůsobuje tlaku (vykazuje tak vysokou odolnost) (Selye, 1978);
- restituční – mobilizace kompenzačních mechanismů; tvorba či aktivace stresových proteinů (Lichtenthaler, 1998);
- otuzování – zvýšení odolnosti rostliny; proces získávání tolerance, tj. ustavování nového rovnovážného stavu odpovídajícího změněným podmínkám (Jones et al., 1998);
- rezistence – doba, kdy je rostlina maximálně odolná vůči působení stresu; postupné vyčerpání zdrojů (Selye, 1978);
- vyčerpání – nastává při dlouhodobém a intenzivním působení stresu, kdy rostlina není schopná růst a začíná hynout; (Jones et al., 1998).

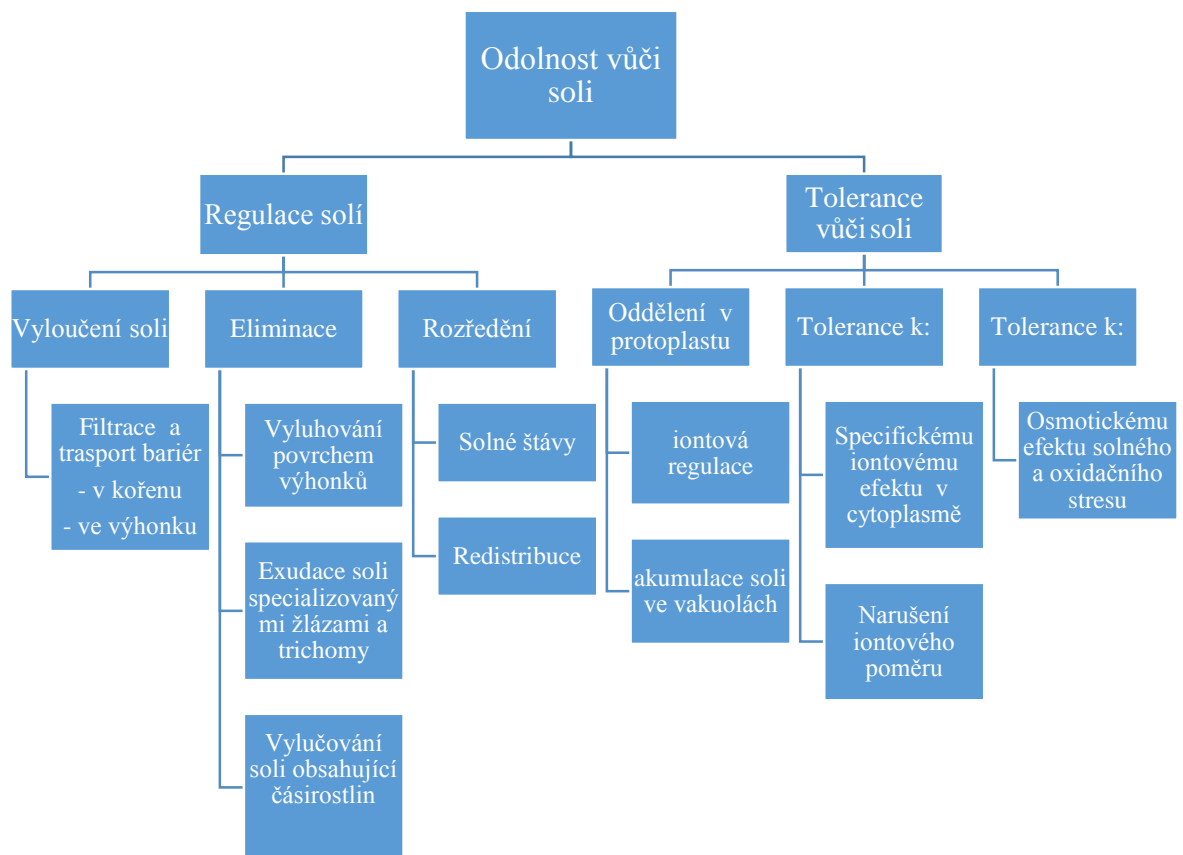
4.5 Vztah rostlin k zasolení

Z obecného hlediska patří zasolení mezi druh abiotického stresu, který u rostlin vyvolává fyziologické změny, které nedovolují dostatečně přijímat vodu. Kdy a za jakých podmínek je sůl škodlivá, je popsáno v následující kapitole.

4.5.1 Halofyty

Rostliny rostoucí v podmínkách s vyšší koncentrací solí se nemohou vyhnout jejímu působení a musí vyvinout určitý stupeň odolnosti vůči salinitě. Odolnost vůči soli je dle Larchera (1995) a Lamberse et al. (2006) schopnost rostlin, buď zbavit se přebytečné soli díky její regulaci a nashromážděním nadměrného množství soli v protoplasmě anebo alternativou je tolerovat toxický a osmotický efekt asociovaný zvýšením koncentrací iontů (Obr. 7). Tolerance k zasolení v rostlinách je podle Nanja et al. (1999) komplexní fenomén zahrnující morfologické, fyziologické a biochemické procesy. Halofyty jsou dle Kafky a kol. (2014) rostliny schopné využít ke svému růstu vodu i s více než 0,5 % obsahem soli. Adaptace rostlin k zasolení je dvojího druhu, jak uvádí Kafka a kol. (2014) a Larcher (1988).

Obr. 7. Komponenty odolnosti halofytních rostlin ke stresu zasolením (Steiner, 1934)



V první řadě se dle Lamberse (2006) jedná o dokonale řízený příjem solí pomocí vysoce selektivní plazmatické membrány, která brání pronikání nadbytečných iontů do buněk kořenů.

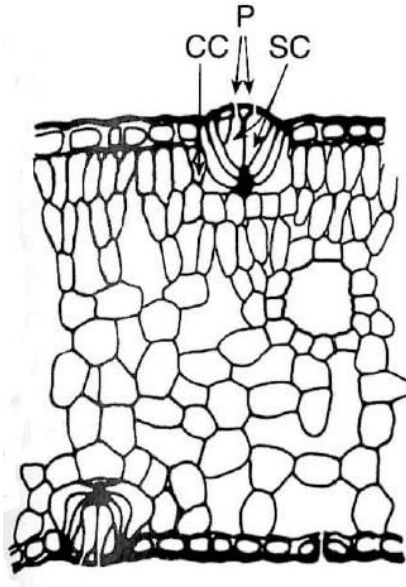
Druhý adaptační mechanismus spočívá ve zvýšeném ukládání solí do vakuol, případně apoplastu, kdy část solí bývá transportována do nadzemní části a následně vylučována na povrch listů. Vysoký osmotický tlak vakuolární šťávy pak musí být vyrovnán zvýšenou koncentrací kompatibilních osmoticky aktivních látek (kvarterní amoniové soli, aminové kyseliny, cukry) v cytosolu.

Larcher (1988) uvádí, že halofyty musí být schopny přijímat a hromadit v sobě soli, aby mohly odnímat půdě osmoticky vázanou vodu; ale kdyby se v nich soli hromadily postupně během celého života, způsobily by nevyhnutelně pokles produkční schopnosti rostlin a nakonec by měly toxické účinky. Několik halofytních rostlin dle Pessarakiho (2011) jako je *Aster tripolium*, *Beta vulgaris* ssp. *maritima*, *Chenopodium quita* nebo *Spartina townsendii* odhalují kombinaci slabé čisté fotosyntézy, minimální transpirace, vysoké stomatální resistance a minimální vnitřní koncentraci CO₂ na prahu jejich tolerance zasolení. Larcher (1988) dále uvádí, že ani značná odolnost rostlin nepomůže, je-li stres dlouhodobý a stále sílí. Za takových okolností mají životní důležitost ochranné a vyrovnávací mechanismy, které chrání protoplazmu před účinky stresového faktoru (zátěže), anebo je alespoň oslabují či oddalují. Podle Larchera (1988) mohou halofyty upravovat svoje hospodaření se solí různými způsoby:

Filtrace solí – Některé mangrovové stromy, např. kořenovník (*Rhizophora* sp.), výrazně snižují salinitu vody ve svých vodivých drahách, ultrafiltrací přes plazmalemu v buňkách kořenového parenchymu (Larcher, 1988).

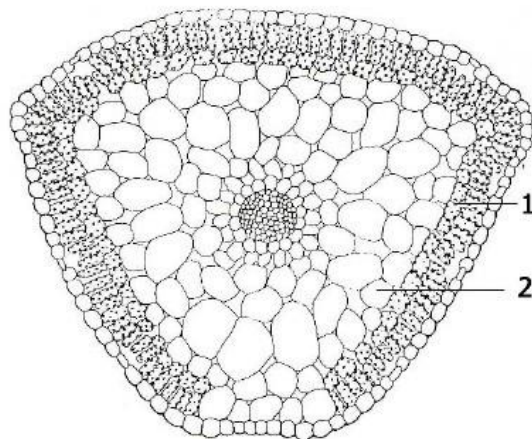
Přerušování transportu solí – U druhu *Prosopis farcta* z čeledi *Mimosaceae* je zabráněno transportu solí do listů. Solné ionty, zejména Na⁺, jsou přijímány kořeny, ale zůstávají v nich nebo ve kmeni. Podobnou regulaci najdeme u různých kulturních zemědělských plodin zejména luštěnin (z čeledi *Fabaceae*) (Larcher, 1988).

Vylučování solí (Obr 8.) – Rostlina se může zbavovat nadbytečných solí různými způsoby: exsudací a rekreací na povrch prýtu anebo opadem rostlinných částí s velkým obsahem solí. Rekreční žlázy aktivně vylučují soli, jejichž hromadění v listech se tak udržuje v jistých mezích (Larcher, 1988).



Obr 8: Komplex vícebuněčné solné žlázy v epidermisu listu limonky poddunajské (*Limonium gmelini*). P – průduchy, SC – vyměšovací buňky, CC – sběrné buňky. (Ruhland, 1915)

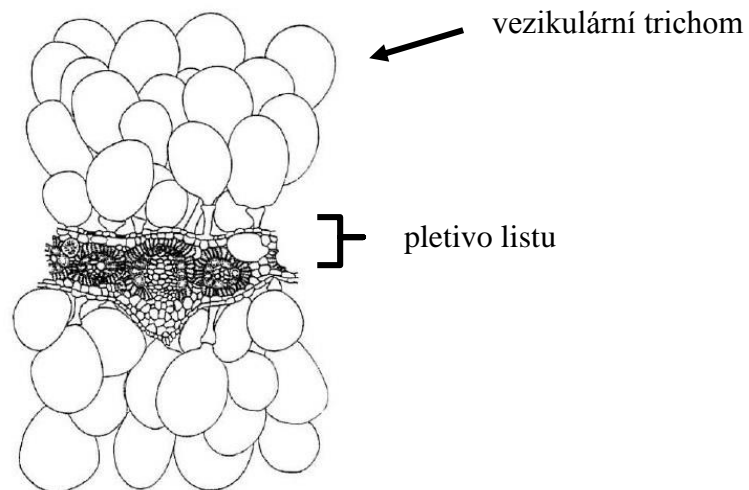
Sukulentní znaky slanobytných rostlin (Obr. 8) – Nejvýznamnějším faktorem při působení solí není jejich absolutní množství, ale koncentrace; proto mohou buňky vyrovnávat postupné hromadění solí v průběhu vegetačního období, jestliže stále přijímají vodu, přitom ovšem značně zvětšují svůj objem. Koncentrace solí v buněčné šťávě pak zůstává celkem stálá (Larcher, 1988).



Obr. 8: Řez sukulentním listem slanobýlu draselného (*Salsola kali*) (Esau, 1977).

1 – parenchym s chloroplasty, 2 – vodní pletivo

Akumulace soli v trichomech (obr. 9) – Listy na mnoho druhů lebedy jsou pokryty trichomy (rozšířeny až na solné měchýřky), které tvoří hustou a vodu odpuzující stříbrnou vrstvu na obou stranách listu. Více než 50 % soli vstupující do listů je následně vylučována do těchto membrán (Atwell et al., 1999).



Obr. 8: Akumulace soli ve vezikulárních trichomech na listu lebedy (*Atriplex mollis*) (Berger-Landfeldt, 1959)

Hopkins et al. (2004) uvádí, že stres zasolením může zraňovat rostliny ve třech různých úrovních. Za prvé, vysoká koncentrace solí, zejména vyšší hodnota Na, mění strukturu půdy. Z důvodu snížení porozity půdy, může být nepříznivě ovlivněna aerační a hydraulická konduktivita půdy. Za druhé, vysoká koncentrace soli je neoddelitelně spojena s vodním stresem. Vysoká koncentrace soli generuje nízký vodní potenciál ve formě fyziologického sucha, což ztěžuje rostlinám přijímat vodu a živiny. Osmotický stres, sucho a vysoká koncentrace soli vyvolávají podobné odezvy, týkající se nedostatečného příjmu vody. Rozpuštěné látky, které přispívají k osmotickému stresu u halofytních rostlin, jsou stejné rozpuštěné látky, obsahující prolin, betain a sorbitol, které se akumulují během odezvy na vodní stres a stres zasolením. Mimo jiné se zvyšujícím se zasolením, dochází k nárůstu hodnot etylénu a kys. abscisové v pletivech. Třetí forma poškození u glykofytů vyvolává toxický efekt specifických iontů, obzvláště Na^+ a Cl^- . Nicméně preciznímu mechanismu pro poškození není zatím porozuměno. Přebytek Na^+ může způsobovat membránové problémy, inhibice enzymů nebo metabolické disfunkce.

4.5.2 Zasolení

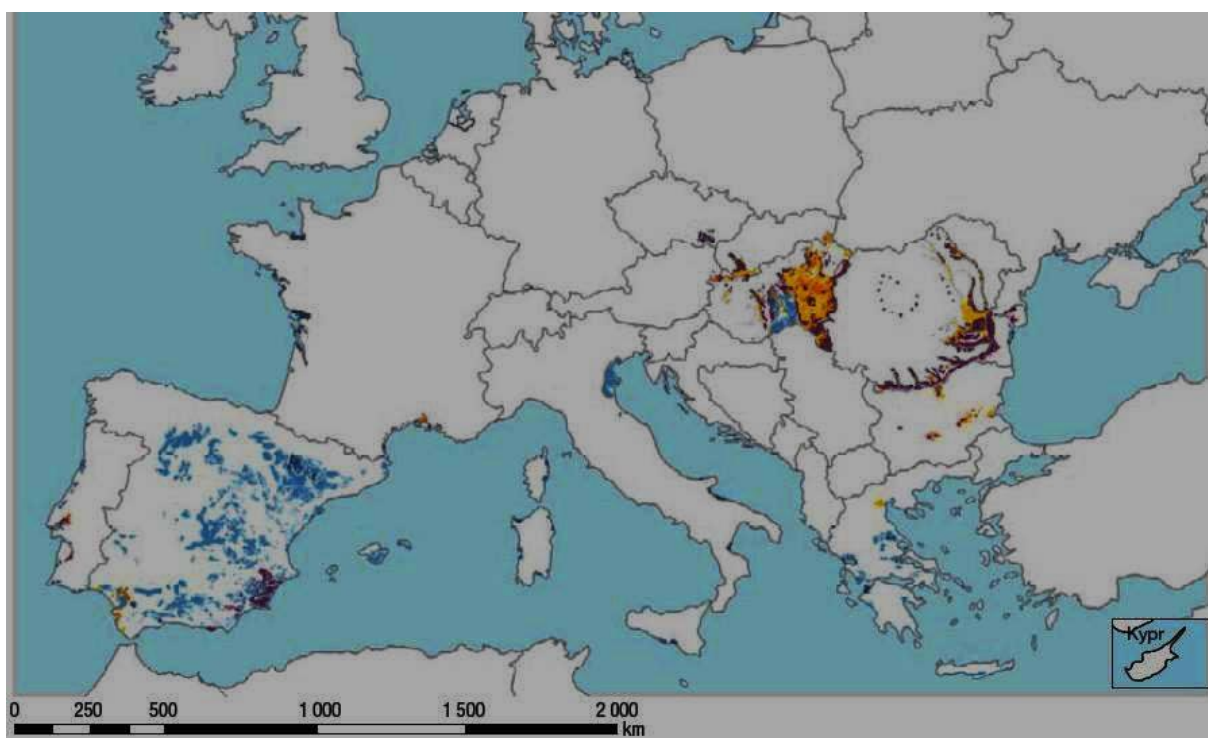
Široce akceptovatelná definice zasolené půdy je ta, která poskytuje nasycený extrakt s elektrickou vodivostí (EC_e) $> 4 \text{ dS m}^{-1}$ (mmho cm^{-1}), jak uvádí tab. 2. Vodivost mořské vody se pohybuje kolem 55 dS m^{-1} . Zasolené půdy jsou problém pro mnoho rostlin kvůli vysoké koncentraci rozpustné soli v půdním roztoku (Barker et al., 2007).

Zasolení je dle De Pascaleho et al. (1997) hlavní faktor odpovědný za pokles sklizně na mnoha územích na světě, převážně v aridních a semiaridních regionech. Zasolené půdy jsou na Zemi velmi rozšířeny a jejich vývoj může být přírodní nebo akcelerován rozšířením zavlažování v zemědělství, zintenzivněné použití vodních zdrojů s kombinací vysoké hodnoty evaporace a lidské aktivity (Lambers, 2003). Epstein et al. (2005) zmiňuje, že přes půl století se zaměřuje výzkum na zlepšení a využití půd, které jsou postižené solí. Problémy se zasolením mohou být přisuzovány na používání technických (vodního a půdního managementu) a biologických přístupů. Kultivace zasolených ploch chemickými nebo biologickými prostředky není pouze drahá, ale také zvyšuje environmentální obavy.

Na obr. 10 je mapa zasolených půd na území Evropské unie. Dle Evropské komise (Anon., 2009) je zasolování (salinizace) hromadění ve vodě rozpustných solí v půdě. Jedná se o soli obsahující draselné (K^+), hořečnaté (Mg^{2+}), vápenaté (Ca^{2+}), chloridové (Cl^-), síranové (SO_4^{2-}), uhličitanové (CO_3^{2-}), hydrogenuhličitanové (HCO_3^-) a sodné (Na^+) ionty. Hromadění sodíku se rovněž nazývá sodifikace. Soli se rozpouštějí ve vodě a voda je také přenáší. Při odpaření vody zůstávají soli na místě. Primární salinizace spočívá v nahromadění solí přírodními procesy v důsledku vysokého obsahu solí v matečném materiálu nebo podzemní vodě. Sekundární salinizace je způsobována lidskými zásahy, jako jsou nevhodné zavlažovací postupy, například při zavlažování vodou bohatou na soli či při nedostatečném odvodňování. Nynější praktiky použité pro kultivaci půd často ignorují přírodní prostředí a mohou dokonce vést k dalšímu ekologickému poškození. Z tohoto důvodu, tradiční technické prostředky k řešení problémů se zasolením již nemusí být dostatečné či trvale udržitelné. Zasolení půd a problém sodicity, neboli vysoký obsah sodíku v půdě, se nejčastěji vyskytuje ve všech zavlažovaných územích na světě a také na nezavlažovaných orných půdách či pastvinách. Tudíž, žádná půda není odolná vůči salinizaci. Proto, pro udržení udržitelnosti na zemi, je potřeba kontrolovat tyto problémy a najít nové způsoby pro využití těchto zasolených půd a vodních zdrojů. Při nejmenším pro zemědělské účely je tato problematika nezbytně nutná a naléhavá (Pessarakli, 2011).

Zasolené půdy obvykle zahrnují dle Barkera et al. (2007) jiné ionty včetně iontů sodíku, chlóru a zejména vápníku, hořčíku a síry. Rozměry těchto iontů záleží na chemismu a hydrologii půdy. V přírodních podmínkách vyšší suchozemské rostliny naráží dle Flowerse (2004) na vyšší koncentraci soli blízko mořského pobřeží a v ústích, kde se míchá mořská voda se sladkou. Pro vnitrozemí, přírodní solné průsaky z geologicky mořských depozit se mohou smývat do sousedících oblastí, což způsobuje nepoužitelnost této oblasti pro zemědělství. Evaporace a transpirace odstraňuje čistou vodu (jako výpar) z půdy a tento úbytek vody zvyšuje koncentraci soli. Vodní kapky z oceánu jsou dispergovány přes půdu a vypařovány, což zvyšuje půdní zasolení. Nicméně, člověk je hlavní příčinou půdní salinizace. Intenzivní zemědělství a nevhodné praktikování vodního managementu mohou způsobovat (od začátku kultivace) výraznou salinizaci obhospodařované plochy.

Obr. 10. Mapa území evropské unie, která je zasažená salinizací či sodifikací (Evropská komise, 2009)



Legenda:		Zasolené > 50 % oblasti
		Sodické > 50 % oblasti
		Zasolené < 50 % oblasti
		Sodické < 50 % oblasti
		Potenciální zasažené oblasti

Prvním krokem biologického řešení tohoto problému je vyšlechtit rozdílné rostlinné druhy s odolností vůči soli a se schopností růst v solných oblastech. Lambers et al. (2006) udává, že citlivé rostliny, které jsou vystaveny náhlému zasolení nebo vodnímu stresu, často zlepšují své dýchání. Například, kořenové dýchání *Hordeum vulgare* se zvyšuje na úkor solné expozice 10 mM NaCl. To může odrážet buď potřebu rostliny po respirační energii anebo zvýšenou aktivitu alternativní cesty, kdy uhlík použitý pro růst je redukován víc než uhlík získaný při fotosyntéze. Dle Larchera (1995) vede extrémní stres k dwarfismu a k inhibici kořenového růstu. Rašení pupenů je zpožděno, růst výhonků je utlumen a listy jsou menší. Buňky odumírají a objevuje se nekróza kořenů, pupenů, výhonků a listů. Listy začínají žloutnout a schnout před dosažením konce sezóny. Nakonec usychají celé části výhonů. Snížená koncentrace cytokininu a zvýšení hodnota kyseliny abscisové a etylénu se podílejí na předčasném nástupu senescence.

Tab. 2: Klasifikace půd dle zasolení (Gardner a kol., 1999)

skupina podle USDA	hodnocení	EC _{SE} (dS/m)	celková konc. soli v %	reakce plodin
0	nezasolené	0–2	<0,15	dopady salinity jsou zanedbatelné s výjimkou nejvíce citlivých rostlin
1	slabě zasolené	4–8	0,15–0,35	úrodnost většiny plodin je omezena
2	středně zasolené	8–15	0,35–0,65	dostatečně plodí jen odolné rostliny
3	silně zasolené	>15	>0,65	dostatečně plodí jen velmi odolné rostliny

4.5.3 Efekt zasolení na zemědělství

Francois a kol. (1994) uvádí, že zasolení orné půdy zvyšuje problém mnohých zavlažovaných, aridních a semiaridních oblastí na světě, kde jsou dešťové srážky nepostačující k vyluhování soli z kořenové zóny. To je významný faktor v redukcii produkce plodin. Zasolené půdy jsou dle Ponnampereuma (1984) definovány jako půdy s dostatečným obsahem soli v kořenové zóně, jež poškozují růst plodin. Nicméně zdali sůl působí škodlivě, záleží na druhu, odrůdě, růstovém stadiu, environmentálním faktoru a povaze soli. Dle Gliessmana (2007) může zavlažování přispět k většímu dodání soli do půdy, obzvláště na území s větší potenciální

evaporací, kde přidaná sůl migruje na povrch půdy kapilárním pohybem během evaporace. Navíc, mnoho anorganických hnojiv, jako je dusičnan amonný, může také zvýšit zasolení, protože jsou ve formě soli. Půdy s vysokou koncentrací neutrální soli (např.: NaCl, Na₂SO₄) jsou nazývány zasolené a jsou problémem pro rostliny kvůli osmotické nerovnováze. Americká společnost Omni Enviro (Anon., 2015) představuje řešení pro problematiku se zasolenými půdami. Jak je známo jediný způsob jak odstranit sůl z půdy je spláchnutím. Firma uvádí aplikaci zmagnetizované vody pro zasolené půdy, která rozruší krystaly soli dvakrát rychleji než je u obyčejné vody. Výhody použití zmagnetizované vody pro zavlažování plodin:

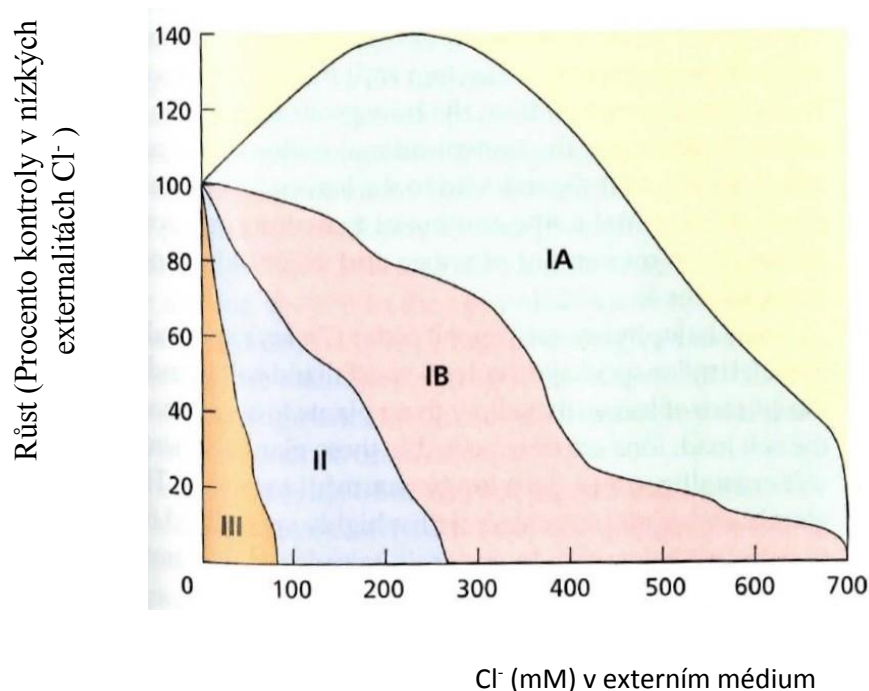
- Zvýšení rostlinné produkce z 15 % na 100 %,
- dramatické snížení rostlinných nemocí,
- zlepšení chutí zemědělských produktů.

Malá hodnota Cl⁻ iontů ve srážkách v kombinaci s limitním použitím KCl hnojiv na vnitrozemských půdách obohacených draslíkem má za následek nízký stupeň chlóru v půdním testování. Podstatnou pozitivní odezvu na Cl⁻ obsahující hnojiva je hlášena pro rozdílné plodiny na mnohých částech světa: ječmen (*Hordeum vulgare* L.), palma kokosová (*Cocos nucifera* L.), kiwi (*Actinidia deliciosa* L.), palma olejná (*Elaeis guineensis* Jacq.), lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.), pšenice setá (*Triticum aestivum* L.), tabák virginský (*Nicotiana tabacum* L.) a cukrová řepa (*Beta vulgaris* L.). Typické příznaky nedostatku Cl⁻ je usychání listů, kroucení lístků, chloróza a vážná inhibice růstu kořene. Citlivost k vysoké koncentraci Cl⁻ se výrazně liší mezi druhy a kultivary. Obecně, mnoho dřevin a luštěnin jsou náchylné k Cl⁻ toxicitě, zatímco bylinné plodiny tolerují nadměrnou hodnotu Cl⁻. Kritická toxická koncentrace Cl⁻ (CTCC) v nasycených půdních extraktech se liší od 10–15 mM pro citlivé plodiny jako fazole (*Phaseolus vulgaris* L.), vinná réva (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*), brambory (*Solanum tuberosum*) a jahodník obecný (*Fragaria vesca*) a do 70–80 mM pro plodiny jako ječmen (*Hordeum vulgare*), bavlník (*Gossypium hirsutum* L.), čirok (*Sorghum bicolor* L.) (Lal, 2006). Dalším důležitým faktorem je dle Bineta (1963) poměr Na:K, který klesá se stářím rostliny.

Růst rostlin v zasoleném médiu je zaznamenán na grafu č. 3, který popisuje reakci čtyř skupin druhů rostlin. Rostliny skupiny IA (halofylní druhy) obsahuje solničku přímořskou (*Suaeda maritima*) a lebedu Johnstonovu (*Atriplex nummularia*). Tyto rostliny vykazují růstovou stimulaci s hodnotou chlóru pod 400 mM. Skupina IB (halofylní druhy) obsahuje zimolez Townsendův (*Spartina townsendi*) a cukrovou řepu (*Beta vulgaris*). Tyto druhy tolerují

sůl, ale jejich růst je opožděný. Skupina II (halofylní a halofóbní druhy) obsahuje halofytní trávy tolerující sůl, které mají nedostatek solných žláz, jako je kostřava červená (*Festuca rubra*), zblochanec oddálený (*Puccinellia peisonis*) a halofóbní druhy, jako je bavlník (*Gossypium* spp.), či ječmen (*Hordeum vulgare*). Všechny tyto druhy jsou inhibovány vyšší koncentrací soli. V mezích těchto druhů, rajče jedlé (*Solanum lycopersicon* = *Lycopersicon esculentum*) je středně odolná a fazol (*Phaseolus vulgaris*), sója (*Glycine max*) jsou citlivé. A druhy ve skupině III (velmi citlivé halofóbní druhy) jsou těžce inhibovány a poškozeny velmi nízkou koncentrací soli obsahující mnoho ovocných stromů jako citrusovník (*Citrus*), avokádo (*Persea americana*) a peckovice (Greenway a Munns, 1980). Rostlinné druhy odolné vůči zasolení a naopak citlivé jsou udané v tab. 3.

Graf 3. Růst rozdílných druhů vystavené zasolení vzhledem k nezasolené kontrole. Křivky rozdělující oblasti jsou založeny na datech pro rozdílné druhy. Rostliny byly pěstovány od 1 do 6 měsíců (Greenway a Munns, 1980).



Mezi vysoce zasolené půdy řadíme zemědělské půdy, které jsou ve velké míře zavlažovány. Jelikož zavlažování je zvláště intenzivní v suchých oblastech. V těchto oblastech se objevuje extenzivní ztráta vody přes evaporaci a transpiraci, odborně nazýváno evapotranspirace (Hopkins at al, 2004).

Tab. 3. Odolnost vůči zasolené u vybraných plodin (Mass and Hoffman, 1977).

kategorie odolnosti vůči zasolení			
citlivé	středně citlivé	středně odolné	Odolné
mandloň	bob	řepa	ječmen
jabloň	zelí	brokolice	datlovník
meruňka	paprika	světlice	bavlník
avokádo	jetel	olivovník	troskut prsknatý
fazole	okurka	jílek vytrvalý	cukrová řepa
mrkev	grep	kostřava	
citrusovník	salát	čirok	
cibule	tolice vojtěška	pšenice	
broskev	kukuřice		
slivoň	brambor		
jahodník	špenát		
	cukrová třtina		
	rajče		

4.6 Fyziologické charakteristiky

4.6.1 Fotosyntéza

Scott (2008) uvádí, že rostliny vytváří více než 99 % biomasy na Zemi a tato dominance je zakládána na jedné vlastnosti rostlin a to na schopnosti fotosyntézy. Rostliny mají také značné požadavky na vodu k efektivní fotosyntéze. Vedle přeměny energie slunečního záření a CO₂ na organické látky má dle Bláhy (2008) nesporně klíčový význam fixace CO₂ a postupná

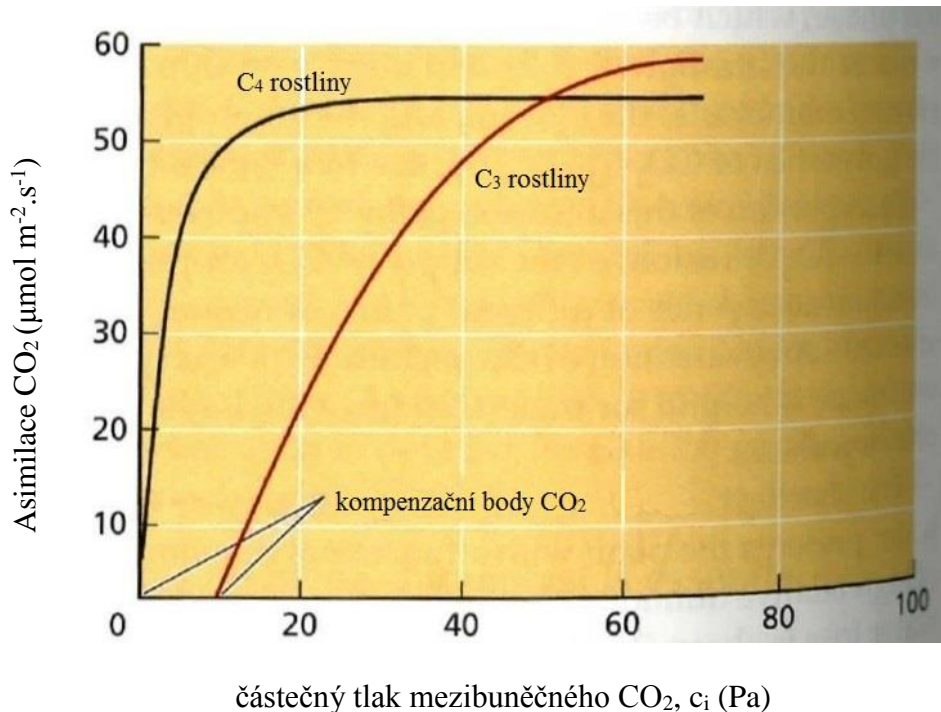
změna atmosféry během evolučního vývoje na Zemi. Celá řada faktorů životního prostředí ovlivňuje dle Bögra et al. (2008) listovou a kořenovou dynamiku růstu způsobené přímými nebo nepřímými změnami fotosyntetických energetických zisků. C₄ rostliny mají dle Mártonfiho (2006) v listech cévní svazky obklopené parenchymatickým pletivem, kolem kterého se nachází věnec mezofylových buněk, díky kterým je umožněn typ fotosyntézy, který je vhodný pro přežití rostlin v extrémních teplotách. Metabolismus ve spodních pletivech má dle Scotta (2008) hlavní dopad na fotosyntetický metabolismus v listu. Fotosyntetický podíl jako funkce částečného tlaku CO₂ v mezibuněčném vzdušném (c_i) prostoru uvnitř listu dle Taize et al. (2006) může vyhodnocovat limity fotosyntézy vynucené zásobou CO₂. Ve velmi malých koncentracích mezibuněčného CO₂, je fotosyntéza silně limitována nízkým CO₂. Zvýšení mezibuněčné koncentrace CO₂, při které se tyto dva procesy vzájemně vyvažují, je definováno jako kompenzační bod CO₂ (Graf 4), při kterém je čistý CO₂ tok z listu roven nula.

Předci fotosyntetických cest jsou od C₃ fotosyntézy a C₄ fotosyntézy. Během geologicky historických period, kdy koncentrace CO₂ byla vyšší než dnes, vedla difúze CO₂ skrz průduchy v C₃ listech k vyšším hodnotám c_i a tedy i k zvýšení podílu fotosyntézy. Ačkoliv fotosyntéza C₃ rostlin je dnes limitována difúzí CO₂, jsou stále C₃ rostliny počítány za téměř 70% světový podíl primární produkce. Evoluce C₄ fotosyntézy je jedna biochemická adaptace k překonání atmosférických limitů CO₂. Naše aktuální porozumění je takové, že C₄ fotosyntéza se mohla za posledních 10 až 15 milion let velmi vyvinout (Taiz et al., 2006). C₄ fotosyntéza není podle Hopkinse et al. (2004) vždy efektivnější než C₃ fotosyntéza. Teplota v listech pod 30 °C u C₄ rostlin způsobuje, že kvantový výnos je nižší než u C₃ rostlin, z toho plyne že C₄ rostliny jsou méně efektivní.

Dalším mechanismem koncentrujícím CO₂ je CAM fotosyntéza (metabolismus kyselin u tučnolistých). Unikátní vlastnosti CAM umožňují pozoruhodnou míru hospodaření s vodou. Jednotlivé druhy využívající tuto cestu jsou adaptovány především na přežití v extrémně suchých, nebo xerofytních prostředích. Nejvíce čeledí je reprezentováno C₃ rostlinami, ale některé čeledi jsou známé tím, že obsahují všechny 3 fotosyntetické vzory; C₃, C₄ a CAM.

Zvýšené zasolení v růstovém médiu snižuje obsah chlorofylu a čistou rychlost fotosyntézy (Khavarinejad and Chaparzadeh, 1998). Významný počet halofytních rostlin jsou C₄ druhy, které se vyznačují vyššími požadavky na ionty sodíku v porovnání s C₃ druhy (Brownell and Crossland, 1972).

Graf 4. Změny fotosyntézy jako funkce mezibuněčné CO₂ v *Tidestromia oblongifolia*, C₄ rostlina a *Larrea divaricata*, C₃ rostlina.



4.6.2 Fluorescence chlorofylu

Podle Hopkinse et al. (2004) byli Kautsky a Hirsch první, kteří informovali o signálu fluorescence chlorofylu. Analýzy změn v kinetice fluorescence chlorofylu poskytuje detailní informace o struktuře a funkci fotosyntetického aparátu, zejména o fotosystému II (PS II). Použití spektrálních reflexních indexů představuje pro monitoring plodin detekovat stres v raných stádiích plodiny. Následné detailní studie komplexu signálu fluorescence chlorofylu ukazují, že tento signál je plný informací, s ohledem na vlastnosti reakčního centra PSII, tak i na vztah s celkovým fotosyntetickým transportem elektronů a asimilace CO₂. Sucho dle Strassera a kol. (1995) působí na fotosyntetickou aktivitu listu jako důsledek změněné fluorescenční kinetiky chlorofylu *a*.

Dle Prášila (2003) poskytuje variabilní fluorescence chlorofylu informaci především o procesech probíhajících v reakčních centrech fotosystému II. Můžeme získat informaci o míře využití světelné energie ve fotosystému II a o jeho funkčním stavu v daných podmínkách.

V určitých případech je ale tok elektronů fotosystému II úměrný celkové rychlosti fotosyntézy. Můžeme tak téměř okamžitě odhadnout fotosyntetickou výkonnost, a to za podmínek, kdy ostatní metody neleze použít. Oblast fotosystému II je navíc nejcitlivější částí fotosyntetického aparátu. Může být poškozena nejenom vysokou intenzitou světla, ale i různými jinými stresy. Stav fotosystému II má regulační funkci i pro mnoho důležitých procesů v chloroplastech. Nová zařízení umožňují určit pomocí variabilní fluorescence fotosyntetické parametry s prostorovým a časovým rozlišením. Variabilní fluorescence poskytuje nový a účinný nástroj pro sledování prostorové heterogenity fotosyntetických organismů.

4.6.3 Vodní bilance rostlin

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

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

Kde „ ΔW “ představuje změnu zásob vody v půdě a fytomase, „ET“ je evapotranspirace a „O“ je odtok. Optimální vodní bilance nastává v případě, kdy je rostlina optimálně nasycená vodou. Tato situace bývá tehdy, kdy rostlina netrpí ani nedostatkem ani nadbytkem vody, a když příjem a výdej vody rostlinou je maximální. Po vyčerpání fyziologicky dostupné vody v půdě dochází k dočasnému anebo i k trvalému poklesu nasycení rostliny vodou s následnými negativními účinky (Střelcová a Kučera, 2004). Mimo jiné půdní voda patří k základním složkám vodní bilance a je mimořádně důležitý i její fyziologický a půdotvorný význam (Tužinský, 2007). V zasolených oblastech je dle Fullena et al. (2014) vodní bilance kritická. V místech kde je poměr $P/PET < 75$ (PET – potenciální evapotranspirace), je půda velmi náchylná k zasolení. Vodní bilance může být zvýšena díky odklidu původní dřevní vegetace, ale často na úkor biologické rozmanitosti, ztráty půd a zasolení (Grice et al., 2002).

4.6.4 Evapotranspirace

Transpirace a evaporace dle Bláhy a kol. (2011) tvoří celkový výpar vody – evapotranspiraci. Evapotranspirace zahrnuje 3 složky: fyzikální výpar, zachycená ze srážkové vody (intercepce), výparu vody z půdy (evaporace) a fyziologický výdej vody rostlinami – transpirace. Výměna plynů v listech je podle Scotta (2008) nezbytná pro fotosyntézu, nicméně ten samý čas, voda je ztracena přes průduchy. Voda se odpařuje z buněčné stěny mezofylových buněk. Jak se voda odpařuje, ustupuje do buněčné stěny. To způsobuje

úpadek vodního potenciál v této oblasti, a tím vytváří hnací sílu k řízení přepravy vody v rostlině. Bláha a kol. (2008) uvádí, že měření evapotranspirace porostu jsou náročná na přístrojové vybavení a odhady podílu transpirace na ET (měřitelný celkový odtok vody z porostu) a výnosového indexu nemusí být spolehlivé. Odstraněním vody prostřednictvím evapotranspirace vede dle Madhavy et al. (2006) ke zvýšené koncentraci solí v půdě. Proces evapotranspirace (ET) způsobuje dle Hansona et al. (2006) koncentrování solí v půdě. Čistá voda se odpaří z mokrých povrchů půdy a dále je odpařena z listové plochy. Množství soli, které je přijímáno rostlinou, je zanedbatelný vzhledem k množství solí v půdě, která se do ní dostane ze zavlažovací vody.

4.6.5 Transpirace

Tento proces je dle Bláhy a kol. (2011) výpar z povrchu rostlin ve formě páry převážně přes průduchy listů (95 % průduchová transpirace) a menší mírou i přes pokožku listů (5 % kutikulární transpirace). Scott (2008) definuje transpiraci jako evaporaci vody z listů a její přemístění z xylému. Absorpce vody u rostlin je podstatně nižší než u stromů. Jakmile je voda z půdy kolem kořenů vyčerpána, tak vodní potenciál rizosféry klesá a je přemístěn hromadným tokem. Povaha půdy má velký vliv na proces hromadného toku. Öpik et al. (2005) uvádějí, že transpirace patří mezi rostlinné procesy, který nevyužívá sluneční energii přímo bez zásahu fotosyntézy. Dále uvádí důležitost transpiračního proudu při přesunu fytohormonů do listů. Průduchy jsou dle Bergmanna et al. (2004) potřebné pro výměnu plynu a transpiraci, což je nezbytné pro přežití suchozemských rostlin. Utváření a postavení listového aparátu na stonku, počet průduchů, výskyt trichomů a u klasu výskyt osin charakterizuje podle Bláhy a kol. (2008) poměr transpirace a fotosyntézy. Rychlost Transpirace je dle Hopkinse et al. (2004) pro C_4 rostliny obvykle v rozmezí 200 až 350 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, zatímco pro C_3 rostliny se rychlost transpirace pohybuje v rozmezí od 500 do 1000 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nízká transpirační rychlost u C_4 rostlin odráží jejich schopnost udržovat vyšší rychlost transpirace, zatímco se efektivně hospodaří s vodou. Mimo jiné efekt zasolení a hodnota osmotického tlaku rostlin souvisí s vyšší ztrátou vody transpirací (Mert et al., 1967).

5 Metodika

Základním cílem této práce bylo zjištění fyziologických reakcí tří druhů listové zeleniny (špenát setý, čtyřboč rozkladitá a šrucha zelná) na zasolení, a zda existují mezidruhové rozdíly v reakci sledovaných rostlin na zasolení.

5.1 Charakteristika rostlinného materiálu

Byly vybrány 3 druhy rostlin – špenát setý (*Spinacea oleracea* L.), čtyřboč rozkladitá (*Tetragonia tetragonioides*) a šrucha zelná (*Portulaca oleracea* var. *sativa*). Vyseté osivo uvedených genotypů bylo komerčního původu.

5.1.1 Špenát setý

Špenát setý 'Misano F1' je hybridní odrůda s kompletní rezistencí vhodná pro jarní i podzimní výsev. Tvoří růžice tmavozelených hladkých listů. Označení F1 nesou hybridní odrůdy, jež jsou vyrovnanější, výnosnější a často odolnější k nemocem a především plastičtější při pěstování, tedy tolerantnější ke stresu a méně vhodným pěstitelským podmínkám (prohopo.cz).

5.1.2 Šrucha zelná

Šrucha zelná 'GREEN PURSLANE' je velmi rychle rostoucí rostlina s mnoha léčivými účinky. Konzumují se mladé listy s vysokým obsahem minerálů a vody. Jsou vhodné do zeleninových salátů, jako koření do polévek nebo k masu. Po vykvetení listy dostávají ostrou chuť. Můžeme používat jako špenát. Vyséváme přímo na stanoviště v dubnu až srpnu do sponu 20 - 25 x 4 cm. Sklízíme od května do října (semo.cz).

5.1.3 Čtyřboč rozkladitá

Čtyřboč rozkladitá se u nás pěstuje jen málo. Je to plazivá zelenina, jejíž listy jsou šťavnaté, tmavě zelené, chutí i použitím se velice podobající klasickému špenátu. Jsou však jemnější a lahodnější než listy „našeho“ špenátu. Lze je sklízet celoročně od léta do mrazů (prohopo.cz).

5.2 Založení pokusu

Rostliny byly pěstovány za přirozených světelných podmínek a částečně řízených teplotních podmínek skleníku Katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze.

Teplota byla nastavena na 25 °C ve dne a 18 °C v noci. Rostliny byly pěstovány v nádobách o velikosti 11x11 cm, ve směsi zahradního substrátu A a křemičitého písku v poměru 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: 80–120 mg l⁻¹, P₂O₅: 50–100 mg l⁻¹, K₂O: 100–150 mg l⁻¹. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg kg⁻¹ sušiny. Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (FLORIA Zahradnický substrát). Schéma pokusu zahrnovalo dvě základní varianty. První varianta byla představována kontrolními podmínkami, kdy rostliny byly zavlažovány destilovanou vodou. Druhá varianta byla představována variantou pokusnou, která zahrnovala stres zasolením. Uvedená varianta byla dále členěna na tři dílčí varianty. První varianta byla zavlažována solným roztokem o koncentraci 0,15 M, druhá varianta představovala rostliny zavlažované solným roztokem o koncentraci 0,25 M a poslední varianta byla zaměřena na rostliny zavlažované solným roztokem o koncentraci 0,5 M. Rostliny byly zavlažovány v intervalech 2-3 dnů.

Množství záливkové vody činilo 200 ml. Rostliny ze stresovaných variant byly od vysetí vystaveny stresu zasolením. Růstová fáze rostlin se v průběhu pokusu pohybovala ve fázích (BBCH 37 – 45) u šruchy a čtyřboče. Špenát se během měření pohyboval také ve fázi (BBCH 37 – 45). Uskutečnilo se 6 měření fyziologických charakteristik, jenž se realizovaly v rámci 2 týdnů.

5.2.1 Metody stanovení výměny plynů

Rychlost výměny plynů (fotosyntéza (P_N) a transpirace (E) byla měřena komerčním gazometrickým analyzátozem plynů LCpro+ (ADC BioScientific, Velká Británie). Fyziologické charakteristiky byly měřeny při konstantním osvětlení 650 μmol.m⁻².s⁻¹ a teplotě 20 °C, vždy v dopoledních hodinách (Holá et al., 2010), od výsadby po sklizeň v 2 – 3 denním intervalu.

Pro měření CO₂ využívá LCpro+ princip (viz. obr. 5) nerozptýleného infračerveného záření (NDIR). Ten je založen na skutečnosti, že CO₂ absorbuje záření v infračervené oblasti v poměru ke koncentraci plynu (Šesták a kol., 1996).



Obr. 5. měření v laboratorních podmínkách (Štěrbá, 2014)

Rozsah a metoda měření:

- CO₂: 0-20000 ppm, 1 ppm výsledek. Infračervená analýza plynu, diferenciální otevřený systém, automatická kompenzace atmosférického tlaku a teploty.
- H₂O: 0-75 mbar, 0.1 mbar výsledek. Dvě laserově spouštěná čidla s rychlou reakcí.

5.2.2 Stanovení rychlosti transpirace

Pro stanovení transpirace gazometrickou metodou jde využít tento vzorec:

$$E = F \times (w_0 - w_1) / S$$

Kde, F značí průtok plynu, S plochu listu a rozdíl koncentrace vodní páry ve vystupujícím (w_0) a vstupujícím (w_1) vzduchu (Anon, 2011).

5.2.3 Výpočet WUE, dle Šantrůčka (2010)

$$E = v \cdot g$$

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

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

Kde E je rychlost ztráty vody transpirací, vypočtený jako součin hnací síly difuze vodní páry v a difusní vodivosti pro páru g . A značí fotosyntetickou fixaci CO_2 , kde c značí koncentraci CO_2 vně nebo uvnitř listu. Konstanta 1,6 je poměr difusní vodivosti vodní páry a CO_2 ve vzduchu, který je nemíchaný a klidný. A/E v tomto vzorci značí okamžitou účinnost využití vody listem. Poslední vztah nám ukazuje, že mezi hlavní fyziologický parametr, na kterém účinnost využití vody závisí je poměrně vnitřní a vnější koncentrace CO_2 , tedy c_i/c_a . Zbylé údaje, tj. c_a a v jsou vlastnosti atmosféry nebo teploty listu. WUE lze také vyjádřit jako vztah mezi příjmem CO_2 a množstvím vytranspirované vody (Boyer, 1996).

5.2.4 Stanovení fluorescence chlorofylu

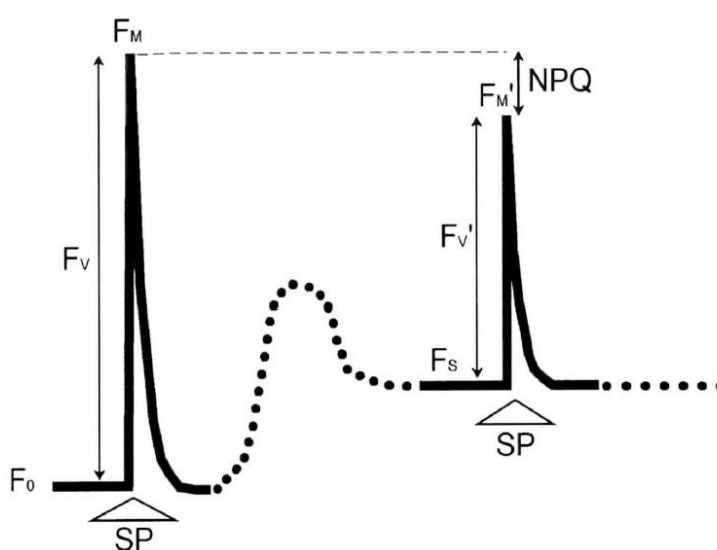
Nejčastějším způsobem využití metody měření fluorescence chlorofylu je sledování reakce na ozáření rostlin (listů) adaptovaných na tmu na malých vzdálenostech (1 – 100 mm). Při této metodě se používají fluorometry (obr. 6) pracující na principu pulzní amplitudované modulace (PAM) (Schreiber et al., 1986).

V listech adaptovaných na tmu se při ozáření slabým modulovaným zářením všechny reakční centra PS II reoxidované – „otevřené“, může být zaznamenaný minimální výtěžek fluorescenčního chlorofylu (F_0). Hodnota F_0 je konstantní, nezávislá na fotosyntetické aktivitě.



Obr. 6: měření fluorescence chlorofylu v laboratorních podmínkách (Štěřba, 2014)

Analýzou fluorescenční křivky dle Roháček et Barták (1999) (obr.6) se získá soubor fluorescenčních parametrů. Jakmile se vezme v úvahu antiparalelní vztah fluorescence chlorofylu a využití energie záření ve fotosyntéze, je poskytnuta fluorescenční indukční křivka a fluorescenční parametry jako kvalitativní, tak i kvantitativní informace o fotosyntéze. Pomocí fluorescenčních parametrů může být fotosyntéza popisována v závislosti na různých podmínkách.



Obr. 7. Fluorescenční indukční křivka (upravená dle Maxwela et Johnson, 2000)

Vysvětlivky: F_0 – počáteční fluorescence měřená na předzatemněném vzorku, F_M – maximální fluorescence po aplikaci saturačního pulzu (SP) aplikovaného na předzatemněném vzorku, F_V – variabilní fluorescence předzatemněného vzorku stanovená z rozdílu $F_M - F_0$, a tedy

$$\frac{F_M - F_0}{F_M} = \frac{F_V}{F_M} \text{ (Hopkins et al., 2004)}$$

F_S – rovnovážná (stady-stade) fluorescence měřená na světle aklimovaném vzorku (za rovnovážného stavu fotochemických reakcí ve fotosystému II), F_M' – maximální fluorescence měřená po aplikaci SP na světle aklimovaném vzorku (za rovnovážného stavu fotochemických reakcí ve fotosystému II), F_V' – variabilní fluorescence na světle aklimovaném vzorku stanovená z rozdílu $F_M' - F_S$, NPQ – koeficient nefotochemického zhášení fluorescence stanoveného z rozdílu $F_M - F_M'$ normalizovaného na hodnotu F_M' . Rozšíření fotoinhibice vyvolané stresem v jakémkoliv prostředí může být dle Hopkinse (2004) rychle hodnocena měřením poklesu optimálního kvantového výtěžku, který se vypočítá jako

$$\frac{F_M - F_0}{F_M} = \frac{F_V}{F_M} \text{ (Hopkins et al, 2004)}$$

5.2.5 Statistické hodnocení

Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány pomocí StatSoft, Inc. (2001) – STATISTICA Cz (Softwarový systém na analýzu dat), verze 12.0 Cz. Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny analýzou rozptylu vícenásobného třídění a korelační analýzou na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

6 Výsledky

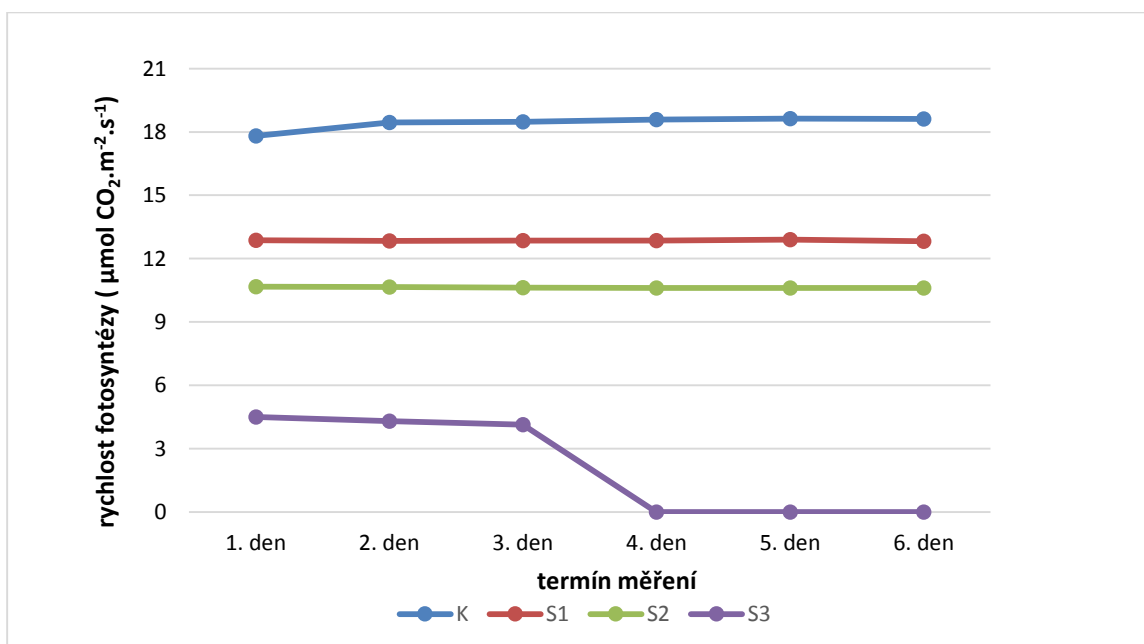
U 3 rostlinných druhů – špenátu setého, šruchy zelné a čtyřboče rozložitě, pěstovaných ve čtyřech variantách pokusu: kontrolní, která byla zalévána vodou bez solné příměsi (KK). Stresovaná varianta se zálivkou solného roztoku o koncentraci 0,15 M NaCl – S1. S2 – stresovaná varianta se zálivkou solného roztoku o koncentraci 0,25 M NaCl. S3 – stresovaná varianta se zálivkou solného roztoku o koncentraci 0,5 M NaCl. U sledovaných druhů rostlin byla sledována rychlost výměny plynů – rychlost fotosyntézy a transpirace měřená infračerveným analyzátozem plynů LCpro+ a fluorescence chlorofylu, která byla měřena fluorimetrem. Z naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy a transpirace byla stanovena hodnota efektivity využití vody (WUE).

Ze získaných výsledků, jak dokládají grafy 1 – 13, vyplývá nejenom rozdílná reakce rostlin na rozdílnou koncentraci zasolení, ale také změny sledovaných charakteristik v rámci jednotlivých variant pokusu.

6.1 Rychlost fotosyntézy

První měřenou charakteristikou rychlosti výměny plynů byla okamžitá rychlost fotosyntézy. Naměřené hodnoty v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin jsou uvedeny v grafech 1 – 4.

Graf 1: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) špenátu setého



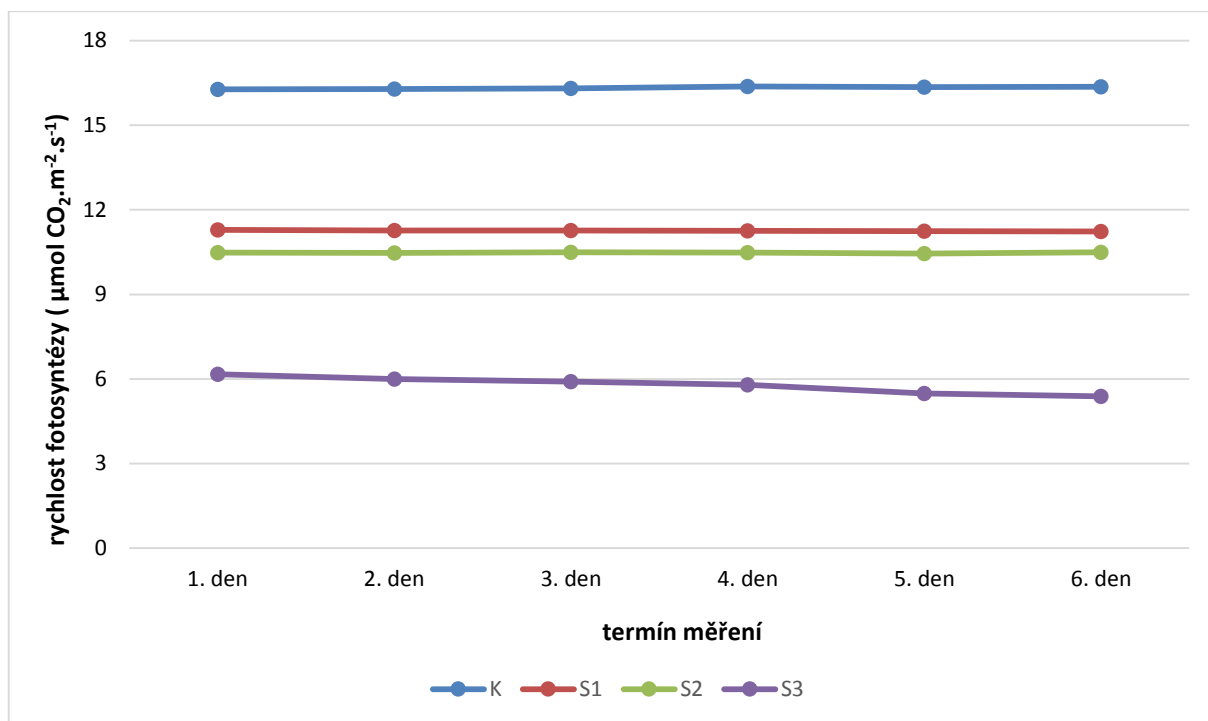
Graf 1 popisuje změny rychlosti fotosyntézy rostlin špenátu. Z uvedeného grafu vyplývá shodný trend v postupném nárůstu rychlosti fotosyntézy u kontrolních rostlin a rostlin stresovaných u variant S1 a S2. Pouze u varianty stresované s nejvyšší koncentrací zasolení (0,5 M) byl zaznamenán výrazný pokles rychlosti fotosyntézy špenátu a následné uhynutí rostlin ve druhé polovině pokusu.

Rychlost fotosyntézy se pohybovala v rozpětí hodnot $4,5 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. den, varianta S3) až $18,6 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (5. den, varianta K), přičemž vyšší rychlost fotosyntézy byla zaznamenána u rostlin kontrolních. Rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin špenátu, jak dokládá graf 1, byla nejnižší na počátku sledovaného období ($17,81 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a naopak nejvyšší na jeho konci ($18,61 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). U kontrolních rostlin špenátu rychlost fotosyntézy téměř lineárně narůstala. Nejvyšší nárůst rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán mezi 1. a 2. měřením ($18,41 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), kdy zjištěný rozdíl činil $0,6 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Oproti tomu u varianty S3, s nejvyšší použitou koncentrací soli (0,5 M) byl zaznamenán průkazný pokles rychlosti fotosyntézy, neboť na začátku pokusu byla rychlost fotosyntézy $4,5 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a 4. termín měření ($0 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Jedná se o 100% pokles. U 5. a 6. měření již nebylo možné uskutečnit měření z důvodů odumření rostlinného materiálu.

Z grafu 1 dále vyplývá, téměř obdobný trend v nárůstu rychlosti fotosyntézy stresovaných rostlin špenátu v rámci variant S1 (0,15 M) a S2 (0,25 M). Rychlost fotosyntézy u těchto variant narůstala pouze pozvolna, přičemž vyšší rychlost fotosyntézy byla zaznamenána u varianty S1. U této varianty byl naměřený interval hodnot fotosyntézy od $12,82 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. den) do $18,92$ (5. den). Mírný pokles rychlosti fotosyntézy byl u této varianty zaznamenán 3. den. V porovnání s předcházejícím odběrem se jedná o pokles (0,29 %). V případě rostlin pěstovaných ve variantě S2 je možné konstatovat, že zde byla rychlost fotosyntézy ovlivněna již zvýšenou koncentrací soli v porovnání s variantami kontrola a S1. U rostlin špenátu pěstovaných v koncentraci soli 0,25 M byla nejnižší rychlost fotosyntézy zaznamenána 6. den ($10,60 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a naopak nejvyšší $10,67 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. den).

Graf 2: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u šruchy zelné



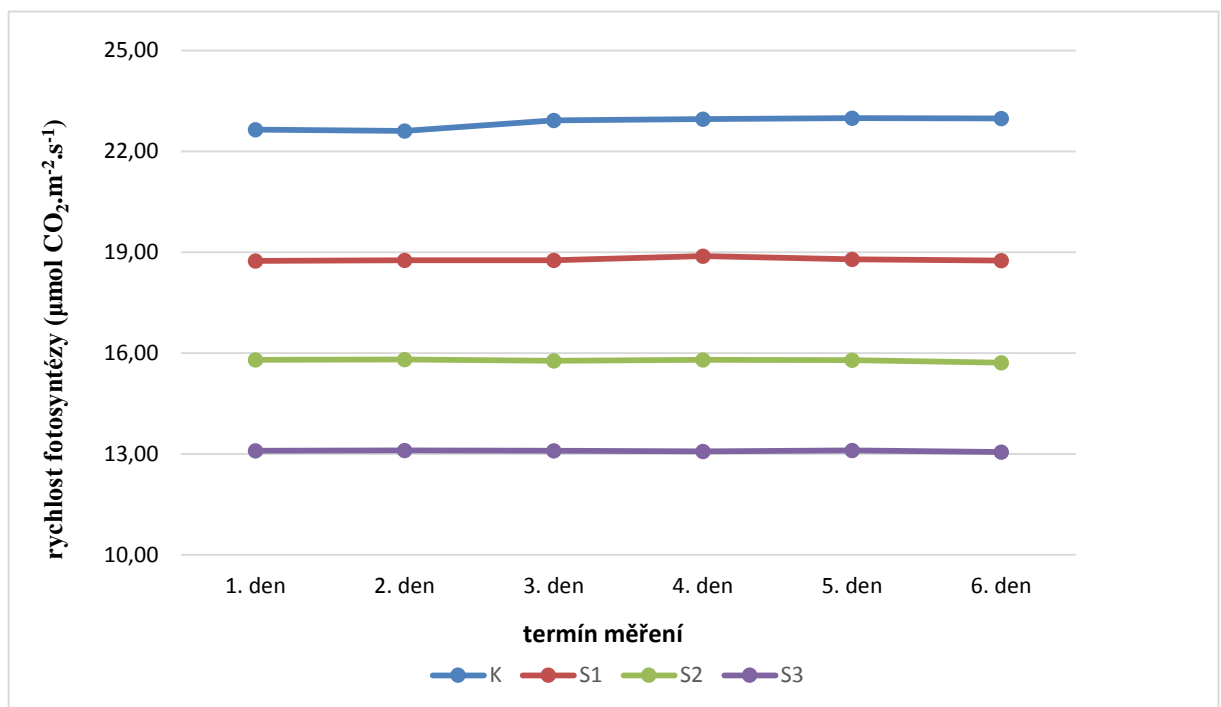
V grafu 2 jsou uvedeny změny rychlosti fotosyntézy rostlin šruchy zelné v rámci pokusných variant a ontogenetického vývoje rostlin. U všech sledovaných variant pokusu byla rychlost fotosyntézy vyrovnaná a relativně stabilní. Pouze u stresované varianty S3 (0,5 M) byl zaznamenán nejvyšší pokles rychlosti fotosyntézy, kdy její hodnota činila $5,39 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. den pokusu) a v porovnání s počátečním měřením byla tato hodnota nižší o $0,78 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost fotosyntézy kolísala v rozmezí hodnot od $16,38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (4. den, varianta K) do $5,39 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. den, varianta S3).

Jak dále dokládá graf 2, nejnižší hodnoty rychlosti fotosyntézy kontrolních rostlin šruchy byly zjištěny na začátku měření ($16,28 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 1. a 2. den měření) naopak nejvyšší rychlost fotosyntézy byla zjištěna 4. termín měření ($16,38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Uvedené rozdíly v rychlosti fotosyntézy mezi těmito termíny měření byly statisticky průkazné. Na konci sledovaného období byl naopak zjištěn pokles rychlosti fotosyntézy o 0,1 % v porovnání s 5. dnem měření ($5,48 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). U stresovaných variant S1 (0,15 M) a S2 (0,25 M) byl zaznamenán neprůkazný rozdíl hodnot rychlosti fotosyntézy, kdy u varianty S1 byl zaznamenán minimální pokles hodnot rychlosti fotosyntézy od $11,29 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. den měření) po

11,23 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. den měření). Naopak u stresované varianty S2 byly po dobu 4 dnů hodnoty rychlosti fotosyntézy v intervalu od 10,48 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (2. den měření) do 10,49 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1., 3. a 4. den měření) a následující den byl zaznamenán mírný, neprůkazný pokles o 0,04 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Poslední den stresu byl u stresované varianty S2 zjištěn nárůst hodnot rychlosti fotosyntézy o 0,5 % v porovnání s předchozím dnem pokusu (10,45 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Sledované rostliny v rámci stresované varianty S3 (0,5 M) vykazovaly nejnižší rychlost fotosyntézy ve srovnání s ostatními variantami. Od začátku měření byl zaznamenán průkazný mírně klesající trend v rozmezí hodnot od 6,17 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. den) do 5,79 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (4. den). Následující dny byl pokles hodnot rychlosti fotosyntézy strmější až o 0,41 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. den) v porovnání se 4. dnem měření. Mezi prvním a posledním termínem měření byly zjištěny průkazné diference.

Graf 3: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u čtyřboče rozložitě

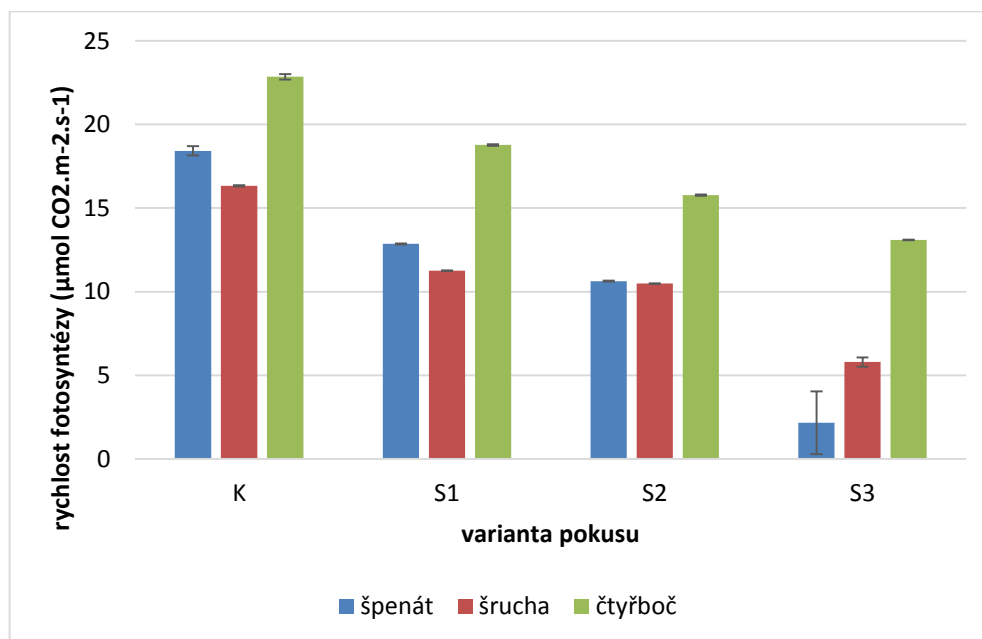


Graf 3 popisuje rychlosti fotosyntézy u čtyřboče rozložitě. Z grafu je zřejmý relativně vzrůstající trend u kontrolní varianty, který je nejvíce zřetelný 2. den měření (22,61 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Hodnoty rychlosti fotosyntézy se pohybovaly v intervalu

od 22,61 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ do 22,99 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (5. den). U stresované varianty S1 (0,15 M) byl zjištěn relativně vyrovnaný trend, kdy až 5. den stresu byl zjištěn maximální nárůst hodnot rychlosti fotosyntézy (18,88 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Z grafu 3 je dále patrný velmi podobný trend u stresovaných variant S2 (0,25 M) a S3 (0,5 M), kde rostliny v rámci varianty S3 měly nejnižší hodnoty rychlosti fotosyntézy v porovnání s ostatními variantami. Pokles rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán u varianty S2 během dvou dnů a to 3. den pokusu (15,77 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a 6. den pokusu (15,71 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). V porovnání s odběrem z 5. dne, kdy rychlost fotosyntézy dosahovala hodnot 15,80 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jde o nárůst o 0,2 a 0,6 %. U rostlin pěstovaných ve stresované variantě S3 byl zaznamenán statisticky průkazný pokles hodnot rychlosti fotosyntézy v intervalu od 13,10 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. den měření) do 13,06 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. den měření).

Graf 4: Vliv varianty pokusu na rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u sledovaných druhů rostlin



V grafu 4 je zaznamenán vliv varianty pokusu a testovaných rostlin na rychlost fotosyntézy. Z uvedeného grafu vyplývá, že nejvyšší průměrnou hodnotu rychlosti fotosyntézy u všech variant měla čtyřboč (22,85 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, kontrolní varianta) a naopak nejnižší šrucha (10,48 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, varianta S2). Rostliny špenátu pěstované ve variantě S3 (0,5 M)

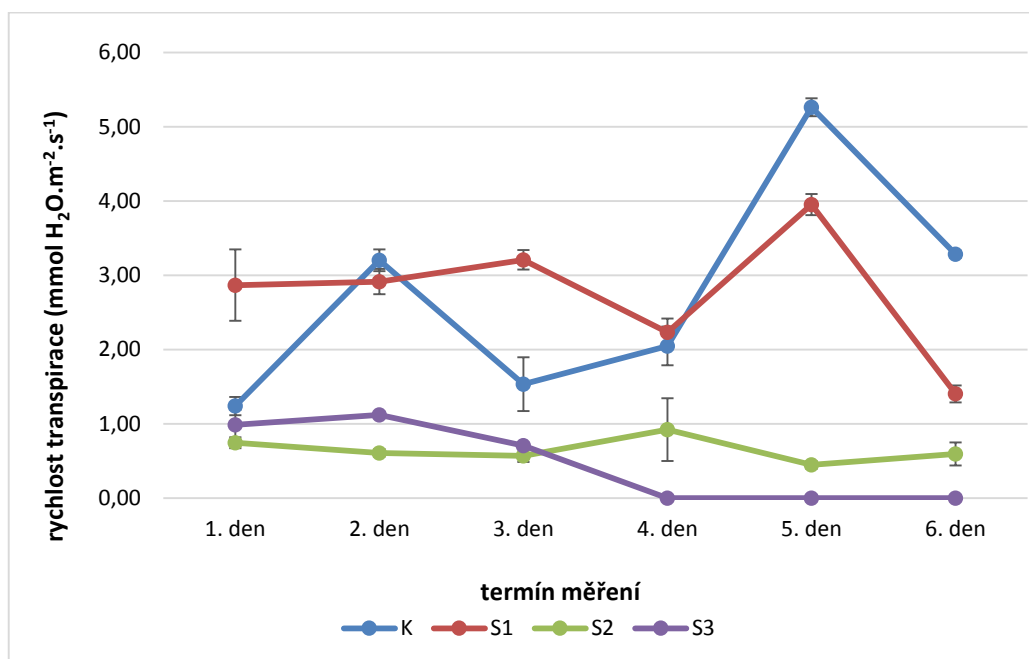
vykazovaly nejnižší hodnotu fotosyntézy ($2,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) v porovnání s ostatními sledovanými druhy v rámci varianty. U kontrolních rostlin byla nejnižší průměrná rychlost fotosyntézy ve výši $16,32 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (šruha) a nejvyšší $22,85 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (čtyřboč). Výrazný pokles průměrné rychlosti fotosyntézy u sledovaných druhů rostlin byl zaznamenán u varianty S3. V případě této varianty byla rychlost fotosyntézy v rozmezí hodnot od $2,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (špenát) do $13,09 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (čtyřboč).

Z uvedeného grafu je dále patrné, že na stres zasolením nejcitlivěji reagovaly rostliny špenátu. U špenátu byla rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin $16,42 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ale u stresovaných zasolením u všech pokusných variant byl zaznamenán průkazný pokles fotosyntézy. Nejvýraznější pokles byl zjištěn u varianty S3, kdy průměrná rychlost fotosyntézy byla $2,16 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Pokles rychlosti fotosyntézy u stresované varianty v porovnání s kontrolou byl 88,3 %. Naopak jako tolerantní vůči zasolení se jeví čtyřboč. Rozdíl mezi kontrolními a stresovanými rostlinami byl v případě čtyřboče 42,8 %, neboť u kontrolních rostlin byla fotosyntéza $22,85 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a u stresovaných rostlin $13,09 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (S3). Střední odolnost vůči zasolení vykazují rostliny šruchy.

6.2 Rychlost transpirace

Další měřenou charakteristikou rychlosti výměny plynů byla okamžitá rychlost transpirace. Naměřené hodnoty v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin jsou uvedeny v grafech 5 – 8.

Graf 5: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) špenátu setého

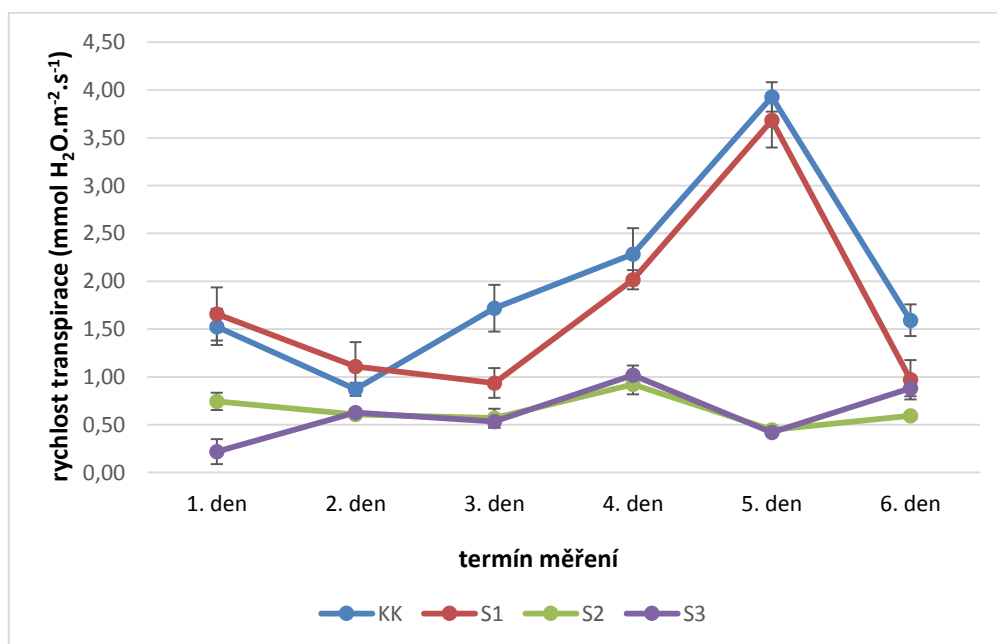


V grafu 5 je zaznamenána změna rychlosti transpirace špenátu setého závislosti na variantě pokusu. Z uvedeného grafu jsou patrné rozdíly mezi variantou kontrolní a variantami stresovanými. U kontrolní varianty byla nejnižší hodnota transpirace naměřena 1. termín měření – $1,24 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, naopak nejvyšší hodnota transpirace byla zaznamenána 5. termín měření – $5,26 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Ve 3. termínu měření byl zaznamenán pokles rychlosti transpirace na $1,53 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, který byl v následujícím termínu měření vystřídán nárůstem transpirace na hodnotu $2,05 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost transpirace špenátu se zvyšovala až do 5. dne ($5,26 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Na konci sledovaného období se rychlost transpirace kontrolních rostlin v porovnání s předcházejícím termínem měření průkazně snížila o $1,98 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U první stresované varianty (S1) byla nejnižší hodnota transpirace zjištěna poslední den pokusu – $1,4 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, zatímco nejvyšší naměřená hodnota činila $3,95 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (5. den). U této varianty se nejprve rychlost transpirace zvyšovala do 3.

termínu měření, kdy v tomto období byla rychlost transpirace v rozpětí hodnot od 1,24 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (1. termín) až 1,53 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (3. termín). V následujícím měření se transpirace průkazně snížila v porovnání s předcházejícím měřením o 52,2 %.

Dále je z grafu 5 patrné, že u stresované varianty S2 (0,25 M) se hodnoty rychlosti transpirace pohybovaly v intervalu od 0,45 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (5. den měření) do 0,92 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (4. den měření). Na počátku sledovaného období byla rychlost transpirace relativně vyrovnaná, protože naměřené hodnoty byly v rozpětí od 0,74 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ do 0,57 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (3. den). Poté se hodnoty transpirace průkazně zvýšily na hodnotu 0,92 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Tento nárůst byl vystřídán průkazným poklesem naměřených hodnot až do konce sledovaného období (0,59 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹). Hodnoty transpirace špenátu setého pěstovaného ve stresované variantě S3 (0,5 M) se pohybovaly v rozpětí hodnot od 0 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (4. den měření), v tomto období pokusné rostliny uhynuly, do 1,12 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (2. den měření), viz graf 5.

Graf 6: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na rychlost transpirace (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) šruchy zelné

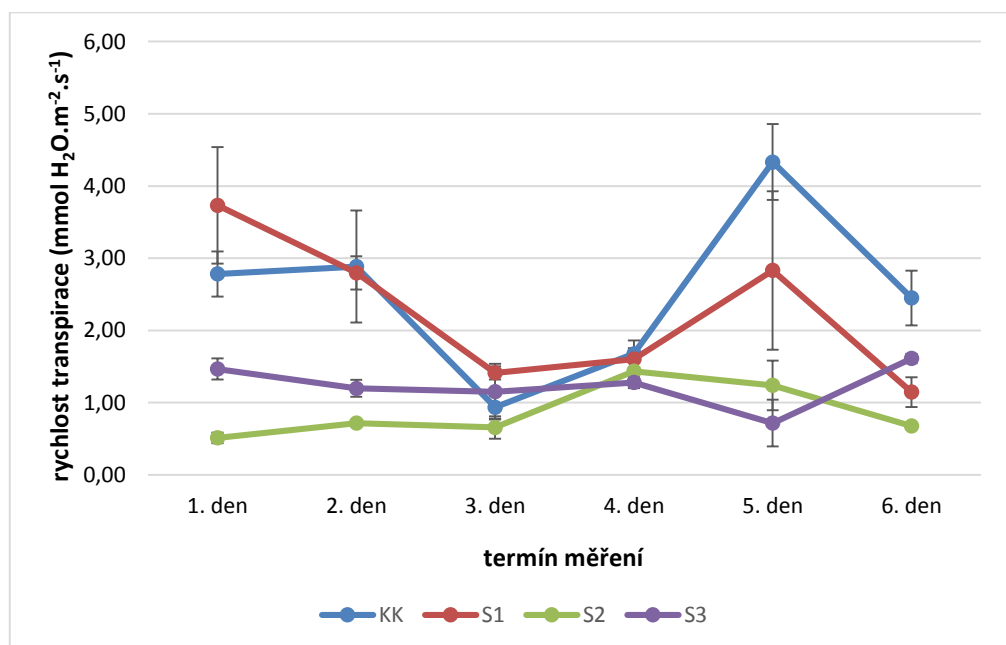


V grafu 6 jsou zaznamenány změny hodnot transpirace u šruchy zelné v závislosti na ontogenetickém vývoji a variantě pokusu. Z uvedeného grafu je patrné, že kontrolní varianta a stresovaná varianta S1 (0,15 M) měly podobný trend. Analogický trend byl zaznamenán také u variant S2 (0,25 M) a S3 (0,5 M) v rozpětí od 2. do 5. dne pokusu. Nejnižší hodnota

transpirace $0,87 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ byla naměřena u kontrolní varianty 2. den měření, poté se rychlost transpirace kontrolních rostlin zvyšovala až na hodnotu $3,93 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, která byla zjištěna 5. den měření. Obdobně jako u kontrolních rostlin, tak u varianty S1 byla stejný den měření naměřena maximální hodnota transpirace ($3,68 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Nejnižší naměřená rychlost transpirace $0,94 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ u stresované varianty S1 byla zjištěna 3. den měření. Následně se u stresované varianty S1 rychlost transpirace zvyšovala až do 5. dne pokusu ($3,68 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Poté transpirace průkazně poklesla na 73,6 % (6. den měření) v porovnání s předchozím dnem pokusu, jak dokumentuje graf 6.

U rostlin pěstovaných ve variantě S2 (0,25 M) byl nárůst rychlosti transpirace šuchy pouze pozvolný, neboť naměřené hodnoty transpirace byly od $0,57 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (3. den) do $0,74 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (počátek pokusu). 4. den měření dosáhla rychlost transpirace svého maxima – $0,92 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejnižší hodnota transpirace $0,45 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ byla zjištěna následující den měření. Poslední den pokusu se rychlost transpirace zvýšila u varianty S2 o $0,09 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ve srovnání s 5. termínem pokusu. Rostliny šruchy ze stresované varianty S3 (0,5 M) vykazují pozvolný nárůst transpirace do 4. dne ($1,02 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), kdy se zvýšila z hodnoty $0,22 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, který byla naměřena 1. den měření – $0,22 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a následující den klesla hodnota o 58,8 % a poslední den vzrostla rychlost transpirace na hodnotu $0,88 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, viz graf 6.

Graf 7: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) čtyřboče rozkladité

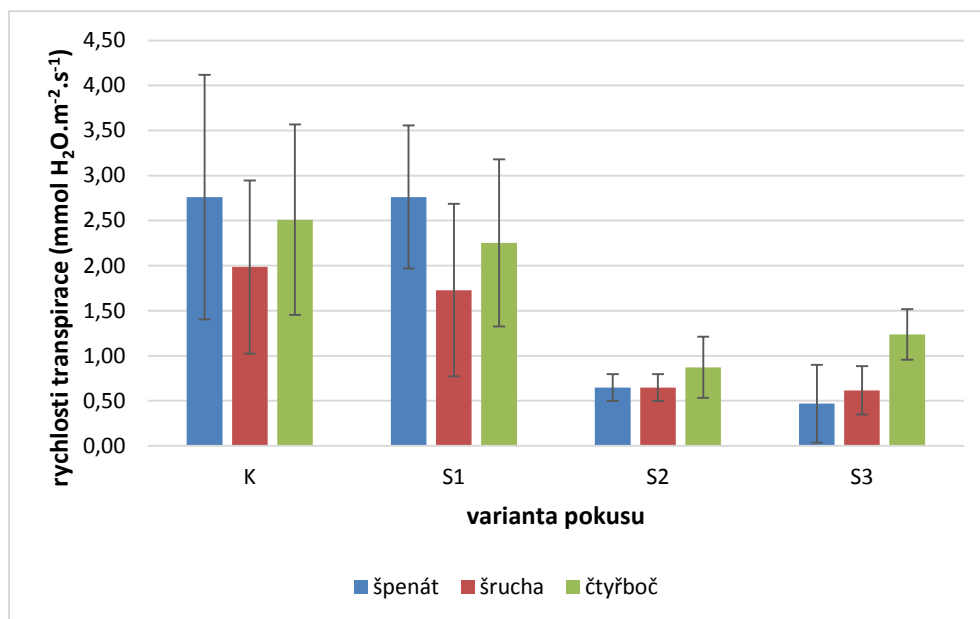


Graf 7 porovnává rychlost transpiraci v rámci 4 variant (kontrolní a 3 stresových) u čtyřboče rozložitě. Rostliny čtyřboče z kontrolních podmínek vykazují po 2. dni měření průkazný pokles hodnot rychlosti transpirace na hodnotu $0,94 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (3. den) z hodnoty $2,89 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (2. den). Tento pokles byl vystřídán nárůstem transpirace až do 5. dne, kdy v tomto termínu měření dosáhla transpirace výše $4,33 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Uvedený rozdíl rychlosti transpirace $3,39 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (mezi 3. a 5. dnem pokusu), byl statisticky průkazný. Rostliny pěstované ve variantě S1 (0,15 M) vykazují nejvyšší hodnotu transpirace na počátku pokusu ($3,73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), poté rychlost transpirace čtyřboče klesá až na hodnotu $1,41 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (3. den měření). Uvedený pokles je statisticky průkazný. Pokles rychlosti transpirace byl opět vystřídán nárůstem, který trval až do 5. dne ($2,83 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). V tomto termínu byla naměřena rychlost transpirace ve výši $2,83 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z grafu 7 je dále patrné, že od čtvrtého dne má rychlost transpirace u sledovaných rostlin v rámci varianty S1 podobný trend jako u varianty K. Poslední den měření klesla hodnota rychlosti transpirace o 59,4 % v porovnání s 5. termínem pokusu ($2,83 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). V případě rostlin pěstovaných ve variantě S2 (0,25 M) je možné konstatovat, že rychlost transpirace narůstala od počátku sledovaného období ($0,51 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) až do 4. dne pokusu – $1,43 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento nárůst transpirace je opět vystřídán postupným, neprůkazným, poklesem transpirace až na hodnotu $0,68 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (6. den měření).

Rychlosti transpirace u rostlin z varianty S3 se zvyšovala postupně a pozvolna, kdy na počátku pokusu byla $1,47 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a ve 4. dnu měření $1,28 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 5. den nastává pokles rychlosti transpirace na $0,72 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, ale an konci pokusu se opět transpirace zvýšila na hodnotu $1,61 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Statisticky průkazný rozdíl v transpiraci byl zjištěn mezi minimální ($0,72 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a maximální hodnotou u varianty S3 činil $0,89 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jak dokumentuje graf 7.

Graf 8: Vliv varianty pokusu na rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u sledovaných druhů rostlin



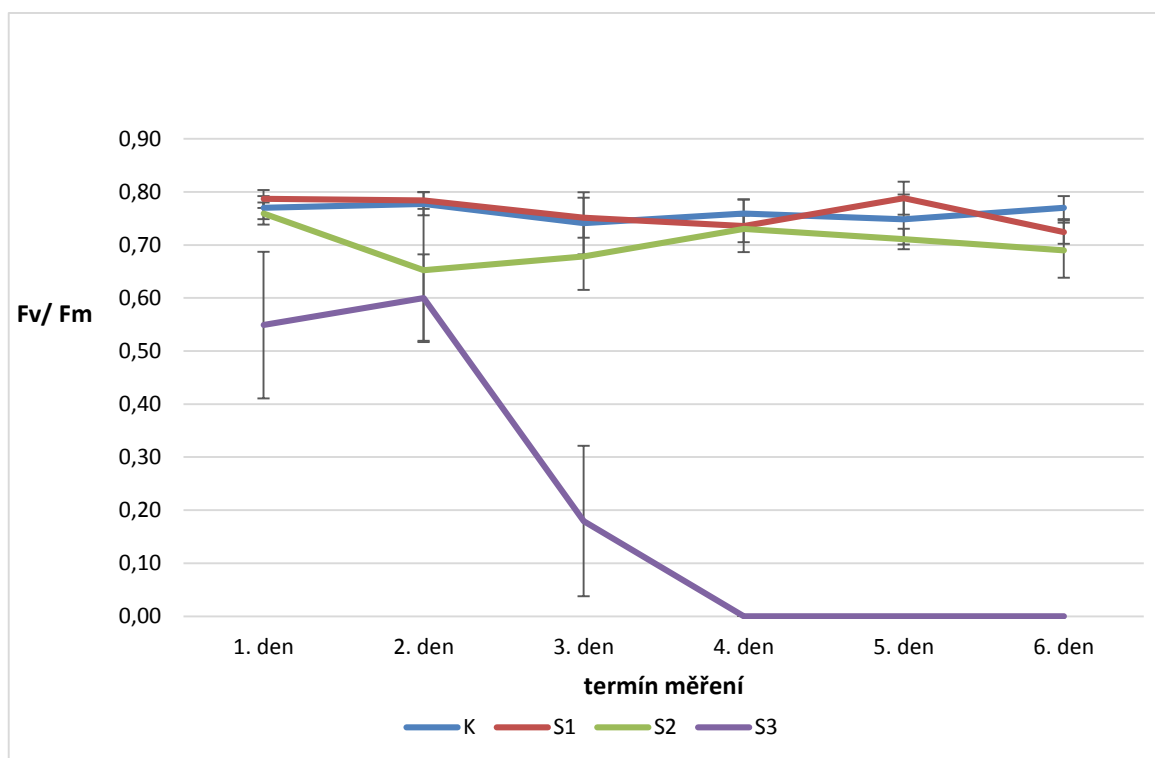
V grafu 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty rychlostí transpirace u třech pokusných druhů rostlin v závislosti na variantě pokusu. Z grafu 8 je patrné, že nejvyšší průměrná rychlost transpirace – $2,76 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ byla zjištěna u dvou variant špenátu (K, S1). Naopak nejnižší hodnota transpirace – $0,47 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ byla změřena, u stresované varianty S3 (0,5 M), také u špenátu. U kontrolní varianty vykazovala nejnižší rychlost transpirace šrucha – $1,99 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a naopak nejvyšší špenát – $2,76 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Stresovaná varianta S2 vykazuje shodné průměrné hodnoty rychlosti transpirace u špenátu i u šruchy – $0,65 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Průměrná hodnota transpirace u čtyřboče v rámci varianty S2 je ve srovnání se špenátem a šruchy o $0,22 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ vyšší. U varianty S3 byla zjištěna nejvyšší průměrná hodnota transpirace u čtyřboče ($1,24 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Z grafu 8 dále vyplývá rozdílná reakce sledovaných rostlin na stres zasolením, kdy je možné pozorovat pokles rychlosti transpirace v závislosti na koncentraci zasolení u špenátu (rozdíl $0,13 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ mezi variantami S2 a S3) a šruchy (rozdíl $0,03 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ mezi variantami S2 a S3). Naopak čtyřboč vykazuje u varianty S3 nárůst rychlosti transpirace o $0,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ve srovnání s variantou S2. Z uvedeného grafu vyplývá, že sledované rostliny citlivěji reagují na zasolení o koncentraci 0,25 M v porovnání s ostatními stresovanými variantami. Na stres zasolením citlivěji reagují rostliny špenátu, kdy rozdíl mezi kontrolními rostlinami a variantou S3 činil $2,29 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Naopak jako tolerantní vůči zasolení se jeví rostliny čtyřboče, u nichž rozdíl mezi těmito dvěma variantami činil 56,4 %.

6.3 Fluorescence chlorofylu

Poslední sledovanou charakteristikou byla fluorescence chlorofylu. Hodnota fluorescence byla vypočtena jako poměr F_v/F_m a udává kvantový výtěžek aktivity fotosystému II (PSII).

Graf 9: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na fluorescenci chlorofylu (F_v/F_m) u špenátu setého



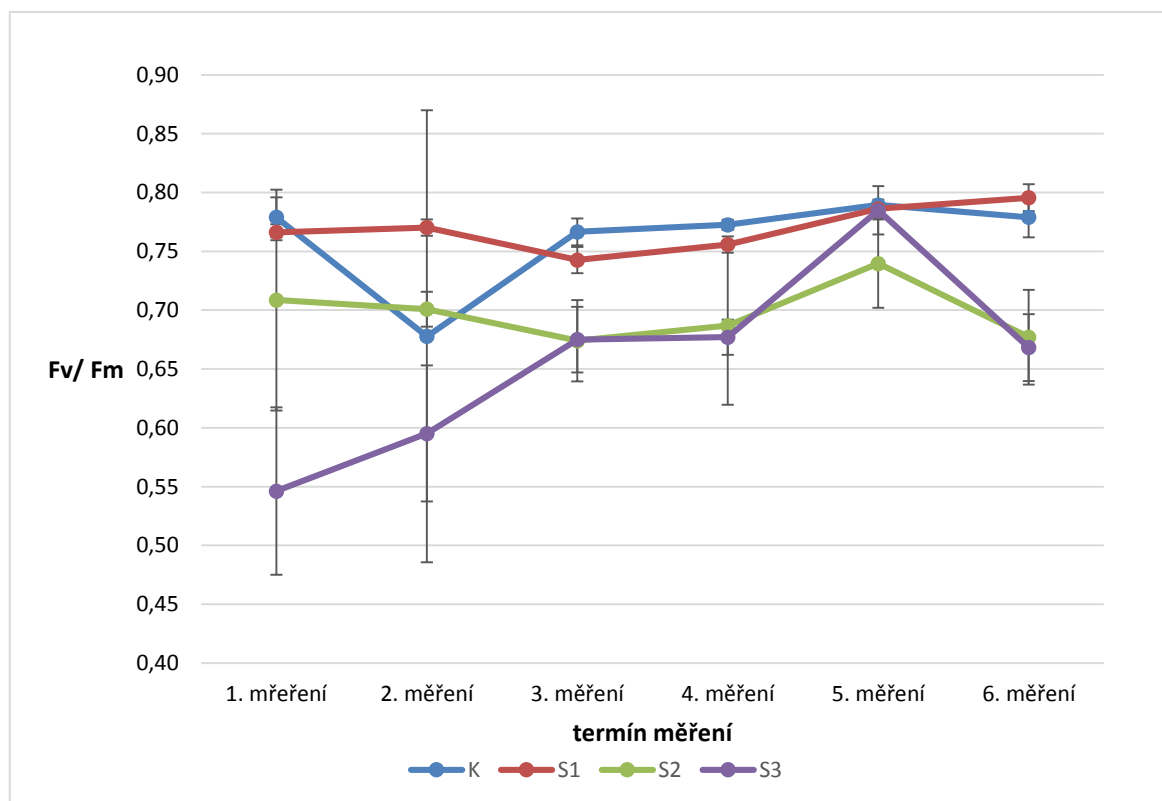
Graf 9 popisuje fluorescenci chlorofylu u špenátu. Z grafu vyplývá obdobný trend u kontrolní varianty a stresované varianty S1 (0,15 M). U stresované varianty S3 (0,5 M) byly naměřeny nejnižší hodnoty, kdy po 4. dni došlo k úhynu rostlin. U této varianty byl interval hodnot fluorescence od 0 do 0,6.

Hodnoty aktivity fotosystému II kolísaly u kontrolní varianty v rozmezí od 0,74 (3. den) do 0,78 (2. den). Naopak u stresované varianty S1 byl zaznamenán pokles aktivity fotosystému II z 1. dne o 8,9 % ve srovnání s posledním dnem (0,72). Nejvyšší hodnota aktivity fotosystému II u rostlin špenátu z varianty S1 byla zjištěna 1. a 5. den měření – 0,79. Rozdíl mezi maximální (0,79) a minimální hodnotou (0,72) u varianty S1, je statisticky významný. U fluorescence chlorofylů špenátu pěstovaného ve stresované variantě S2 (0,25 M) byl zaznamenán průkazný

pokles hodnot, z hodnoty 0,76 (1. den) až na 0,65 (2. den). V následujícím dni byl zjištěn nárůst aktivity fotosystému o 11 % (3. den) v porovnání s 2. dnem (0,65). Na konci pokusu byl zaznamenán průkazný pokles hodnoty aktivity fotosystému II na hodnotu 0,69 v porovnání s 1. dnem měření (0,76).

Z grafu 9 dále vyplývá pokles aktivity PSII u rostlin špenátu pěstovaného ve variantě S3 (0,5 M). Na počátku sledovaného období byla hodnota fluorescence – 0,55 a mírný nárůst byl zaznamenán následující den měření, kdy poměr mezi F_v/F_m byl 0,6. Ve druhé polovině pokusu (od 4. dne) již nebylo uvedenou charakteristiku možné v rámci této varianty změřit, neboť rostliny špenátu uhynuly.

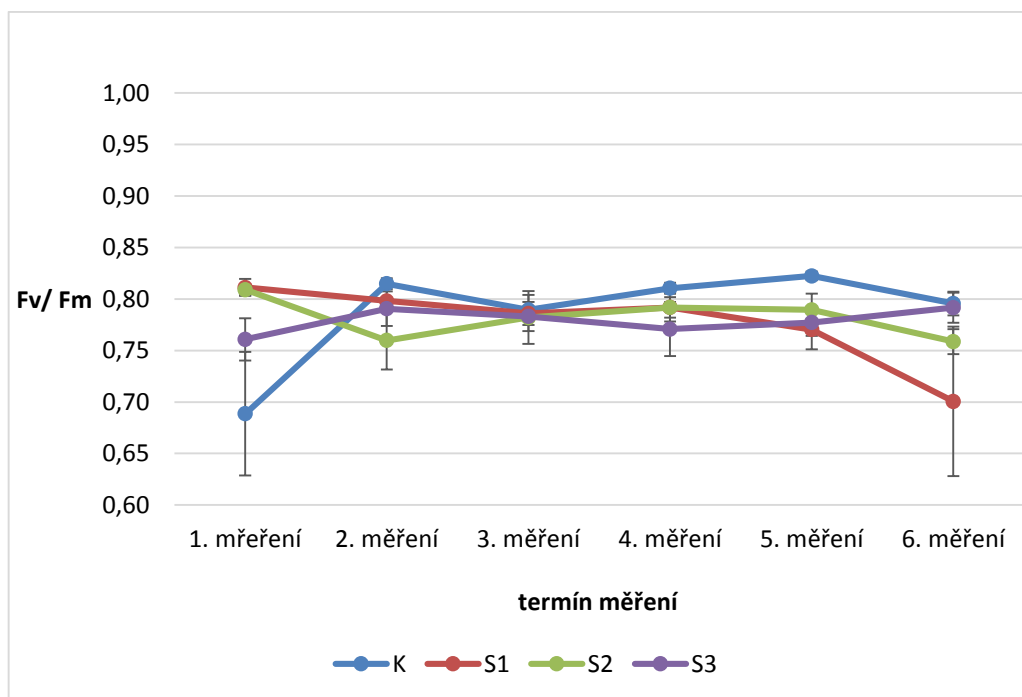
Graf 10: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na fluorescenci chlorofylu (F_v/F_m) u šručky zelné



Graf 10 znázorňuje aktivitu fotosystému II u šručky zelné. V grafu jsou patrné rozdíly mezi kontrolní variantou a stresovanými variantami S2 (0,25 M) a S3 (0,5 M). U kontrolní varianty nastal po 1. dnu měření pokles hodnot o 0,1 (2. den) na hodnotu 0,68. Nejvyšší hodnota aktivity PSII u kontrolní varianty byla změřena 5. den – 0,79 a poté do 6. dne byl zaznamenán neprůkazný pokles hodnot o 0,01. Zjištěné diference mezi maximální (0,79, 5. den) a minimální

(0,68, 2. den) hodnotou fluorescence pigmentů byly neprůkazné. Aktivita fotosystému II se u rostlin šruchy ve stresované variantě S1 (0,15 M) pohybovala v intervalu od 0,74 (5. den) a do 0,8 (6. den). Na konci pokusu činila hodnota transportu elektronů 0,8, zjištěné u rostlin pěstovaných v zasoleném prostředí o koncentraci 0,15 M, což je o 2,5 % více než u kontrolní varianty. V rámci měření aktivity PS II rostlin šruchy z varianty S2 (0,25 M) je možné konstatovat, že aktivita pigmentů se snižovala mezi 1. dnem měření (0,77) až do 3. dne měření (0,74). Uvedený rozdíl (0,03) byl statisticky neprůkazný. Na počátku druhé poloviny měření (0,69, 4. den) byl zaznamenán nárůst fluorescence chlorofylu šruchy pěstované ve variantě S2 na hodnotu 0,74. 5. den měření. Aktivita PSII rostlin stresovaných variantou S3 se pohybovala v rozpětí hodnot od 0,55 (1. den měření) do 0,78 (5. den měření). Po 4. dni dosáhla aktivita fotosystému II svého maxima – 0,78 (5. den), viz graf 10.

Graf 11: Vliv ontogenetického vývoje a varianty pokusu na fluorescenci chlorofylu (Fv/Fm) u čtyřboče rozložitě

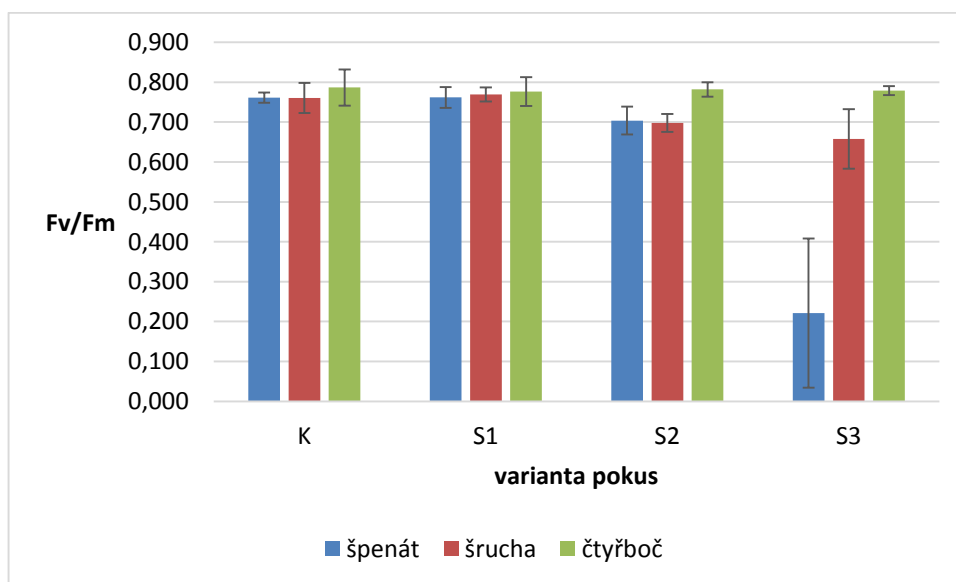


Vliv zasolení na aktivitu fotosystému II u čtyřboče je dokumentován v grafu 12. Z tohoto grafu je patrné, že naměřené hodnoty mezi 2. – 5. dnem stresu měly velmi podobné hodnoty u všech variant. Nejstálější hodnoty byly zaznamenány 3. den v rozmezí od 0,78 (varianty S2, S3) do 0,79 (varianty K, S1), u nichž nebyla dokázána statistická průkaznost. Nejnižší hodnota aktivity PSII u kontrolní varianty činila 0,69 a nejvyšší aktivita fluorescence pigmentů – 0,82 (5. den) byla zaznamenána také u kontrolní varianty. Po 3. dni (0,79) hodnota aktivity transportu elektronů narůstala až do 5. dne o 3,6 %.

Interval hodnot u stresované varianty S1 (0,15 M) se pohyboval v rozpětí od 0,7 (konec pokusu) do 0,81 (začátek pokusu). Stresovaná varianta S1 vykazovala klesající charakter. Počáteční den byla naměřena shodná hodnota aktivity PSII – 0,81, stejně jako u stresované varianty S2 (0,25 M). Rozdíl 0,11 mezi minimální (0,7, 6. den) a maximální (0,81, 1. den) hodnotou je statisticky významný. Stresovaná varianta S2 vykazuje z 1. dne měření (0,81) pokles o 6,2 % v termínu následujícím. Následující dny byl zaznamenán nárůst hodnot aktivity chlorofylového pigmentu až na 0,79 (4., 5. den), v porovnání s 2. dnem činil nárůst hodnot aktivity PSII 0,03.

Dále z grafu 12 vyplývá, že poslední den pokusu byl zaznamenán pokles o 0,03 ve srovnání s 5. dnem pokusu (0,79). Statistická průkaznost byla zjištěna u stresované varianty S2 mezi minimální (0,81, 1. den) a maximální hodnotou (0,76, 6. den). Stresovaná varianta S3 (0,5 M) vykazovala stálý trend, neboť hodnoty fluorescence se pohybovaly v rozmezí hodnot od 0,76 (1. den měření) do 0,79 (6. den měření). Dá se konstatovat, že došlo k mírnému nárůstu aktivity fotosystému II, s poklesem hodnot z 0,79 (2. den) na 0,77 (4. den, avšak rozdíly jsou statisticky neprůkazné.

Graf 12: Vliv varianty pokusu na fluorescenci chlorofylu (Fv/Fm) u sledovaných druhů rostlin



Graf 13 popisuje vliv variant pokusu a testovaných rostlin na aktivitu fotosystému II. Z grafu 13 vyplývá, že nejvyšší průměrné hodnoty u všech variant byly zaznamenány u čtyřboče. Na druhou stranu nejnižší průměrné hodnoty byly u všech variant různé v rámci šruchy a špenátu. U kontrolní varianty byly nejvyšší průměrné hodnoty změřeny u čtyřboče –

0,787. Nejnižší průměrné hodnoty fluorescence pigmentů u špenátu a šruchy činily 0,761 (kontrolní varianta). Diference průměrných hodnot aktivity PSII u kontrolní varianty v rámci všech sledovaných rostlin byla neprůkazná. U sledovaných rostlin v rámci stresované varianty S1 (0,15 M) se nejnižší průměrná hodnota aktivity fotosystému II pohybovaly ve výši 0,762 (špenát) a nejvyšší činila 0,776 (čtyřboč). Rovněž jako u kontrolní varianty, tak i u varianty S1 nebyla prokázána statistická průkaznost.

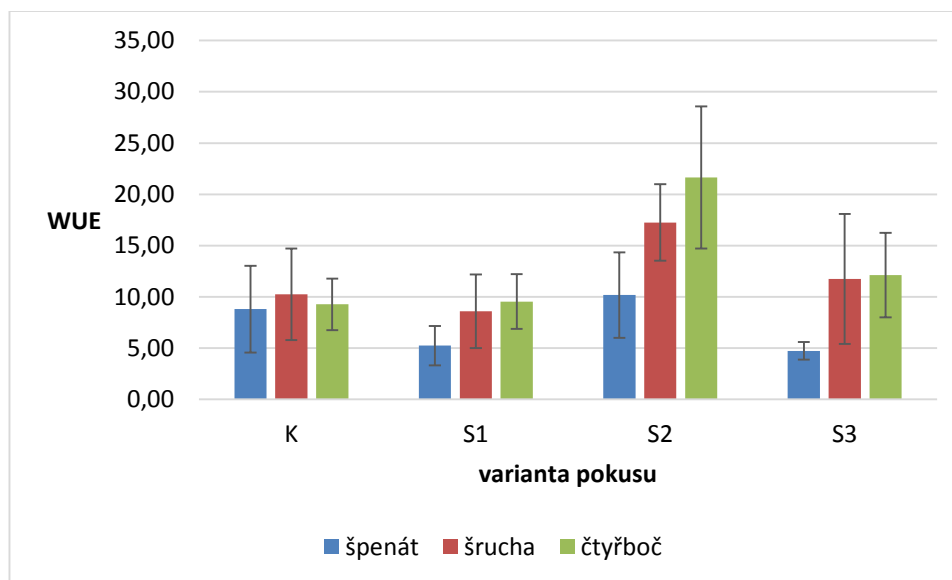
Z grafu 13 dále vyplývá, že na stres nejcitlivěji reagovaly rostliny špenátu. U stresované varianty S3 (0,5 M) byl zaznamenán výrazný pokles průměrné aktivity PSII ve srovnání s kontrolní variantou o 0,54. Nejvyšší hodnota u čtyřboče byla zjištěna u stresové varianty S2, kde tato hodnota činila 0,782. Nepatrný rozdíl v rámci varianty S2 mezi průměrnými hodnotami u šruchy (0,698) a špenátu (0,704). Statisticky průkazné rozdíly byly zjištěny v rámci varianty S2 mezi hodnotami čtyřboče (0,782) a ostatních druhů listové zeleniny. Stresovaná varianta S3 (0,5 M) vykazuje nejvyšší rozdíly ve fluorescenci pigmentů mezi jednotlivými sledovanými druhy rostlinných druhů listové zeleniny.

Z grafu 13 dále vyplývá, že nejnižší průměrná hodnota v rámci všech variant, která byla zjištěna u špenátu – 0,221, toto bylo také způsobeno odumřením rostlin ve druhé polovině pokusu. Nejvyšší hodnota v rámci varianty S3 byla naměřena u čtyřboče – 0,779. Čtyřboč se jeví jako tolerantní rostlina vůči zasolení, jelikož pokles průměrné hodnoty činil z 0,787 (varianta K) na 0,776 (varianta S1). Naopak nejnižší toleranci vůči zasolení vykazuje špenát, jehož rozdíl mezi kontrolními (0,761) a stresovanými rostlinami (0,221, S3) činil 71 %.

6.4 Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody byla vypočítána jako podíl rychlostí fotosyntézy a transpirace.

Graf 13. Vliv varianty pokusu a druhu rostlin na efektivitu využití vody (WUE)



V grafu 13 je uveden vliv zasolení na efektivitu využití vody u sledovaných druhů rostlin. Z uvedeného grafu vyplývá rozdílná reakce sledovaných druhů rostlina na zasolení. Nejcitlivěji na zasolení reaguje špenát a naopak jako tolerantní se jeví čtyřboč. U rostlin špenátu byla nejvyšší hodnota WUE vypočtena u stresované varianty S2 ($10,18 \cdot 10^{-3}$) a naopak nejnižší u varianty S3 ($4,73 \cdot 10^{-3}$). Jedná se tedy o 46,2% snížení ve srovnání s kontrolou. U rostlin čtyřboče byla nejvyšší hodnota WUE zjištěna u varianty S2 ($21,65 \cdot 10^{-3}$) a naopak nejnižší u kontrolní varianty ($9,24 \cdot 10^{-3}$). V tomto případě bylo snížení ve výši 57,3 %.

Šrucha vykazuje nejvyšší hodnoty WUE u stresované varianty S2 ($17,26 \cdot 10^{-3}$). U varianty S3 (0,5 M) bylo zaznamenáno snížení hodnot WUE u šruchy o 31,9%. Z grafu 13 jsou dále patrné statisticky průkazné difference mezi špenátem ($4,73 \cdot 10^{-3}$) a čtyřbočím ($12,11 \cdot 10^{-3}$) u stresované varianty S3. Pokud hodnotíme vliv varianty na WUE je možné konstatovat, že nejvyšší hodnoty WUE vykazují rostliny ze stresované varianty S2 a naopak nejnižší rostliny z kontrolní varianty. V případě kontrolních rostlin byla nejnižší hodnota WUE zjištěna u špenátu ($8,8 \cdot 10^{-3}$) a naopak nejvyšší u šruchy ($10,25 \cdot 10^{-3}$). U stresované varianty s koncentrací soli 0,25 M se pohybovaly průměrné hodnoty WUE v intervalu hodnot od $10,18 \cdot 10^{-3}$ (špenát) do $21,65 \cdot 10^{-3}$ (čtyřboč), jak je patrné z grafu 13.

7 Diskuse

7.1 Rychlost fotosyntézy

Vlivem zasolení se snižovala rychlost fotosyntézy u všech sledovaných rostlin, kdy nejvyšší průkazný rozdíl byl zjištěn u špenátu, kdy došlo k poklesu z 18,43 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (kontrolní varianta) na 2,16 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (stresovaná varianta S3). Obdobné závěry uvádí také Cheng et al. (2015). Uvedení autoři sledovali vliv zasolení na fyziologické charakteristiky u halofytní rostliny *Tangut nitraria*. Snížení rychlosti fotosyntézy u slunečnice roční v závislosti na zasolení ve své práci uvádějí také Zenga et al. (2014). Podobné výsledky dokládá i He et al. (2014), kteří zjistili průkazný pokles rychlosti fotosyntézy již při koncentraci zasolení 150 mM. Duarte et al. (2014) udávají, že při zvýšení koncentraci soli nad 200 mM nastává konec životního cyklu rostlin. Tento závěr byl potvrzen pouze u špenátu, který byl vystaven zasolení o koncentraci 500 mM.

Průměrná rychlost fotosyntézy se u špenátu snižovala úměrně se zvyšující se koncentrací zasolení – 18,43 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (kontrolní varianta), 12,85 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,15 M), 10,63 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,25 M) a 2,16 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,5 M). Stejně výsledky dokládá i Volpe et al. (2011).

Mimo jiné Duarte et al. (2014) dodávají, že při nedostatečně vyvinuté adaptaci na zasolení dochází k redukci fotosyntézy. Tento údaj byl potvrzen u rostlin špenátu, kdy u něho bylo možné pozorovat statisticky průkazné snížení rychlosti fotosyntézy způsobené zasolením oproti ostatním zkoumaným rostlinným druhům. Průměrná rychlost fotosyntézy u čtyřboče klesala proporcionálně se zvyšující se koncentrací zasolení – 22,85 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (kontrolní varianta), 18,78 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,15 M), 15,78 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,25 M) a 13,09 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (0,5 M). Obdobný výsledek dokládají i Yousif et al. (2010). Autoři sledovali vliv zasolení o koncentraci 50 mM, 100 mM, 200 mM na fyziologické charakteristiky u čtyřboče. Dále byla zjištěna tolerance vůči zasolení u čtyřboče rozkladité (*Tetragonia tetragonioides*, Pall.) jenž vykazovala nejnižší rozdíl hodnot rychlosti fotosyntézy (9,76 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) mezi kontrolní a stresovanou variantou S3 (0,5 M), což také dokládají např. Wilson et al. (2000).

Alam et al. (2015) uvádí, že šrucha zelná (*Portulaca oleracea* L.) je velmi odolná plodina vůči zasolení. Ve srovnání s ostatními zkoumanými listovými zeleninami vykazovala šrucha střední odolnost vůči zasolení. Průměrná rychlosti fotosyntézy se u šruchy snižovala

v závislosti na zvyšující se koncentraci zasolení NaCl – 16,32 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (kontrolní varianta), 11,26 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,15 M), 10,48 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,25 M) a 5,79 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (koncentrace 0,5 M). Podobný závěr byl potvrzen i v práci Alvarez-Pizarrova et al. (2009), kteří dokládají snížení výměny plynů v závislosti na koncentraci zasolení u rostliny *Anacardium occidentale* L.

U stresované S3 (0,5 M) varianty byla nejvyšší průměrná hodnota fotosyntézy změřena u čtyřboče – 13,08 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, zatímco nejnižší hodnota byla zaznamenána u špenátu – 2,16 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Vyšší odolnost u čtyřboče rozkladité vůči zasolení dokládají ve svém pokusu i Yousif et al. (2010₂), kteří odolnost vůči zasolení porovnávali s řepou (*Beta vulgaris*). Siler et al. (2007) uvádí, že rychlost fotosyntézy zeměžluče okolíkaté (*Centaureum erythraea* Rafn.) vzrůstá při mírné koncentraci zasolení. Toto tvrzení se v rámci sledovaných rostlin listové zeleniny nepotvrdilo, protože u všech druhů rychlost fotosyntézy klesala v závislosti na zasolení.

7.2 Rychlost transpirace

Se zvyšující se koncentrací soli se snižovala obdobně jako rychlost fotosyntézy také rychlost transpirace, což bylo opět nejvíce patrné u špenátu, jehož průměrné hodnoty rychlosti transpirace se pohybovaly od 2,76 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (varianta K a S1) do 1,24 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. (varianta S3). Obdobné závěry dokládá i Rajput et al. (2015). Uvedení autoři zkoumali zasolení u topolu (*Populus euphratica*) rostoucím v zasolené půdě. Snížení rychlosti transpirace při zasolení potvrzují i Zeng et al (2014), Tattini et al. (2002) u jamovce širolistého (*Phillyrea latifolia*), Khan et al. (1944) u tolíce seté (*Medicago sativa*), Siddiqi et al. (2009) u světlice barvířské (*Carthamus tinctorius* L.) a Ahmed et al. (2013) u ječmene (*Hordeum* sp.).

Orsini et al. (2012) uskutečnili pokus se zasolením, o koncentraci 10 mM, 20 mM a 40 mM u 2 kultivarů jahodníku (*Fragaria* sp.) a zjistili redukci rychlosti transpirace. Obdobná redukce transpirace byla zaznamenána u sledovaných druhů špenátové zeleniny v této diplomové práci, ale s vyššími koncentracemi soli v roztoku 150 mM, 250 mM a 500 mM. Redukce ztráty vody transpirací při zasolení dokládá i Herppich et al. (2008), jejichž pokus se uskutečnil na rostlině *Mesembryanthemum crystallinum* L. s CAM cyklem, což je typický halofyt. Oproti tomuto tvrzení uvedených autorů se tato diplomová práce zabývala rostlinami s C₃ cyklem. Na základě toho je však možné konstatovat, že na stres zasolením snížením

rychlosti transpirace shodně reagují rostliny s rozdílným způsobem fixace CO₂. Na změny rychlosti transpirace v závislosti na zasolení tedy fotosyntéza nemá přímý vliv.

Průměrná rychlost transpirace u šruchy zelné klesala úměrně v závislosti na zasolení – 1,99 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (kontrolní varianta), 1,73 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (0,15 M), 0,65 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (0,25 M) a 0,62 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (0,5 M). Redukci rychlosti transpirace šruchy v závislosti na zasolení dokládá ve své práci také Alam et al. (2014). Nejvyšší pokles průměrné rychlosti transpirace při koncentraci soli 0,15 M ve srovnání s kontrolní variantou, byl zaznamenán u šruchy i čtyřboče, s neprůkazným rozdílem u obou druhů rostlin – 0,26 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Snížení rychlosti transpirace dokládá také Zhen et al. (2011), kteří sledovali vliv 100 mM soli v roztoku na okurku setou (*Cucumis sativus*). Průměrná rychlost transpirace se u čtyřboče snižovala proporcionálně se zvyšující se koncentrací zasolení – 2,51 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (kontrolní varianta), 2,25 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ (koncentrace 0,15 M), 0,87 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (koncentrace 0,25 M) a 1,24 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ (0,5 M).

Z uvedených výsledků vyplývá, že rychlost transpirace byla nejnižší u stresované varianty S2. Pokles rychlosti transpirace v závislosti na zvyšujícím se zasolení dokládají i Yousif et al. (2010₁). Tito autoři se ve svých pokusech zabývali koncentrací soli 200 mM. Obdobné závěry ve své práci uvádějí i Yousif et al. (2010₂), kteří porovnávali vliv zasolení na rychlost výměny plynů u čtyřboče a řepy (*Beta vulgaris*).

7.3 Fluorescence chlorofylu

Lu et al. (2003) popisují, že stres zasolení (100 – 400 mM) nemá výrazný vliv na změnu maximální aktivity fotosystému II u rostliny *Suaeda salsa* v porovnání s kontrolou. U sledovaných rostlin listové zeleniny byly zaznamenány nejvyšší změny fluorescence chlorofylu v rámci stresované varianty S3, kdy jejich aktivita dosahovala následujících průměrných hodnot – 0,221 (špenát), 0,658 (šrucha), 0,779 (čtyřboč). Diference průměrných hodnot aktivity fotosystému II u sledovaných rostlin byly statisticky průkazné.

U špenátu se projevila výrazná změna aktivity fotosystému II v rámci stresované varianty S3 (0,5 M), kdy hodnoty aktivity PSII kolísaly od 0,6 do 0, kdy nastal úhyn rostlinného materiálu. Podobný závěr uvádějí ve své práci Zuo et al. (2014). Uvedení autoři konstatují, že byla zjištěna redukce kvantového výtěžku (Fv/Fm) u řasy *Chlamydomonas reinhardtii* vlivem zasolení. U čtyřboče vykazovaly hodnoty v rámci všech variant stabilní charakter. U této rostliny byly průměrné hodnoty fluorescence chlorofylů – 0,787 (kontrolní varianta),

0,776 (stresovaná varianta S1), 0,782 (stresovaná varianta S2), 0,779 (stresovaná varianta S3). Při pokusu s čočkou (*Lens culinaris*) (Turan et al., 2007₁), či s pšenicí (*Triticum* sp.) (Turan et al., 2007₂) prokázali redukci obsahu celkového chlorofylu. Z uvedeného výsledku lze usuzovat také na snížení aktivity PSII u sledovaných C3 rostlin špenátových zelenin.

Nejvyšší pokles hodnot aktivity transportu elektronů byl zaznamenán u špenátu, kdy se průměrná aktivita transportu elektronů pohybovala v rozmezí hodnot – 0,762 (kontrolní varianta) do 0,221 (stresovaná varianta S3). Tento závěr potvrzují Karge et al. (2014). Obdobný trend byl potvrzen v pokusech s rýží (*Oryza sativa* L.), který uvádějí Dionisio-Sese et al. (2000). Shodně se špenátem bylo snížení aktivity PSII vlivem zasolení potvrzeno také u šťovíku (*Rumex* sp. L.), jak dokládají Chen et al. (2004). Redukce aktivity PSII byla dále potvrzena v práci Jamila et al. (2013). Tito autoři sledovali vliv zasolení o koncentracích 50 mM, 100 mM a 150 mM na fluorescenci chlorofylů u hořčice bílé.

Aktivita transportu elektronů se u šručky měnila v závislosti na zvyšujícím se zasolení, kde nejvyšší hodnota aktivity PSII byla naměřena u stresované varianty S1 (0,15 M) – 0,769 a nejnižší u stresované varianty S3 (0,658). He et al. (2014) zkoumali vliv zasolení o koncentraci 150 mM NaCl na fotochemický efekt PSII u sóji luštinaté (*Glycine max* L.). Uvedení autoři konstatují, že změna aktivity transportu elektronů u zmiňované koncentrace není v porovnání s kontrolou signifikantní, ale změny v rámci sledované stresované varianty v závislosti na termínu byly patrné. Obdobné závěry byly potvrzeny také u šručky zelné, kdy se hodnota aktivity PSII u stresované varianty S1 snižovala v závislosti na ontogenetickém vývoji.

Shodné výsledky se dají předpokládat i u Parvaneho et al. (2012), jejichž pokus byl založen na zjištění obsahu chlorofylu.

Z uvedených výsledků u listové zeleniny vyplývá snížení aktivity fluorescence pigmentů v rámci sledovaných rostlinných druhů, kdy u šručky a špenátu byl zaznamenán pokles fluorescence chlorofylu v závislosti na koncentraci zasolení NaCl. Obdobný závěr dokládá i Mehta et al. (2011), kteří sledovali tuto problematiku u pšenice seté (*Triticum aestivum*). Nejvyšší hodnota aktivity fotosystému II byla zaznamenána u všech sledovaných druhů v rámci stresované varianty S1. Obdobné výsledky uvádějí i Siler et al. (2007). Uvedení autoři konstatují, že u zeměžluče okolíkaté (*Centaureum erythraea* Rafn.) dochází ke zvýšení hodnot aktivity transportu elektronů při mírném zasolení.

7.4 Efektivita využití vody - WUE

Efektivita využití vody (WUE) vlivem zasolení narůstala v rámci koncentrace zasolení u varianty 0,25 M v porovnání s ostatními variantami. Nejvyšší hodnota WUE u této varianty byla zaznamenána u čtyřboče – 21,65 (10^{-3}) a nejnižší u špenátu – 10,18 (10^{-3}).

Při koncentraci zasolení 0,5 M bylo zaznamenáno průkazné snížení WUE, kdy nejnižší hodnota – 4,73 (10^{-3}) byla pozorována u špenátu. Naopak nejvyšší 12,11 (10^{-3}) u čtyřboče. Obdobné závěry dokládá i Ulunkara et al. (2010), kteří konstatují, že se zvyšujícím se zasolením se snižuje hodnota WUE. Obdobný závěr udávají také Lloyd et al. (1987). Podle těchto autorů dochází ke snížení hodnot WUE při koncentraci 0,05 M u pomerančovníku (*Citrus sinensis* L.). Obdobně reagují halofytní rostliny *Aster trololium* L., jak ve své práci dokumentují Geissler et al. (2009).

Naopak Kurunc et al. (2011) ve své práci uvádí, že salinita půdy zvyšuje hodnoty účinného využití vody u papriky (*Capsicum* sp.). Zvýšení hodnot WUE u *Avicennia marina* dokládají i Reef et al. (2012). Podle nich se jedná také o evoluční strategii pro prevenci sucha.

U špenátu byla zaznamenána nejnižší hodnota WUE – 4,73 (10^{-3}) v rámci stresované varianty S3 (0,5 M). Podobné závěry dokládá i Kaya et al. (2011), či Khan et al. (1944), kteří sledovali vliv zasolení o koncentraci 0 – 100 mM na rostliny tolice seté (*Medicago sativa*). Nejvyšší průměrná hodnota u špenátu byla naměřena u koncentrace 0,25 M NaCl (10,18 (10^{-3})), což může být způsobené maximální koncentrací zasolení, kdy rostlina dokáže efektivně využít vodu. Podle Volpe et al. (2011) se hodnota efektivnosti využití vody zvyšuje s narůstajícím zasolením. Tvzení uvedených autorů nebylo potvrzeno u stresované varianty S3, jelikož u uvedené varianty měla tato koncentrace zasolení (0,5 M) toxický charakter a sledované rostliny nebyly schopné využívat vodu ve vyšší míře. U všech stresovaných variant vykazovala nejvyšší hodnoty WUE čtyřboč – 9,54 (10^{-3}) (S1), 21,65 (10^{-3}) (S2), 12,11 (10^{-3}) (S3). Obdobné závěry dokládá i Ashraf (2001), který sledoval vliv zasolení o koncentracích 100 mM a 200 mM u tolerantních druhů rostlin čeledi Brassicaceae (brukev řepka (*Brassica napus*) a brkev kýlnatá (*Brassica carinata*)) k zasolení. Sledované rostlinné druhy listové zeleniny v této diplomové práci ze stresované varianty S2 (0,25 M) vykazovaly nejvyšší hodnoty WUE v rámci všech sledovaných variant. Obdobné závěry dokazují např. Ahmed et al. (2013), při jejichž pokusu s kulturním a planým ječmenem, kdy stresovaná varianta o koncentraci 200 mM NaCl měla vyšší hodnoty WUE než varianta kontrolní.

Efektivita využití vody se u šruchy pohybovala v těchto hodnotách: 10,25 (10^{-3}) (kontrolní varianta) až 11,75 (10^{-3}) (stresovaná varianta S3). Z výsledků práce Kilice et al. (2008), vyplývá pokles hodnot WUE při zvýšené koncentraci zasolení. Toto tvrzení bylo potvrzeno pouze mezi K a S1, což může být způsobeno vyšší rychlostí fotosyntézy i transpirace. Nejnížší hodnoty WUE byly zaznamenány u sledovaných rostlin u stresované varianty S1 (0,15 M). Obdobné výsledky u světlice barvířské (*Carthamus tinctorius* L.) dokládají např. Siddiqi et al. (2009) při koncentraci zasolení 150 mM.

8 Závěr

Z výsledků, které byly získány při měření fyziologických charakteristik u sledovaných druhů listové zeleniny – špenátu setého, šruchy zelné a čtyřboče rozkladité, které byly pěstovány v podmínkách: kontrolní, která byla zalévána vodou bez solné příměsi – K. Stresovaná varianta se zálivkou solného roztoku o koncentraci 0,15 M NaCl – S1. S2 – stresovaná varianta se zálivkou solného roztoku o koncentraci 0,25 M NaCl. S3 – stresovaná varianta se zálivkou solného roztoku o koncentraci 0,5 M NaCl, vyplývají následující závěry:

1. Byla potvrzena hypotéza o mezidruhových rozdílech testovaných rostlin na stres zasolením.
2. Jako tolerantní vůči zasolení se jeví čtyřboč rozložité a naopak jako citlivý druh se jeví špenát setý, který v polovině pokusu při koncentraci zasolení 0,5 M uhynul.
3. Sledované druhy rostlin nejméně citlivě reagovaly na koncentraci soli 0,25 M NaCl.
4. Byl prokázán mezidruhový rozdíl v rychlosti fotosyntézy u sledovaných rostlin, kdy nejnižší rychlost fotosyntézy vykazují rostliny špenátu ($11,02 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a nejvyšší rostliny čtyřboče ($17,63 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
5. Rychlost transpirace byla nejnižší u rostlin šruchy ($1,25 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a naopak nejvyšší u čtyřboče ($1,72 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
6. Vypočtené hodnoty efektivity využití vody (WUE) se pohybovaly v rozpětí hodnot od $7,98 (10^{-3})$ (špenát) do $13,14 (10^{-3})$ (čtyřboč).
7. Aktivita fotosystému II stanovená fluorescencí byla nejnižší u špenátu (0,612) a naopak nejvyšší u čtyřboče (0,781).
8. Rychlost fotosyntézy byla u všech sledovaných druhů rostlin nižší u variant stresovaných v porovnání s kontrolou.
9. Rychlost transpirace byla nejvyšší u sledovaných druhů rostlin listové zeleniny v rámci kontrolní varianty a nejnižší u rostlin zatížené stresovanou variantou S3.
10. Nejvyšší hodnoty WUE vykazují rostliny ze stresované varianty S2 a naopak nejnižší rostliny z kontrolní varianty.

11. Nejnižší hodnoty aktivity PSII byly zaznamenány u rostlin ze stresované varianty S3 a naopak nejvyšší u rostlin ze stresované varianty S1.

9 Seznam literatury

9.1 Knižní zdroje

Ahmed, I. M., Dai, H., Zheng, W., Cao, F., Zhang, G., Sun, D., Wu, F. 2013. Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barely. *Plant physiology and biochemistry*. 63. 49 – 60.

Alam, M. A., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., Hamid, A. A., Alam, M. Z. 2015. Effects of salinity and salinity-induced augmented bioactive compounds in purslane (*Portulaca oleracea* L.) for possible economical use. *Food chemistry*. 169. 439 – 447.

Alvarez-Pizarro, J. C., Gomes-Filho, E., de Lacerda, C. F., Alencar, N. L. M., Prisco, J. T. 2009. Salt-induced changes on H⁺-ATPase activity, sterol and phospholipid content and lipid peroxidation of root plasma membrane from dwarf-cashew (*Anacardium occidentale* L.) seedlings. *Plant growth regulation*. 59 (2). 125 – 135.

Anonym. 2008. Ekologické zemědělství a GMO. otázky koexistence. Olomouc. Bioinstitut, o.p.s. 40 s. ISBN: 9788090417465.

Arbury, J., Bird, R., Honour, M., Clive, I., Salmon, M. The complete book of plant propagation. 1997. Taunton press. Newtown. p. 224. ISBN: 1561582344.

Ashraf, M. Relationships between growth and gas exchange characteristics in some salt-tolerant amphidiploid *Brassica* species in relation to their diploid parents. *Environmental and Experimental botany*. 45 (2). 155 – 163.

Atwell, B. J., Kriedemann, P. E., Turnbull, C. 1999. Plants in Action: Adaptation in Nature, performance in cultivation. Macmillan Education Australia Pty Ltd. Melbourne. p. 664. ISBN: 978-0732944391.

Barker, A. V., Pilbeam, D. J. 2007. Handbook of Plant nutrition. CRC Press. Boca Raton. p. 613. ISBN: 0824759044.

Basim, S. Y., Nguyen, T. N., Yasuko, F., Hiroaki, H., Yu, O., Yoshikuni, M., Hirofumi, S. 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 and biology*. 12. 211 – 216.

- Beck, E. H., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K., Bhattarai, T. 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *J Biosci.* 32 (3). 501 – 510.
- Berger-Landfeldt, 1959 In: Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. 2006. *Plant physiology Ecological Ecology.* Springer. New York. p. 540. ISBN: 0387983260.
- Bergmann et al. (2004) In: Bögre, L., Beemster, G. T. S. 2008. *Plant Growth Signaling.* Springer. Berlin. p. 379. ISBN: 9783540775898.
- Belgie. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY: o zřízení rámce pro ochranu půdy a o změně směrnice 2004/35/ES. In: 2006/0086 (COD). Brusel, 2006.
- Binet (1963) In: Waisel, Y. 1972. *Biology of Halophytes.* Academic Press. Waltham. p. 410. ISBN: 0124313574.
- Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. *Rostlina a Stres.* VÚRV. Praha. 156 s. ISBN: 8086555321.
- Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Kráľová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušiková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. *Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu.* 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze)
- Bláha, L. Hnilička, F., Hon, I., Martínková, J., Matoušek, J. 2008. *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2008.* Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i., ČZU. Praha. 370 s. ISBN: 9788087011188.
- Brickell., C. 1994. *Velká zahrádkářská encyklopedie. Příroda.* Praha. p. 624. ISBN: 8007006508.
- Boyer, J.S. 1996. Delaware. *Advances in Agronomy.* 56. 189-215.
- Bögre, L., Beemster, G. T. S. 2008. *Plant Growth Signaling.* Springer. Berlin. p. 379. ISBN: 9783540775898.
- Brownell and Crossland (1972) In: Madhava, K. V. R., Raghavendra, A. S., Reddy, K. J. 2006. *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants.* Springer. New York. 345 s. ISBN:13 9781402042249.

- Buchtová, I. 2013. Situační a výhledová zpráva. Zelenina. Ministerstvo zemědělství. Praha. 68 s. ISBN: 9788074341304.
- Buchtová, I. 2014. Situační a výhledová zpráva. Zelenina. Ministerstvo zemědělství. Praha. 68 s. ISBN: 9788074341878.
- Chen, H. X., Li, W. J., An, S. Z., Gao, H. Y. 2004. Characterization of PSII photochemistry and thermostability in salt-treated *Rumex* leaves. *Journal of plant physiology*. 161 (3). 257 – 274.
- Cheng, T., Chen, J., Zhang, J., Shi, S., Zjou, Y., Lu, L., Wang, P., Jiang, Z., Yang, S., Shi, J. 2015, Physiological and proteomic analyses of leaves from the halophyte Tangut *Nitraria* reveals diverse response pathways critical for high salinity tolerance. *Frontiers in plant science*. 30 (6).
- De Pascale, S., Barbieri, G. 1997. Effects of soil salinity and top removal on growth and yield of broad bean as green vegetable. *Scientia Horticulturae*. 71. 147-165.
- Dionisio-Sese, M. L., Tobita, S. 2000. Effects of salinity on sodium content and photosynthetic responses of rice seedlings differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 157 (1). 54 – 58.
- Downton, W. J. S., Grant, W. J. R., Robinson, S. P. 1985. Photosynthetic and Stomatal Responses of Spinach Leaves to Salt Stress. *Plant Physiology*. 78 (1). 85 – 88.
- Duarte, B., Sleimi, N., Cacador, I. Biophysical and biochemical constraints imposed by salt stress: learning from halophytes. *Frontiers in plant science*. 746 (5).
- Epstein et al. (2005) In: Ashraf, M., Harris, P. J. C. 2005. *Abiotic stresses*. Food product press. New York. p. 515. ISBN: 1560229659.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of seed plants*. John Wiley & Sons. Chichester. p. 576. ISBN: 9780471245209.
- Flowers (2004) In: Taiz, L., Zeiger, E. 2006. *Plant physiology*. Sinauer Associates. Sunderland. p. 764. ISBN: 0878938567.
- Francois, L.E., Maas, E.V. 1994. Crop response and management on salt-affected soils. 149-181.
- Fullen, A. M., Catt, J. A. 2014. *Soil management: problems and solutions*. Routledge. New York, p. 320. ISBN: 1444144723.

- He, Y., Yu, C., Zhou, L., Chen, Y., Liu, A., Jin, J., Hong, J., Qi, Y., Jiang, D. 2014. Rubisco decrease is involved in chloroplast protrusion and Rubisco-containing body formation in soybean (*Glycine max.*) under salt stress. *Plant physiology and biochemistry*. 74. 118 – 124.
- Hejtný, S., Slavík, B. 1990. Květena České republiky 2. Academia. Praha. 540 s.
- Hopkins, W. H., Hüner, N. P. A. 2004. Introduction to plant physiology. John Willey & Sons. Ontario. p. 559. ISBN 0471379174.
- Gardner, C. M. K., Laryea, K. B. Unger, P. W. 1999. Soil physical constraints to plant growth and crop production. Food and agriculture organization of the united nations. Rome. 96 s.
- Geissler, N., Hussin S., Koyro, H. W. 2009. Interactive effects of NaCl salinity and elevated atmospheric CO₂ concentration on growth, photosynthesis, water relations and chemical composition of the potential cash crop halophyte *Aster tripolium* L. *Environmental and Experimental botany*. 65 (2 – 3). 220 – 231.
- Gliessman, S. R. 2007. Agroecology. The ecology of sustainable food system. CRC Press. Boca Raton. p. 384. ISBN: 0849328454.
- Greenway and Munns (1980) In: Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Plant physiology. Sinauer Associates. Sunderland. p. 764. ISBN: 0878938567.
- Grice, A. C. 2002. Global rangelands: Progress and prospects. CABI. Wallingford. p. 320. ISBN: 0851995233.
- Grubben, G. J. H., Denton, O. A. 2004. Plant Resources of Tropical Africa 2 – Vegetables. PROTA Foundation. Wageningen. p. 667. ISBN: 9057821478.
- Hanson, R. B., Grattan, S. R., Fulton, A. 2006. Agricultural Salinity and Drainage. University of California. California. p. 164.
- He, Y., Yu, C., Zhou, L., Chen, Y., Liu, A., Jin, J., Hong, J., Qi, Y., Jiang, D. 2014. Rubisco decrease is involved in chloroplast protrusion and Rubisco-containing body formation in soybean (*Glycine max.*) under salt stress. *Plant physiology and biochemistry*. 74. 118 – 124.
- Herppich, W., huyskens-Keil, S., Schreiner, M. 2008. Effects of saline irrigation on growth, physiology and quality of *Mesembryanthemum crystallinum* L., a rare vegetable crop. *Journal of applied botany and food quality – Angewandte botanik*. 82 (1). 47 – 54.
- Heun et al. (1981) In: Larcher, W. 2003. Physiological Plant Ecology. Springer. New York. p. 514. ISBN: 3540435166.

- Chen, H. X., Li, W. J., An, S. Z., Gao, H. Y. 2004. Characterization of PSII photochemistry and thermostability in salt-treated *Rumex* leaves. *Journal of plant physiology*. 161 (3). 257 – 274.
- Jamil, M., Rha, E. S. 2013. NaCl Stress-Induced Reduction in Growth, Photosynthesis and Protein in Mustard. *Journal of Agricultural science*. 5 (9).
- Jánský, J., Malý, I., Petříková, K., Peza, Z., Poláčková, J., Rod, J. 2006. Zelenina. Pěstování, ekonomika, prodej. Profi Press. Praha. 240 s. ISBN: 8086726207.
- Jones, G. H., Flowers, T. J., Jones, M. B. 1989. *Plants under stress*. Cambridge university press Cambridge. p. 257. ISBN: 9780521050371.
- Kafka, Z., Mořáková, K., Podlipná, R., Vaněk, T. 2014. Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytořemediacích. *Chemické listy*. 108. 856-591.
- Kargem O., Bondar, A., Dau, H. 2014. Cationic screening of charged surface groups (carboxylates) affects electron transfer steps in photosystem-II water oxidation and quinone reduction. *Biochemica et biophysica acta-bioenergetics*. 1837 (10). 1625 – 1634.
- Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H. 2001. The effect of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Journal plant physiology*. 27 (3 – 4). 47 – 59.
- Keddy, A. P. 2007. *Plants and Vegetation*. Cambridge University Press. Cambridge. p. 706. ISBN: 9780521864800.
- Khan, M. G., Silberbush, M., Lips, S. H. 1994. Physiological studies on salinity and nitrogen interaction in alfalfa. II. Photosynthesis and transpiration. *Journal of Plant Nutrition*, 17 (4), 669-682.
- Khavarinejad and Chaparzadeh (1998) In: Madhava, K. V. R., Raghavendra, A. S., Reddy, K. J. 2006. *Physiology and molecular biology of stress tolerance: in plants*. Springer. New York. p. 345. ISBN:13 9781402042249.
- Kilic, C. C., Kukul, Y. S., Anac, D. 2008. Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. *Agricultural water management*. 95 (7). 854 – 858.
- Kučera, J., Kubešová, S., Hájek, M., Holá, E., Němcová, L., Plášek, V. 2010. Nová bryologická literatura XXII. - *Bryonora* 45: 63-84.

- Kurunc, A., Ulunkara, A., Cemek, B. 2011. Salinity and drought affect yield response of bell pepper similarly. *Acta agriculturae scandinavica section B-soil and plant science*. 61 (6). 514 – 522.
- Laird, Ch., Agnes, M., 1996. *Webster's new World*. Macmillan. New York. p. 734. ISBN: 002861318X.
- Lal, R. 2006. *Encyclopedia of soil science*. CRC Press. Ohio. p. 2060. ISBN: 0849338301.
- Lambers, H. 2003. Drayland salinity: a key environmental issue in southern Australia. *Plant Soil*. 257 pp. 5-7.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. 2006. *Plant physiology Ecological Ecology*. Springer. New York. p. 540. ISBN: 0387983260.
- Larcher, W. 1988. *Fyziologická ekologie rostlin*. Academia. Praha. 368 s. ISBN: 2110288.
- Larcher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. Springer. New York. p. 506. ISBN: 35405811623.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology*. Springer. New York. p. 514. ISBN: 3540435166.
- Levit, J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses*. Academic press. p. 607. ISBN: 0124455018.
- Lichtenthaler, H. K. 1998. *The Stress Concept in Plants: An Introduction*. *Stress of life: from molecules to man*. 851. 187 – 198.
- Linhart, J. 2003. *Slovník cizích slov pro nové století*. Dialog. Litvínov. 412 s. ISBN: 8085843617.
- Lloyd, J., Kriedemann, P. E., Syvertsen, J. P. 1987. Gas Exchange, Water Relations and Ion Concentrations of Leaves of Salt Stressed 'Valencia' Orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. *Functional Plant Biology*, 14(4), 387-396.
- Low, T. 1991. *Wild Food Plants of Australia*. Angus & Robertson. Sydney. p. 240. ISBN: 0207169306.
- Lu, C., Qiu, N., Wang, B., Zhang, J. 2003. Salinity treatment shows no effects on photosystem II photochemistry, but increases the resistance of photosystem II to heat stress in halophyte *Suaeda salsa*. *Journal of experimental botany*. 54 (383). 851 – 860.

- Lütz, C. 2010. Cell physiology of plants growing in cold environments. *Protoplasma*. 244. 53–73.
- Madhava, K. V. R., Raghavendra, A. S., Reddy, K. J. 2006. Physiology and molecular biology of stress tolerance: in plants. Springer. New York. p. 345. ISBN:13 9781402042249.
- Mareček, F., Pokorný, V., Pošík, M., Štěpánek, M., Hrnčířová, D. 1999. Zahradnický slovník naučný 4, N – Q. Ústav zemědělských a potravinářských informací Praha. Praha. 572 s. ISBN: 8086153606.
- Mareček, F., Pokorný, V., Pošík, M., Štěpánek, M., Hrnčířová, D. 2001. Zahradnický slovník naučný 5, R – Ž. Ústav zemědělských a potravinářských informací Praha. Praha. 685 s. ISBN: 8072710753.
- Mártonfi, P. 2006. Systematika cévnatých rostlin. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika. Košice. 220 s. ISBN: 8070976284.
- Mass and Hoffman (1977) In: Atwell, B. J., Kriedemann, P. E., Turnbull, C. 1999. Plants in Action: Adaptation in Nature, performance in cultivation. Macmillan Education Australia Pty Ltd. Melbourne. p. 664. ISBN: 978-0732944391.
- Maxwel et Johnson (2000) In: Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Kráľová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).
- Mckechnie, J. L., Webster, N. 1959. Webster's new twentieth century dictionary of the English language unabridged. The Word publishing company. New York. p. 2129.
- Mehta, P., kraslavsky, V., Bharti, S., Allakhverdiev, S. I., Jajoo, A. 2011. Analysis of salt stress induced changes in Photosystem II heterogeneity by prompt fluorescence and delayed fluorescence in wheat (*Triticum aestivum*) leaves. *Journal of photochemistry and photobiology b-biology*. 104 (1 – 2). 308 – 313.
- Mert, H. H., Vardar, Y. 1967. Salinity, osmotic pressure and transpiration relationships of *Salicornia herbecea* in its natural habit. *Phyton*. 18. 71 – 78.

- Mooney et al. (1991) In: Smith, W. K., Hinckley, T. M., Roy, J. 2013. Ecophysiology of coniferous forests. Academia press. London. p. 338. ISBN: 0126528756.
- Myrene, R. D., Devaraj, V. R. 2011. Specific and non-specific responses of Hyacinth bean (*Dolichos lablab*) to drought stress. Indian Journal of Biotechnology. 10. 130 – 139.
- Nanjo, T., Fujita, M., Seki, M., Kato, T., Tabata, S., Shinozaki, K. 2003. Toxicity of free proline revealed in an Arabidopsis T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. Plant and Cell Physiology 44. 541–548.
- Nielsen, E. T., Orcutt, D. M. 1996. Physiology of Plants under Stress. Virginia Polytechnic Institute and State University. USA. p. 689.
- Orsini, F., Alnayef, M., Bona, S., Maggio, A., Gianquinto, G. 2012. Low stomatal density and reduced transpiration facilitate strawberry adaptation to salinity. Environmental and experimental botany. 81. 1 – 10.
- Öpik, H., Stephen, A. R., Willis, J. A. 2005. The fysiologie of flowering plants Cambridge University Press. Cambridge. p. 392. ISBN:10 0521664853
- Parvaneh, R., Shahrokh, T., Meysam, H. S. 2012. Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. Journal of stress physiology & biochemistry. 8 (1).
- Pekárková, E. 2002. Pěstujeme salát, špenát a další listové zeleniny. Grada Publishing. Praha. 96 s. ISBN: 8024702835.
- Pessaraki, M. 2011. Handbook of plant and crop stress. CRC Press. Boca Raton. p. 1215. ISBN: 9781439813966.
- Procházka, S., Macháčková, I. 1998. Fyziologie rostlin. Academia. Praha. 484 s. ISBN: 8020005862.
- Ponnamperuna, F. N. 1984. Effects of flooding on soil. In: Kozlowski, T. T. (ed). Flooding and growth. Academic press, Inc. Orland. 10–46.
- Prášil, O. 2003. Fluorescence chlorofylu jako metoda studia fotosyntézy a diagnostiky porostu. Živa. 6. 249 – 252.
- Rajput, V., Chen, Y., Ayup, M. 2015. Effects of high salinity on physiological and anatomical indices in the early stages of *Populus euphratica* growth. Russian journal of plant physiology. 62 (2). 229 – 236.

- Reef, R., Schmitz, N., Rogers, B., Ball, M., Lovelock, C. 2012. Differential responses of the mangrove *Avicennia marina* to salinity and abscisic acid. *Functional plant biology*. 39 (12). 1038 – 1046.
- Roháček et Barták (1999) In: Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Kráľová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).
- Ruhland, 1915 In: Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. 2006. Plant physiology Ecological Ecology. Springer. New York. p. 540. ISBN: 0387983260.
- Schreiber et al. (1986) In: Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Kráľová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).
- Scott, P. 2008. Physiology and behaviour of plants. John Wiley and Sons Ltd. Chichester. p. 318. ISBN: 9780470850244.
- Selye, H. 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature*. 138. 3.
- Selye, H. 1978. The Stress of life. McGraw-Hill. New York. p. 516. ISBN: 0070562121.
- Siddiqi, E. H., Ashraf, M., Hussain, M., Jamil, A. 2009. Assessment of intercultivar variation for salt tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) using gas exchange characteristics as selection criteria. *Pakistan Journal of Botany*. 41 (5). 2251 – 2259.
- Siler, B., Misic, D., Filipovic, B., Popovic, Z., Cvetic, T., Mijovic, A. 2007. Effects of salinity on in vitro growth and photosynthesis of common centaury (*Centaureum erythraea* Rafn.). *Archives of biological science*. 59 (2). 129 – 134.
- Steiner, 1934 In: Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. 2006. Plant physiology Ecological Ecology. Springer. New York. p. 540. ISBN: 0387983260.

Strasser et al. (1995) In: Shabala, S. 2012. Plant stress physiology. Cabi. Wallingford. p. 330. ISBN: 978184593953.

Střelcová a Kučera (2004) In: Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Feru, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Králová, K., Majeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Piršelová, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostliny a zemědělského výzkumu. 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i. Praha. 256 s. ISBN: 9788074270697 (VÚRV v. v. i.), ISBN: 9788021321595 (ČZU v Praze).

Šantrůček, J. (2010) In: Bláha, L., Bojnanská, K., Čegan, R., Dotlačil, L., Faltus, M., Ferus, P., Gubiš, J., Haberle, J., Hnilička, F., Hniličková, H., Hobza, R., Holubec, V., Jadrná, P., Janků, Ľ., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnárová, V., Králová, K., Maršík, P., Martinková, J., Masár, Š., Masaričová, E., Nevrtalová, E., Pastirčák, M., Pazderů, K., Peško, M., Prášil, I. T., Prášilová, P., Raimanová, I., Strka, J., Straková, M., Šantrůček, J., Škodáček, Z., Trčková, M., Užík, M., Vaněk, T., Vejl, P., Vítámvás, P., Vyskot, B., Vyvadilová, M., Zámečník, J., Zelenková, S., Žofajová, A., Živčák, M. 2010. Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly). Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. p. 310. ISBN: 9788074270239.

Šesták, Z., Čatský, J. 1996. Metody studia fotosyntetické produkce rostlin. Metodické příručky a experimentální botanika 2. ČSAV. Praha. 143 s.

Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Plant physiology. Sinauer Associates. Sunderland. p. 764. ISBN: 0878938567.

Tattini, M., Montagni, G., Traversi, M. 2002. Gas exchange, water relations and osmotic adjustment in *Phillyrea latifolia* grown at various salinity concentrations. 22 (6). 403 – 412.

Turan, M. A., Katkat, V., Taban, S. 2007₂. Variation in proline, chlorophyll and mineral elements contents of wheat plants grown under salinity stress. Journal of agronomy. 6 (1). 137 – 141.

Turan, M. A., Turkmen, N., Taban, N. 2007₁. Effect of NaCl on stomatal resistance and proline, chlorophyll, Na, Cl and K concentration of lentil plants. Journal of agronomy. 6 (2). 378 – 381.

- Tužinský (2007) In: Střelcová, K., Škvarenina, J. & Blaženec, M. 2007. Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17 - 20, 2007, ISBN 9788022817608.
- Uhri., A. 2011. Boğaz derdi. Tarım ve beslenme kültür tarihi. Ege yayınları. Istanbul. p. 446. ISBN: 9786055607715.
- Ulunkara, A., Kurunc, A., Kesmez, G., Yurtseven, E., Suarez, D. 2010. Effect of salinity on eggplant (*Solanum melongena* L.) growth and evapotranspiration. Irrigation and drainage. 59 (2). 203 – 214.
- Volpe, V., Manzoni, S., Marani, M., Katul, G. 2011. Leaf conductance and carbon gain under salt-stressed conditions. Journal of geophysical research-biogeosciences. 116. G04035.
- Warne, P., Guy, R. D., Rollins, L., Reid, D. M. 1990. The effects of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis, and water use efficiency of *Chenopodium rubrum*. Canadian Journal of Botany. 68 (5). 999 – 1006.
- Wilson, C., Lesch, S., Grieve, C. 2000. Growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*, Pall.) and red orach (*Atriplex hortensis* L.). Annals of botany. 85 (4). 501 – 509.
- Yousif, B. S., Nguyen, N. T., Fukuda, Y., Hakata, H., Okamoto, Y., Masaoka, Y., Saneoka, H. 2010₁. 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 and biology. 12 (2). 211 – 216.
- Yousif, B. S., Liu, L. Y., Nguyen, N. T., Masaoka, Y., Saneoka, H. 2010₂. Comparative Studies in Salinity Tolerance Between New Zealand Spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and Chard (*Beta vulgaris*) to Salt Stress. Agricultural Journal, 5 (1), 19-24.
- Zeng, W., Xu, C., Wu, J., Huang, J., Zhao, Q., Wu, M. 2014. Impacts of Salinity and Nitrogen on the Photosynthetic Rate and Growth of Sunflowers (*Helianthus annuus* L.). Pedosphere. 24 (5). 635 – 654.
- Zhen, A., Bie, Z., Huang, Y., Liu, Z., Lei, B. 2011. Effects of salt-tolerant rootstock grafting on ultrastructure, photosynthetic capacity, and H₂O₂-scavenging system in chloroplasts of cucumber seedlings under NaCl stress. Acta physiologiae plantarum. 33 (6). 2311 – 2319.

Zuo, Z., Chen, Z., Zhu, Y., Bai, Y., Wang, Y. 2014. Effects of NaCl and Na₂CO₃ stresses on photosynthetic ability of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Biologia*. 69 (10). 1314 – 1322.

9.2 Internetové zdroje

Alam, M. A., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., & Abdu, H. A. 2014. Effect of Salinity on Biomass Yield and Physiological and Stem-Root Anatomical Characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Accessions*. *BioMed research international*. Publikováno: 8. 12. 2014 [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/105695>.

Anonym. Gazometrická stanovení fotosyntetických parametru [online]. České Budějovice. publikováno: 19. 4. 2011 upraveno: 19. 4. 2011 [cit. 2015-3-18]. Dostupné z: <http://kfr.prf.jcu.cz/download/lectures/KFR220/KFR220_U05Gazometrie2011.pdf>

Czech Republic: Spinach, area harvested (hectare). *Fact Fish: research made simple* [online]. Mnichov. Publikováno: 2014 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: www.factfish.com/statistic-country/czech%20republic/spinach%2C%20area%20harvested.

Czech Republic: Spinach, yield (hectogram per hectare). *Fact Fish: research made simple* [online]. Mnichov. Publikováno: 2014 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.factfish.com/statistic-country/czech%20republic/spinach%2C%20yield>.

OMNI ENVIRONMENTAL GROUP PTY. LTD. *Omni Enviro: Water system* [online]. 2014 [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.omnienviro.com/agriculture/reduce-soil-salinity.php>.

Spinat (Gattung). www.wikipedia.org [online]. Berlín. Publikováno: 2014 upraveno: 5.9.2014 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: [http://de.wikipedia.org/wiki/Spinat_\(Gattung\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Spinat_(Gattung)).

Špenát novozélandský Čtyřboč. PRONACHEM SPOL. S R.O. [Prohopo.cz](http://www.prohopo.cz): Hospodářské potřeby [online]. 2015 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.prohopo.cz/cs/p-3266-spenat-sety-misano-f1-jarni-a-podzimni/>.

Špenát setý Misano F1 jarní a podzimní. PRONACHEM SPOL. S R.O. [Prohopo.cz](http://www.prohopo.cz): Hospodářské potřeby [online]. 2015 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.prohopo.cz/cs/p-3266-spenat-sety-misano-f1-jarni-a-podzimni/>.

Šrucha zelná. *Botanická fotogalerie: Nejen pro odborníky* [online]. Brno. publikováno 2014 upraveno 2.12.2014 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz>.

Šrucha zelná. SEMO A.S. *SEMO*: Hobby trh [online]. 2007 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://nove.semo.cz/homegardencz/index.php?s=&druhId=2864&odrudaId=3981>.

Udržitelné zemědělství a ochrana půdy: Procesy degradace půdy. In: Sustainable agriculture and soil conservation [online]. Evropská komise, 2009 [cit. 2014-10-31]. Dostupné z: <http://agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/CZFactSheet-04.pdf>

10 Příloha



Obr. 1: Rostlina špenátu pěstovaná v kontrolní variantě



Obr. 2: Rostlina špenátu pěstovaná ve variantě S 0,15 M



Obr. 3: Rostlina špenátu pěstovaná ve variantě S 0,25 M



Obr. 4: Rostlina špenátu pěstovaná ve variantě S 0,5 M



Obr. 5: Rostlina šruchy pěstovaná v kontrolní variantě



Obr. 6: Rostlina šruchy pěstovaná ve variantě S 0,15 M



Obr. 7: Rostlina šruchy pěstovaná ve variantě S 0,25 M



Obr. 8: Rostlina šruchy pěstovaná ve variantě S 0,5 M



Obr. 9: Rostlina čtyřboče pěstovaná v kontrolní variantě



Obr. 10: Rostlina čtyřboče pěstovaná ve variantě S 0,15 M



Obr. 11: Rostlina čtyřboče pěstovaná ve variantě S 0,25 M



Obr. 12: Rostlina čtyřboče pěstovaná ve variantě S 0,5 M