

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Vliv zasolení na fyziologické charakteristiky vybraných  
druhů rodu řepa (Beta)**

**Bakalářská práce**

**Kristián Hlavatý  
Rostlinná produkce**

**Vedoucí práce**

**doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.**

© 2019 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Vliv zasolení na fyziologické charakteristiky vybraných druhů rodu řepa (*Beta*)" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2019

---

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Františkovi Hniličkovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

# Vliv zasolení na fyziologické charakteristiky vybraných druhů rodu řepa (*Beta*)

## Souhrn

Cílem bakalářské práce bylo sledovat vliv rozdílné koncentrace chloridu sodného na fyziologické parametry vybraných zástupců rodu řepa a stanovit míru tolerance/citlivosti juvenilních rostlin vybraných druhů rodu řepa na zasolení. Hodnocenými druhy byly krmná řepa odrůda Hako, cukrová řepa odrůda Dobrovická A a mangold odrůda Lucullus.

Nádobový pokus byl založen v částečně řízených skleníkových podmínkách. Schéma pokusu zahrnovalo pět variant: kontrolní (0 mM NaCl), S1 (50 mM NaCl), S2 (150 mM NaCl), S3 (250 mM NaCl), S4 (350 mM NaCl). Roztoky NaCl byly aplikovány v modifikovaném živném roztoku dle Hoaglanda. Koncentrace soli se zvyšovala ve dvoudenních intervalech po 50 mM NaCl. Pokus byl zahájen ve vývojové fázi 14 BBCH. Měření následovalo po každém navýšení koncentrace soli a po dosažení maximální koncentrace se měření uskutečnilo 1x týdně po dobu 7 týdnů. Výměna plynů byla sledována pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro+ a fluorescence chlorofylů byla stanovena pomocí fluorometru OS5p. Efektivita využití vody (WUE), byla spočítána jako poměr mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace.

Bylo zjištěno, že existují mezidruhové rozdíly v reakci zasolení, kdy nejméně citlivý druh k zasolení byl mangold, méně citlivá k zasolení byla krmná řepa a nejcitlivější byla cukrová řepa, která odumřela v posledním termínu měření při nejvyšší koncentraci soli (350 mM NaCl). Nejvyšší pokles o  $1,27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  v rychlosti fotosyntézy byl prokázán u cukrové řepy. U mangoldu byl zjištěn nejvyšší naměřený rozdíl  $1,08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  v rychlosti transpirace mezi kontrolní variantou a variantou S4. Mangold měl nejvyšší rozdíl  $0,082 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  stomatalní vodivosti mezi kontrolní variantou a variantou S4. Nejvyšší rozdíl v rychlosti fluorescence chlorofylů o 0,18 mezi variantami byl naměřen u cukrové řepy. Dále bylo zjištěno, že existují mezidruhové rozdíly v hospodaření s vodou vlivem působení salinity, stanovené na základě hodnot WUE. Bylo prokázáno, že při koncentracích 250 mM NaCl a 350 mM NaCl druhy rodu řepa efektivněji hospodaří s vodou. Nejvyšší efektivita využití vody  $8,44 (10^{-3})$  u krmné řepy byla zjištěna při koncentraci 250 mM. U cukrové řepy byla prokázána nejvyšší efektivita využití vody  $6,67 (10^{-3})$  při koncentraci 350 mM NaCl. Nejvyšší efektivita využití vody  $9,65 (10^{-3})$  byla zjištěna u mangoldu při zasolení 350 mM.

**Klíčová slova:** řepa cukrová, krmná řepa, mangold, salinita, výměna plynů

# Effect of salinity stress on physiological characteristics of selected species beets (*Beta*)

## Summary

The aim of this bachelor thesis was to observe the influence of different concentration of sodium chloride on physiological parameters of selected representatives of the beet genus and to determine the degree of tolerance/sensitivity of juvenile plants of selected beet species for salinisation. Selected species were sugar beet cultivar Dobrovická A, swiss chard cultivar Lucullus and fodder beet cultivar Hako.

The container experiment was established under partially controlled greenhouse conditions. The experimental scheme included five variants: control (0 mM NaCl), S1 (50 mM NaCl), S2 (150 mM NaCl), S3 (250 mM NaCl), S4 (350 mM NaCl). NaCl solutions were applied in a modified Hoagland nutrient solution. The salt concentration increased at 2-day intervals of 50 mM NaCl. The experiment was initiated at development stage 14 BBCH. Measurements were followed after each increase in salt concentration, and once the maximum concentration was reached, measurements were taken once a week for 7 weeks. Gas exchange was monitored using an infrared gas analyzer LCpro+ and chlorophyll fluorescence was determined using an OS5p fluorometer. Water utilization efficiency (WUE) was calculated as the ratio between photosynthesis and transpiration rate.

It has been found that there are interspecies differences in salinization when the least sensitive species to salinity was mangold, less sensitive was fodder beet and the most sensitive was sugar beet, which even died the last day of measurement at the highest salt concentration (350 mM NaCl). The highest drop of  $1.27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  at the rate of photosynthesis was found in sugar beet. The highest measured difference of  $1.08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  in the transpiration rate between the control variant and the S4 variant was found in the chard. Mangold had the highest difference of  $0.082 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  stomatal conductivity between the control variant and the S4 variant. The highest difference in the chlorophyll fluorescence rate of 0.18 between variants was measured in sugar beet. Furthermore, it has been found that there are interspecies differences in water management due to the effect of salinity, based on WUE values. It has been shown that at concentrations of 250 mM NaCl and 350 mM NaCl, the beet species more effectively manage water. The highest water efficiency of  $8.44 (10^{-3})$  for fodder beet was found at 250 mM. Sugar beet has been shown to have the highest water utilization efficiency of  $6.67 (10^{-3})$  at a concentration of 350 mM NaCl. The highest water utilization efficiency of  $9.65 (10^{-3})$  was found in the chard at saline 350 mM.

**Keywords:** sugar beet, swiss chard, fodder beet, salinity, gas exchange

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl a hypotézy práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Beta</i> L. – řepa</b> .....	<b>3</b>
3.1.1	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>crassa</i> Alef. – krmná řepa .....	4
3.1.2	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>altissima</i> Döll – cukrovka, cukrová řepa .....	4
3.1.3	<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>cicla</i> (L.) – řepa obecná listová, mangold (cvikla).....	4
<b>3.2</b>	<b>Stres</b> .....	<b>5</b>
3.2.1	Abiotický stres.....	7
<b>3.3</b>	<b>Vliv zasolení na rostliny</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>Charakteristika pokusného materiálu</b> .....	<b>11</b>
<b>4.2</b>	<b>Založení pokusu</b> .....	<b>11</b>
<b>4.3</b>	<b>Metody měření sledových charakteristik</b> .....	<b>12</b>
4.3.1	Stanovení rychlosti výměny plynů .....	12
4.3.2	Stanovení fluorescence chlorofylů .....	12
4.3.3	Efektivita využití vody .....	12
<b>5</b>	<b>Výsledky</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>Rychlost transpirace</b> .....	<b>13</b>
<b>5.2</b>	<b>Rychlost fotosyntézy</b> .....	<b>19</b>
<b>5.3</b>	<b>Fluorescence</b> .....	<b>24</b>
<b>5.4</b>	<b>Efektivita využití vody (WUE)</b> .....	<b>25</b>
<b>5.5</b>	<b>Stomatální vodivost</b> .....	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze</b> .....	<b>27</b>
<b>6.1</b>	<b>Rychlost transpirace</b> .....	<b>27</b>
<b>6.2</b>	<b>Rychlost fotosyntézy</b> .....	<b>27</b>
<b>6.3</b>	<b>Fluorescence</b> .....	<b>28</b>
<b>6.4</b>	<b>Efektivita využití vody (WUE)</b> .....	<b>29</b>

<b>6.5</b>	<b>Stomatální vodivost.....</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>31</b>

# 1 Úvod

Zasolení půd je jedním z nejvýznamnějších problémů dnešní doby, která ohrožuje zemědělskou produkci. Salinita postihuje zejména zavlažované půdy v oblastech, kde se využívá brakická voda. Celosvětově ubývají obrovské plochy polí právě v důsledku zasolení.

Rod řepa je rod celosvětového významu jakožto krmné plodin, zeleniny, zdroje cukru a jeho tolerance k určitým hladinám zasolení. Zasolení může mít jak morfologický, tak fyziologický vliv na rostliny, jako je například změna v rychlosti výměny plynů. Rod řepa patří mezi tzv. halofytní rostliny, které se vyznačují tolerancí k zasolení oproti rostlinám tzv. glykofitním, mezi které patří většina světových plodin. Právě z důvodu fyziologických vlastností, které předurčují rod řepa k pěstování na do určité míry zasolené půdě, bude zvyšován tlak na pěstování tohoto rodu v salinitou postižených oblastech.

Měřením a vyhodnocováním fyziologických vlastností 3 vybraných odrůd (Hako, Dobrovická A a Lucullus) 3 druhů rodu řepa (krmná řepa, cukrová řepa a mangold) se bude tato bakalářská práce zabývat.



## 2 Cíl a hypotézy práce

Salinita je jedním z nejdůležitějších stresorů omezujících produktivitu zemědělských plodin, kdy se její negativní vliv projevuje na klíčivost, intenzitu rostlin a výnosy. Solný stres postihuje mnoho zavlažovaných oblastí především kvůli využití brakické vody. Celosvětově je více než 45 milionů hektarů zavlažované půdy poškozeno solí a 1,5 milionu hektarů půdy nelze využít pro pěstování rostlin. Rod řepa byl vybrán v souvislosti s předpokladem k toleranci vůči mírnému zasolení, vzhledem k přímořským stanovištním podmínkám, ve kterých se ve volné přírodě běžně nachází.

Na základě těchto skutečností byly stanoveny následující cíle práce:

1. Sledovat vliv rozdílné koncentrace chloridu sodného na fyziologické parametry vybraných zástupců rodu řepa.
2. Stanovit míru tolerance/citlivosti juvenilních rostlin vybraných druhů rodu řepa na zasolení.

Z navrhovaných cílů práce vyplývají následující hypotézy:

1. Existují mezidruhové rozdíly v reakci na zasolení.
2. Ovlivňuje zasolení rychlost fotosyntézy a transpirace, stomatální vodivosti a fluorescenci chlorofylů.
3. Existují mezidruhové rozdíly v hospodaření s vodou vlivem působení salinity, stanovené na základě hodnot WUE?

### 3 Literární rešerše

#### 3.1 *Beta* L. – řepa

Je obecně známo, že existují výrazné rozdíly v toleranci k zasolení mezi mnoha plodinami. V rámci rodu *Beta* (řepa) tomu není jinak. Rod *Beta* obsahuje několik rozdílných skupin druhů, které se v toleranci liší, ovšem rozdíly v toleranci jsou i na mnohem nižší úrovni, a to mezi jednolivými genotypy stejného druhu (Bor et al. 2003; Marschner et al. 1981). Podle White et al. (2017) patří tento rod do čeledi *Amaranthaceae* (laskavcovité). Přičemž zástupci této čeledi se vyznačují rozdíly v kapacitě přijímání nebo vylučování sodíku a draslíku. Plané druhy, jako například *Beta maritima* L., se velmi dobře přizpůsobily životu v těchto pro jiné rostliny nehostinných podmínkách, jak uvádí Marschner et al. (1981).

Rod řepa zahrnuje jednoleté až vytrvalé byliny, které jsou rozšířeny od Kapverdských a Kanárských ostrovů přes z. a sz. Evropu, Středozeší a Přední Asii do Střední Asie a Indie. Rostliny se vyznačují tím, že jsou lysé nebo řídce chlupaté se silným křlovým větveným nebo nevětveným kořenem nebo kořenovou bulvou. Lodyhu mají přímou a bohatě větvenou. Přizemní listy jsou dlouze řapíkaté a často zvlňné, lodyžní krátce řapíkaté až přisedlé, přecházející v listeny. Květy mají oboupohlavné, se 2 malými listenci nebo bez nich, jednotlivé nebo v klubíčkách po 2-4(-8), která skládají bohatá složená květenství neboli lata lichoklasů. Okvětí je bylinné, zelenavé nebo korunovité, žlutobílé, 5cípé. Tyčinek mají 5, nitky jsou na bázi splývající ve žláznatý val, semeník je polospodní, 3boký se 2-3(-5) přisedlými bliznami. Nažka je horizontální se zcela uzavřeným ztvrdlým okvětím, které je pevně spojeno s oplodím, na vrcholu oplodí odstává a tvoří jakési víčko. Plody v klubíčku jsou navzájem bázemi spojené, takže opadávají vcelku jako plodenství. Zárodek je podkovovitě až kruhovitě zakřivený (Hejný & Slavík 2003).

Uvedení autoři dále uvádí, že tento rod zahrnuje důležité kultivary jako cukrová řepa, krmná řepa, červená řepa nebo mangold. Mikami et al. (1984) a Schmidt et al. (1991) rod řepa rozdělují do čtyřech sekcí: *Beta*, *Nanae*, *Corollinae* a *Procumbentes*, které vykazují značnou morfološkou variabilitu a geografické rozšíření. Do sekce *Beta* pak zařazují druhy *Beta atriplicifolia*, *Beta patula*, *Beta vulgaris* a její poddruhy a kultivary. Fritzsche et al. (1987) uvádí, že je popsáno 13 druhů, z nichž některé mají významnou ekonomickou hodnotu.

### 3.1.1 *Beta vulgaris* var. *crassa* Alef. – krmná řepa

Tato řepa má bulvy s význačnou pokotylní partií, takže značná část bulvy je nad zemí, v době sklizně až přes jednu polovinu. Bulvy jsou široce vřetenovité, válcovité nebo téměř kulovité, s vnější vrstvou („kůrou“) žlutou nebo načervenalou, dužinou žlutou, oranžovou nebo načervenalou. Dnes se užívá se jako krmivo pro dobytek, pěstována je od 1. poloviny 18. stol., a to nejdříve z Porýní, odkud se rozšířila do dalších evropských zemí. Nejčastěji pěstované odrůdy jsou cv. Kostelecká barres a cv. Bučiansky žltý válec, cv. Hako, cv. Triga, cv. Bara, cv. Gaja, cv. Media aj (Hejný & Slavík 2003).

### 3.1.2 *Beta vulgaris* var. *altissima* Döll – cukrovka, cukrová řepa

Cukrová řepa vznikla ze starších typů krmných řep s bílou bulvou (tzv. bílá slezská řepa) šlechtěním především na velikost bulvy a cukernatost. Se šlechtěním se začínalo teprve na přelomu 18. a 19. stol., tudíž cukrovka je nejmladší z hlavních zemědělských plodin (Hejný & Slavík 2003).

Vyznačuje se bulvou většinou kuželovitou, značně dolů protaženou, která vyčnívá jen málo nad povrch a má nažloutlou vnější vrstvu („kůrou“) a bílou dužinu. Pěstuje se ve velkém měřítku v polních kulturách především jako surovina pro výrobu cukru. Je to celosvětově druhý nejdůležitější zdroj cukru po cukrové třtině. Bulvy cukrovky obsahují nejčastěji 15-18 % sacharózy. Nadzemní části (listy a hlava bulvy) se užívali jako krmivo pro dobytek (Hejný & Slavík 2003).

V raných fázích vývoje je náchylná k zasolení. Její částečně halofytní charakter limituje její kultivaci v zasoleném prostředí. Nicméně cukrová řepa je do určité míry tolerantní k určitým hladinám zasolení. Cukrová řepa může růst lépe v mírných koncentracích NaCl, než při absenci Na. Nicméně ve vyšších koncentracích nad 150 mM NaCl je růst zpomalen až zastaven (Bor et al. 2003; Ghoulam et al. 2002; Ober & Rajabi 2010).

### 3.1.3 *Beta vulgaris* subsp. *cicla* (L.) – řepa obecná listová, mangold (cvikla)

Řepa obecná listová neboli mangold je halofytická rostlina, která má zvýšený růst v prostředí mírného zasolení, což ústí v akumulaci velkého množství Na<sup>+</sup> v jejích pletivech (Ghoulam et al. 2002).

V slaném prostředí mangold vykazuje osmotické změny a akumulaci prolinu a anorganických iontů, jak uvádí Ghoulam et al. (2002). Podle Kaburagi et al. (2014) je mangold v hydroponickém prostředí pod 80 mM NaCl stimulován k rychlosti růstu až

na 146 % oproti nulovému zasolení. Obsah prolinu v alkalickém prostředí je podle Saneoka et al. (1995) vyšší v listech, což způsobuje zpomalení růstu, zatímco obsah glycinbetainu je větší v listech v zasoleném prostředí než v alkalickém prostředí.

Kořen je kulový, jen nevýrazně ztlustlý, často větvený. Přízemní listy často kadeřavé, s řapíkem silným, dužnatým. Pěstuje se občas pro listy, které jsou užívané jako špenátová zelenina (mangold, cvikla). Listy obsahují kromě vitamínu C, karotenu a značné množství minerálních látek a těž betain. Pěstování je omezeno na soukromé zahrádky a přes propagaci se nerozšiřuje. V kultuře starověku byl nejstarším typem pěstovaných řep. Kromě typů listových byly odedávna známy typy řapíkové se silně ztlustlým řapíkem, který se konzumuje na způsob chřestu (Hejný & Slavík 2003).

### 3.2 Stres

Rostliny jsou schopné vykonávat své životní funkce i za poměrně značného kolísání faktorů vnějšího prostředí (Turner & Begg 1981). Pokud proměnlivost negativních faktorů vnějšího prostředí překročí určitou mez (tolerance rostliny), dá se hovořit o stresu rostliny, to znamená, že se postupně objevují poruchy struktur jednotlivých funkcí a následně i orgánů rostliny (Nilsen et al. 1996). Stres ovlivňuje celou rostlinu, a to jak kořeny, tak nadzemní část, ale i vyvíjející se semena (Ansari et al. 2012; Galvan-Ampudia & Testerink 2011; Jackson 1986).

Stres je definice stavu, ve kterém se rostlina nachází pod vlivem stresorů (Nilsen et al. 1996). Stresory ovlivňují růst rostliny, její rozvoj a spouštějí celou řadu reakcí, od pozměněné exprese genů, po modifikace v buněčném metabolismu nebo změny v rychlosti růstu a výnosu (Kacperska 2004). Při působení stresorů může rostlina dosáhnout nového rovnovážného stavu na základě činnosti kompenzačních procesů. Pokud rostlina nezvládne vliv stresorů, tak může dojít až k uhynutí rostliny (Luo et al. 2005; Munné-Bosch 2005).

Rostliny jsou před vystavením stresoru v určité standardní fyziologickém stavu, který je optimem v rámci limitů stanovených růstem, světlem, vodou a živinami dané lokality. Stresory a jiné komplexní stresové události vedou k první ze čtyř fází stresové reakce. Tyto fáze jsou reakční fáze (poplachová fáze), restituční fáze (fáze rezistence), konečná fáze (fáze vyčerpání) a regenerační fáze (Lichtenthaler 1998).

Bezprostředně po začátku působení stresoru či kombinace stresorů reagují rostliny tak, že začnou omezovat jednu, případně více fyziologických funkcí, jako je výkon fotosyntézy, transport metabolitů, anebo příjem a translokace iontů (Lichtenthaler 1998), tím je zahájena poplachová fáze.

Pokud intenzita působení stresoru nepřekročí letální mez, začnou pracovat kompenzační mechanismy, tato fáze se nazývá restituční fáze. Kompenzační mechanismy směřují k zvýšené odolnosti rostliny ve fázi rezistence vůči působícím stresorům.

Při dlouhodobém a intenzivním vlivu stresových faktorů nemusí být zvýšená odolnost rostliny vždy trvalá a může dojít opět k jejímu poklesu na fázi vyčerpání (Larcher 2003).

Po odstranění stresoru vznikne nový fyziologický standard, který se odvíjí od doby přestání jeho působení a stejně tak délce a intenzitě působení stresoru (Lichtenthaler 1998). Výsledkem stresové reakce je podle McKersie & Lesheim (1994) určitá úroveň adaptační schopnosti. Dočasně se může zvýšit i úroveň odolnosti vůči jiným abiotickým stresorům. Pokud se tolerance zvýší v reakci na předchozí vystavení stresorem, tak u rostliny dojde k aklimaci. Ta je rozpoznatelná od adaptace tím, že adaptace je geneticky determinovaná úroveň rezistence, získaná procesem selekce v průběhu mnoha generací. Celá řada rostlinných druhů má schopnost se vyhnout působení stresů. Například u *Thellungiella salsuginea*, slouží bulva jako odkladiště  $\text{Na}^+$  iontů po jejich sekvestraci, čímž zamezuje akumulaci  $\text{Na}^+$  iontů v bočních kořenech a mladých listech. Většinou se však rostlina pokouší o nastolení tolerance vůči stresu (Galvan-Ampudia & Testerink 2011; Lichtenthaler 1998; McKersie & Lesheim 1994; Yordanov et al. 2000).

Negativní fyzikální a chemické vlivy vnějšího prostředí a biologické vlivy se mohou uplatňovat vnitrodruhově mezi rostlinami stejného druhu nebo mezidruhově mezi rostlinou a ostatními organizmy, především viry, bakteriemi, houbami, hmyzem, jinými rostlinnými druhy, vyššími živočichy a člověkem (Lichtenthaler 1998; Rietz & Haynes 2003). Chlad nebo teplo snižují rezistenci rostlin k biotickým stresorům. Kombinace stresorů vede tak zejména k výraznému snížení biomasy a snížení schopností rostliny bránit se patogenům (Atkinson & Urwin 2012; Mittler 2006; Suzuki et al. 2014).

Reprodukční fáze je nejnáchylnější fáze k suchu ze všech fází růstů rostliny, protože velmi silně ovlivňuje výnos a kvalitu semen. Sucho negativně ovlivňuje opylení a to tím, že se sníží počet pylových zrn, čímž se rostlina stává mnohem méně atraktivní pro opylovače a sníží se množství nektaru produkovaného rostlinou. Následně se tím sníží počet semen (Alqudah et al. 2011). Výsledkem je pak oslabená rostlina, produkující méně kvalitní semena. Stresory se tak nepřímo projevují i v životních pochodech rostlin následující generace, přestože již původní negativní vlivy přímo nepůsobí.

Předpokládá se, že negativní efekt různých environmentálních stresorů je alespoň částečně způsoben tvorbou reaktivních forem kyslíku anebo inhibicí systému, který chrání rostlinu proti nim. Reaktivní formy kyslíku jsou produkovány v průběhu aerobního

metabolismu způsobené interakcí  $O_2$  a elektronů které unikají z řetězce elektronového transportu v chloroplastech a mitochondriích (Alscher et al. 1997; Bayliss 1985; Bor et al. 2003). Reaktivní formy kyslíku zahrnují singletový kyslík a superoxidový anion ( $O_2^-$ ), peroxid vodíku ( $H_2O_2$ ) a samotný kyslík ( $O_2$ ). Superoxidový radikál je produkován na membránové úrovni ve většině organel rostlinné buňky a peroxid vodíku je produkt superoxidodismutázy a několika oxidáz peroxizomů. Úloha těchto látek ve stresovaných rostlinách je rozmanitá (del Río et al. 1992; Thompson et al. 1987).

Role antioxidačních enzymů ve stresové reakci rostlin není zcela známá. Podle Bor et al. (2003) stres zasolením způsobuje stavy oxidativního stresu. Uvedený vztah byl nalezen např. u *Triticum durum* (Meneguzzo et al. 1999).

Kořeny jsou stresory ovlivňovány stejně tak jako ostatní části rostliny. V nepříznivých podmínkách u kořenového systému dochází především ke změnám v příjmu živin. Z nadzemních částí rostliny se přesouvají zásobní látky, které pak jsou využívány k tvorbě nových kořenů. Vlivem stresorů se mění i jednotlivé znaky kořenů, které jsou typické často pro daný typ stresoru. V závislosti na fenotypové plasticitě, rostliny mohou přizpůsobit stavbu kořenového systému a směr růstu kořenů, aby se vyhnuly lokálně vysokým koncentracím soli (Galvan-Ampudia & Testerink 2011; Hoogenboom et al. 1987).

### **3.2.1 Abiotický stres**

Rostlina reaguje specificky na kombinaci abiotických stresorů, reakce rostliny se liší oproti stavu, kdy na rostlinu působí stresory jednotlivě (Mittler 2006).

Abiotický stres jako je sucho, zasolení, extrémní teploty, chemické znečištění a oxidační stres jsou primární celosvětovou příčinou snížení výnosu o více než 50 %. Sucho, zasolení, extrémní teploty a oxidační stres jsou většinou vzájemně propojeny a mohou způsobovat podobné buněčné poškození. Kupříkladu sucho anebo zasolení se projevují primárně osmotickým stresem (Serrano et al. 1999; Zhu 2001).

Některé regiony jsou ohroženy zasolením a suchem, přičemž výrazné zasolení může postihnout do roku 2050 až 50 % veškeré úrodné půdy (Boyer 1982; Wang et al. 2001).

### **3.3 Vliv zasolení na rostliny**

Již na buněčné úrovni se může projevit stres zasolením, kdy dochází k bubření protoplazmy a k zastavení dělivého i dlouhivého růstu. Odolné protoplasty mohou přežít i koncentrace 4 až 8 % roztoku NaCl, ale citlivé protoplasty k solím odumírají v roztocích s koncentrací jenom 1,5 %. Adaptačním mechanismem odolnosti protoplazmy k zasolení je způsob nerovnoměrného rozdělování iontů solí. Většina solí se ukládá ve vakuole, a tudíž

zůstává koncentrace solí nízká. Tato disproporce vyvolává hromadění organických sloučenin v cytoplazmě. Nerovnoměrné rozdělení solí v buňce zajišťují iontové pumpy v hraničních vrstvách cytoplazmy (Bláha et al. 2003).

Fotosyntéza, jakžto jeden z nejpodstatnějších fyziologických procesů, poskytuje přes 90 % sušiny rostliny (Steduto et al. 2000). Fotosyntetická kapacita rostlin rostoucích v zasoleném prostředí je snižována v závislosti na typu zasolení, délce působení stresoru, druhu a vývojové fázi rostliny (Dadkhah 2011; Koyro 2006; Steduto et al. 2000; Sultana et al. 1999). Podle Dadkhah (2011); Koyro (2006) je snížení fotosyntézy způsobeno snížením stomatální vodivosti a restrikce přístupného CO<sub>2</sub> pro karboxylaci, také dochází ke snížení transpirace.

Ačkoli snížení fotosyntézy způsobené zasolením je částečně způsobeno redukcí stomatální vodivosti, ale také nestomatální inhibicí fotosyntézy. Nestomatální inhibice fotosyntézy je dána přímým účinkem NaCl na fotosyntetický aparát (Dadkhah 2011; Sultana et al. 1999; Steduto et al. 2000).

Obecně se podle odolnosti vůči zasolení dají rozdělit rostliny do dvou hlavních skupin: halofyty a glykofyty (Munns & Tester 2008).

Podle Mořkové et al. (2014) jsou halofyty rostliny schopné využít ke svému růstu vodu i s více než 0,5% obsahem soli. Rostliny se adaptují k zasolení dvěma hlavními způsoby. První adaptační mechanismus je řízený příjmem solí pomocí selektivní plazmatické membrány, jež zabraňuje proniknutí nadbytečných iontů do buněk kořenů. Druhým adaptačním mechanismem je ukládání solí do vakuol nebo apoplastu. Část solí rostlina transportuje do nadzemní části, kde je i následně vylučována na povrchu listů. Následně vysoký osmotický tlak vakuolární šťávy se pak musí vyrovnávat zvýšením koncentrace kompatibilních osmoticky aktivních látek, jako jsou kvartérní amoniové soli, aminokyseliny nebo cukry, v cytosolu (Mořková et al. 2014).

Oproti tomu glykofyty jsou rostliny náchylné i k nízkým koncentracím zasolení. Mezi ně patří většina světových tržních plodin, například rýže setá (*Oryza sativa*), ječmen setý (*Hordeum vulgare*) a pšenice setá (*Triticum aestivum*) (Horie et al. 2012; Sanada et al. 1995).

Půdní zasolení se v přirozených podmínkách vyskytuje poměrně málo jako stresor. Zasolení vniká v důsledku půdních nebo klimatických podmínek a postihuje nejenom přímořské oblasti, ale i vnitrozemské oblasti, kde potenciální výpar vody převažuje nad srážkami. Vnitrozemské oblasti nejvíce postižené zasolením zahrnují zejména pouště či polopouště (Bláha et al. 2003).

V České republice se můžeme také setkat s přirozeně slanými půdami. Nejčastěji je nalezneme v oblastech s minerálními prameny. Například v západních Čechách, v Podkrušnohoří byla slaniska vázána právě na slané prameny. Většina těchto slanisek dnes již zanikla. Ve výsušném prostředí, kde výpar vody z půdy převyšuje nad srážkami, dochází ke vzlínání roztoků solí a vysrážení výkvětů solí na povrchu půdy (Bláha et al. 2003).

K zasolení půd činností člověka dochází například nevhodným používáním závlah, při přehnojení a zasolení u silnic (Larcher 2003; Rietz & Haynes 2003).

Je obecně známo, že stres zasolením způsobuje různé biochemické a fyziologické reakce u rostlin a ovlivňuje skoro všechny procesy v rostlině, včetně fotosyntézy, růstu a vývoje (Nemoto & Sasakuma 2002). Nejběžněji je stres způsoben vysokou koncentrací  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  v půdním roztoku (Hasegawa et al. 2000). Hlavním důsledkem zasolení je deficit vody a přebytek iontů (Greenway & Munns 1980), který způsobuje osmotický stres a porušuje iontovou rovnováhu (Hasegawa et al. 2000).

V průběhu iniciační fáze zasolení, rostlina zažívá vodní stres, který snižuje zvětšování listové plochy (Sultana et al. 1999).

Náhlé zasolení rostlin citlivých k zasolení nebo vodnímu stresu často zvyšuje jejich respiraci. Například *Hordeum vulgare* zvýší kořenový vztlak při vystavení 10 mM NaCl. To může znamenat zvýšenou potřebu respirační energie a nebou zvýšenou aktivitu alternativní cesty, kde uhlík používaný k růstu ubývá rychleji, než je získáván fotosyntézou (Collier & Cummins 1996; Lambers et al. 1998).

Dlouhodobé zasolení citlivých rostlin k zasolení nebo vodnímu stresu, jako například *Triticum aestivum*, postupně vede ke snižování respirace, jež vede ke snižování asimilace uhlíku a snižování růstu v těchto podmínkách. Další snižování kořenového vztlaku u *Triticum aestivum* po vystavení suchu může znamenat specifický úpadek v alternativní cestě. Úpadek koreluje s akumulací osmotických solutů, což vede ke snižování dostupnosti cukrů (Collier & Cummins 1996; Lambers et al. 1998).

Také vodní potenciál v listech snižuje svoji hodnotu a tím dochází k snížení respirace. Důvodem pravděpodobně je snížení energetických nároků rostliny pro růst anebo fotosyntézu (Collier & Cummins 1996; Lambers et al. 1998).

Mnohé procesy v rostlině jsou mnohem více citlivé k nízkému vodnímu potenciálu, než stomatální vodivost a fotosyntéza. Redukce růstu v prostředí nízkého vodního potenciálu je způsobena inhibicí více citlivých procesů, jako je elongace listových buněk a syntéza proteinů. Oproti tomu elongace u kořenů je ovlivněna minimálně (Lambers et al. 1998).



Uzavření průduchů vlivem vodního deficitu způsobí tvorbu reaktivních forem kyslíku, které jsou vysoce toxické a mohou způsobovat poškození mnoha podstatných buněčných struktur (Fu & Huang 2001). Efekt hyperosmotického a hyperiontového stresu může způsobit až úmrtí rostliny. Nicméně vysoké úrovně poškození mohou být odvráceny pomocí akumulace osmolytů jako jsou karbohydráty, prolin a glycinbetain anebo snížení koncentrace iontů v cytoplazmě restrikcí přísunu  $\text{Na}^+$  nebo jeho sekvestrací do vakuoly (Hasegawa et al. 2000).

Mnohé rostliny běžně akumulují glycinbetain a prolin jako hlavní osmolyty v případě vystavení různým abiotickým stresorům jako je sucho, zasolení, extrémní teploty, UV záření a těžké kovy. U těchto látek se předpokládá adaptivní role v upravování osmotického tlaku a chránění subcelulárních struktur v stresovaných rostlinách (Ashraf & Foolad 2007). Dále je glycinbetain běžný v chloroplastech, kde chrání membránové struktury, konkrétně membrány thylakoidů, v případě vystavení vysokým koncentracím  $\text{NaCl}$ , tím pádem udržuje efektivitu fotosyntézy a snižují hladinu reaktivních forem kyslíku (Ashraf & Foolad 2007; Crowe et al. 1992; Murata et al. 1992; Saneoka et al. 1995). Prolin se zvyšuje proporcionálně rychleji než jiné aminokyseliny při vodním stresu a bylo zjištěno, že se množství exogenního prolinu zvýšilo u solí stresovaných buněčných kultur (Bates et al. 1973; Hoque et al. 2007).

Homeostáza koncentrace intracelulárních iontů je základní pro fyziologii živých buněk a nižší poměr  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  v cytosolu je podstatný pro udržení buněčného metabolismu. Nicméně, vnější přebytek  $\text{Na}^+$  negativně ovlivňuje intracelulární příliv  $\text{K}^+$ , který když se nahromadí, tak poruší stability iontů a způsobí toxicitu enzymům v živých buňkách (Hasegawa et al. 2000; Zhu 2003).  $\text{K}^+$  hraje aktivní roli v udržování fotosyntetických aparátů a nedostatek  $\text{K}^+$  snižuje fotosyntetickou aktivitu, obsah chlorofylu a translokaci fixovaného uhlíku (Szczzerba et al. 2009).

## 4 Metodika

Vliv zasolení na fyziologické parametry rostlin byl sledován u vybraných druhů rodu řepa. V juvenilních fázích vývoje byly sledovány hodnoty fotosyntézy, transpirace, stomatální vodivosti a fluorescence chlorofylů. Z hodnot fotosyntézy a transpirace byla vypočtena efektivita využití vody.

### 4.1 Charakteristika pokusného materiálu

Z rodu řepa byly vybrány 3 v ČR pěstované druhy: krmná řepa (*Beta vulgaris* var. *crassa* Alef.), cukrová řepa (*Beta vulgaris* var. *altissima* Döll) a mangold (*Beta vulgaris* subsp. *cicla* L.). Dále byla z každého druhu vybrána jedna odrůda. Odrůdy byly vybrány z dostupných odrůd v České republice. Za druh krmná řepa byla vybrána odrůda Hako, za cukrovou řepu odrůda Dobrovická A a za mangold odrůda Lucullus.

Dobrovická A dnes již nepatří mezi běžně pěstované odrůdy, ovšem je to odrůda z historického hlediska významná, která se hojně pěstovala v Československu před rokem 1989. Jedná se o víceklíčkovou odrůdu výnosného typu. Na tuto dobu dávala poměrně dobrý a stabilní výnos, ovšem s nízkou cukernatostí okolo 15 % (Chochola 2012).

Hako je triploidní víceklíčková výnosná odrůda, objemového typu. Má polovzpřímené postavení listové růžice, žlutooranžovou barvu bulvy, která má válcovitý tvar. Odrůda je odolná proti vybíhání do květu, je méně odolná proti napadení komplexem listových skvrnitostí (Al-Jbawi et al. 2016; Pokorný 2019).

Lucullus je řapíkatá odrůda mangoldu, která je určená k řezu. Má široké listy, tlustá žebra a s řapíky až 6 cm široké a 2 - 3 cm silné. Rostlina má světle zelenou barvu čepele listů a obrůstá. V roce poskytuje několik sklizní a nevybíhá do květu. (Šebela 2019).

### 4.2 Založení pokusu

Nádobový pokus byl založen v částečně řízených skleníkových podmínkách. Teplota prostředí byla udržována na 20 °C ve dne a 19 °C v noci, pokus se uskutečnil za přirozeného světelného režimu. Schéma pokusu zahrnovalo pět variant: kontrolní (0 mM NaCl), S1 (50 mM NaCl), S2 (150 mM NaCl), S3 (250 mM NaCl), S4 (350 mM NaCl). Roztoky NaCl byly aplikovány v modifikovaném živném roztoku dle Hoaglanda. Koncentrace soli se zvyšovala ve dvoudenních intervalech po 50 mM NaCl. Pokusné rostliny byly pěstovány v nádobách o velikosti 11x11 cm, v směsi rašeliny a vyzrálého kůrového humusu.

Pokus byl zahájen ve vývojové fázi 14 BBCH. Měření následovalo po každém navýšení koncentrace soli a po dosažení maximální koncentrace se měření uskutečnilo 1x týdně po dobu 7 týdnů.

### **4.3 Metody měření sledových charakteristik**

#### **4.3.1 Stanovení rychlosti výměny plynů**

Výměna plynů byla sledována pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro+. LCpro+ je gazometrický přístroj pro měření fyziologických parametrů jako je rychlost transpirace a fotosyntézy, stomatální vodivost a bilanci CO<sub>2</sub>. Jedná se o přístroj k měření CO<sub>2</sub>, který využívá k měření nerozptýlené infračervené záření. Oxid uhličitý absorbuje v poměru ke koncentraci plynu infračervené oblasti. Jedno měření trvá okolo 20 sekund, kdy dochází ke střídání retenčního plynu a analyzovaného plynu s tzv. nulovým plynem. Následná rychlost transpirace a fotosyntézy přístroj spočítá z průtoku a změny koncentrace retenčního a analyzovaného plynu (Ekotechnika.cz 2019).

Pokusné rostliny byly měřeny při konstantním osvětlení 650  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a teplotě 25 °C.

#### **4.3.2 Stanovení fluorescence chlorofylů**

Fluorescence chlorofylů byla stanovena pomocí fluorometru OS5p, což je přenosný fluorometr určený pro detekci a přesné změření většiny typů rostlinného stresu (Ekotechnika.cz 2019).

Měření začínalo rozmístěním klipů na listy pokusných rostlin. Po 30 minutách se provádělo měření. Do každého klipu bylo následně posvíceno pomocí fluorometru, který tímto vyhodnotil fluorescenci chlorofylů (Ekotechnika.cz 2019). Měřeny byly pouze fyziologicky dospělé listy.

#### **4.3.3 Efektivita využití vody**

Efektivita využití vody (WUE), byla spočítána jako poměr mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace. Byla spočítána pomocí následujícího vzorce:  $WUE = A/E$  ( $10^{-3}$ ), A je intenzita fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a E je intenzita transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

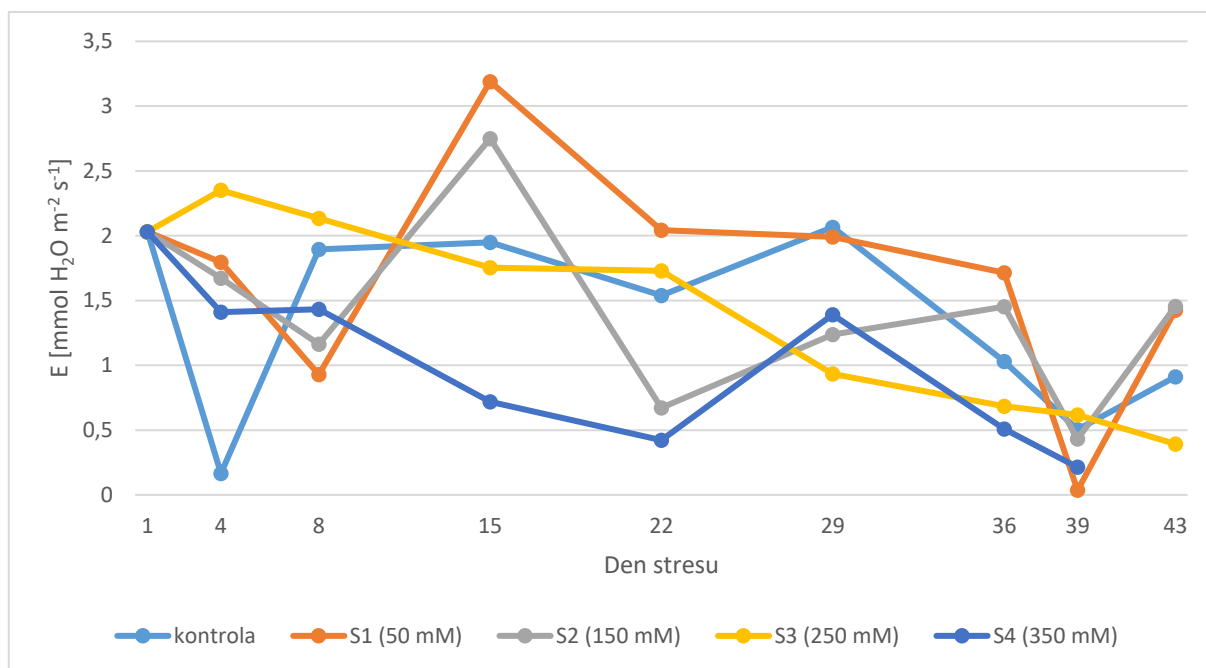
## 5 Výsledky

U tří druhů (cukrová řepa, krmná řepa, mangold) byl měřen vliv zasolení na fyziologické charakteristiky (fotosyntézy, transpirace, stomatální vodivosti a fluorescence chlorofylů). Z naměřených hodnot fotosyntézy a transpirace byla vypočtena efektivita využití vody.

### 5.1 Rychlost transpirace

Graf 1. zobrazuje vliv zasolení na rychlost transpirace u odrůdy cukrové řepy Dobrovické A. Z grafu vyplývá, že nejnižší rychlosti transpirace  $0,36 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  bylo dosaženo 39. den měření u varianty S1, kdy se rychlost přibližovala 0. Nejvyšší rychlost byla naměřena 15. den u varianty S1 a to  $3,19 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou činil  $2,83 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

**Graf 1.** Rychlost transpirace odrůdy cukrové řepy Dobrovické A v závislosti na variantě pokusu.



Kontrolní varianta dosáhla nejnižší hodnoty 4. den měření -  $0,16 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Poté vzrostla 8. den měření na  $1,9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Maximální hodnota transpirace byla zaznamenána 29. den ( $2,07 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Poté mezi 29. a 39. dnem nastalo snížení rychlosti transpirace o  $1,57 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , které bylo vystřídáno zvýšením na hodnotu  $0,91 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Varianta S1 vykazovala v průběhu měření nejvyšší rozdíly v rychlosti transpirace, kdy maximální hodnoty  $3,19 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dosáhla 15. den a nejnižší 39. den

(0,36 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Varianta S1 snižovala rychlost transpirace do 8. dne měření. Tento pokles byl vystřídán strmým nárůstem v 15. dnu. V tomto termínu došlo k nejvyššímu nárůstu o 2,26 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> mezi 2 měřeními u odrůdy cukrové řepy Dobrovické A. Poté následoval pokles na již zmiňované minimum ve 39. dni. Uvedený pokles byl opět vystřídán nárůstem poslední den měření (1,43 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), jak dokládá graf 1.

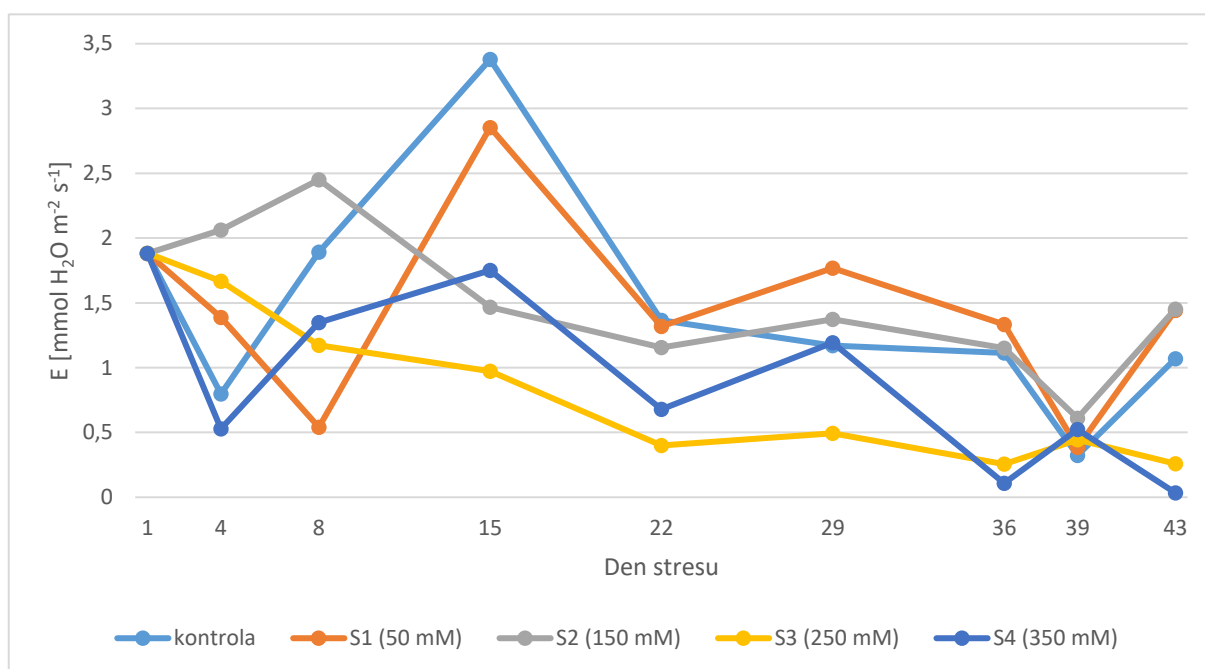
U varianty S2 postupně klesala rychlost transpirace do 8. dne měření, kdy dosáhla hodnoty 1,17 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Poté rychlost transpirace se zvýšila na maximum - 2,75 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. V následujícím se rychlost transpirace snížila na hodnotu 0,67 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Rychlost transpirace se poté zvýšila na hodnotu 1,45 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Toto zvýšení bylo vystřídáno poklesem na minimální hodnotu 0,43 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Následovalo zvýšení rychlosti na 1,46 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> 43. den měření, kdy tato varianta dosáhla prakticky totožné rychlosti transpirace jako varianta S1, viz graf 1.

U rostlin z varianty S3 byla rychlost transpirace stabilní. Od prvního dne došlo k zvýšení na maximum varianty 2,35 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> 4. den měření a poté již následoval relativně stabilní pokles až po 43. den, kdy bylo naměřeno minimum varianty 0,39 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

Varianta S4 měla nejvyšší rychlost transpirace první den měření 2,04 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Následující měření vykazovala sestupný trend v rychlosti transpirace až po 22. den měření, kdy byla naměřena rychlost 0,42 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Poté následovalo zvýšení rychlosti na 1,39 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Po 29. dnem následoval pokles až do 39. dne (0,21 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Měření 43. den u této varianty neprobíhalo neuskutečnilo, z důvodu úhynu pokusných rostlin.

Graf 2. zobrazuje vliv zasolení na rychlost transpirace u odrůdy krmné řepy Hako. Z naměřených hodnot vyplývá, že nejnižší rychlosti transpirace 0,03 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> bylo dosaženo 43. den měření u varianty S4, kdy se rychlost transpirace rovnala skoro 0. Maximální rychlost transpirace 3,38 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> byla naměřena u kontrolní varianty 15. den měření. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byl 3,35 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

**Graf 2.** Rychlost transpirace odrůdy krmné řepy Hako v závislosti na variantě pokusu.



Kontrolní varianta vykazovala pokles hodnot od prvního dne měření po 4. den na hodnotu 0,53 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Od 4. dne naměřené hodnoty transpirace se zvyšovaly po 15. den (3,35 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Poté následoval pokles transpirace až po 39. den (0,32 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). V následující měření se transpirace zvýšila na hodnotu 1,07 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

Varianta S1 vykazovala klesající trend od 1. dne po 8. den měření, kdy byla naměřena rychlost transpirace 0,54 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Poté následovalo výrazné zvýšení rychlosti transpirace na 2,85 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (15. den). Tento rozdíl činil 2,31 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Zvýšení rychlosti transpirace bylo vystřídáno poklesem na hodnotu 1,32 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Následující měření, 29. den, nastalo mírné zvýšení rychlosti transpirace na 1,77 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Po tomto měření se rychlost transpirace opět snížila na 0,39 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Poslední den měření se transpirace zvýšila na 1,44 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

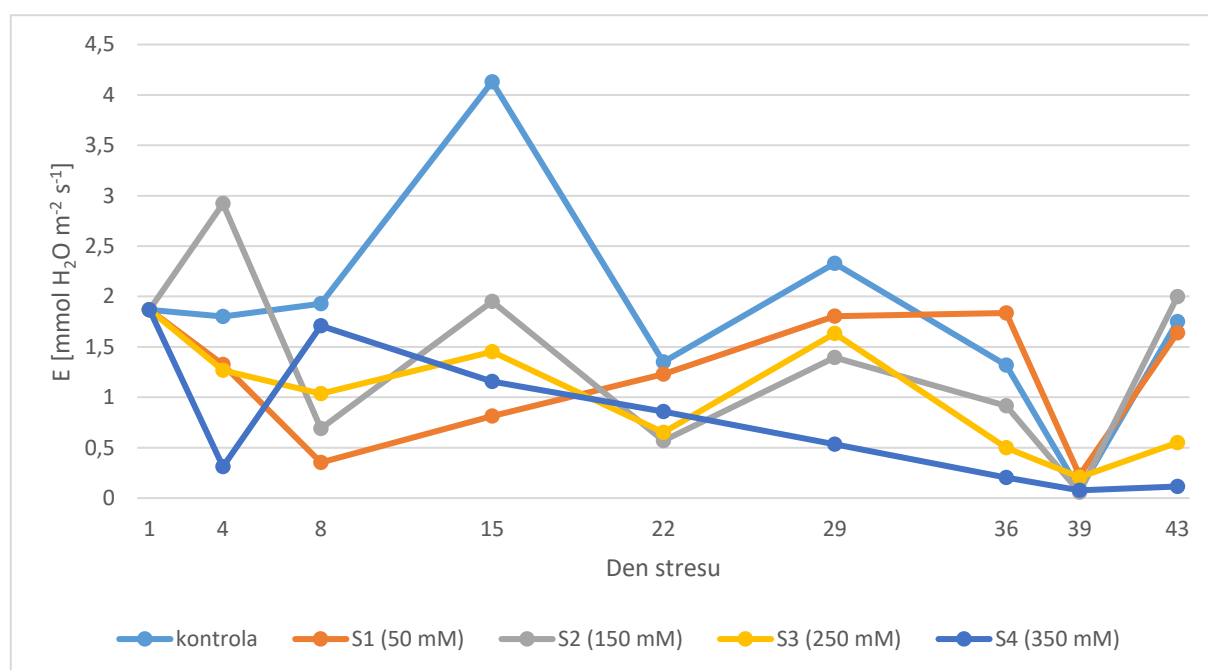
U rostlin rostoucích ve variantě S2, se rychlost transpirace zvýšila 4. den měření na 2,06 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Trend zvyšování rychlosti pokračoval až do 8. dne měření (2,45 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Poté následoval postupný pokles hodnot, mimo mírné zvýšení rychlosti transpirace 29. den až k 39. dni měření, kdy byla naměřena nejnižší rychlost transpirace rostlin u rostlin z této varianty - 0,61 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Poslední den měření se rychlost transpirace zvýšila na 1,45 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, viz graf 2.

Z uvedeného grafu dále vyplývá, že rostliny z varianty S3 vykazovaly stabilní trend rychlosti transpirace. Rychlost transpirace u této varianty byla v rozpětí hodnot od 1,88 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (1. den) do 0,25 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (36. den a 43. den).

Rychlost transpirace u varianty S4 se snižovala od prvního dne (1,88 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) do 4. dne (0,53 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Tento pokles byl vystřídán nárůstem transpirace na hodnotu 1,75 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Mezi 15. dnem a posledním měřením 43. dne se rychlost transpirace snížila o 1,72 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

Graf 3. zobrazuje vliv zasolení na rychlost transpirace u odrůdy mangoldu Lucullus. Z naměřených hodnot vyplývá, že minimální rychlost transpirace 0,08 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> byla naměřena 39. den měření u varianty S4, kdy se rychlost transpirace rovnala skoro 0. Maximální rychlost transpirace 4,13 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> byla naměřena u kontrolní varianty 15. den měření. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byl 4,05 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

**Graf 3.** Rychlost transpirace odrůdy mangoldu Lucullus v závislosti na variantě pokusu.



Kontrolní rostliny varianta vykazovaly nárůst rychlosti transpirace od 4. dne měření až po 15. den měření, kdy dosáhla maximální rychlosti 4,13 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Poté následoval výrazný pokles na 1,35 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (22. den), který byl vystřídán zvýšením transpirace na hodnotu 2,33 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (29. den). Poté rychlost transpirace klesala až do 39. dne měření (0,08 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Na konci pokusu se rychlost transpirace zvýšila na hodnotu 1,75 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, jak dokládá graf 3.

Varianta S1 měla nejvyšší rychlost transpirace první den měření (1,87 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Poté se rychlost transpirace snižovala až do 8. den měření (0,35 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). Na konci pokusu se transpirace opět zvýšila na hodnotu 1,64 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

U varianty S2 se transpirace nejprve zvýšila o 1,05 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (4. den měření) na 2,92 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Mezi 4. a 39. dnem se transpirace snížila o 2,86 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> na 0,06 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Poslední den měření se opět transpirace zvýšila na hodnotu 2 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

Varianta S3 měla nejvyšší rychlost transpirace 1. den měření 1,87 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Minimální rychlost transpirace byla zaznamenána 39. den pokusu (0,21 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>).

Varianta S4 měla obdobně jako ostatní varianty s vysokým zasolením nejvyšší rychlost transpirace 1,87 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> první den měření. Poté následoval pokles transpirace o 1,56 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (4. den). Snižující rychlost transpirace byla zaznamenána až do 39. dne pokusu (0,08 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>).

Graf 4 znázorňuje vliv druhu a odrůdy na průměrnou rychlost transpirace v rámci variant pokusu. Nejcitlivější na zasolení se podle dat z grafu 4 jeví odrůda mangoldu Lucullus. Zatímco nejtolerantnější k zasolení podle uvedeného grafu vychází odrůda cukrové řepy Dobrovická A.

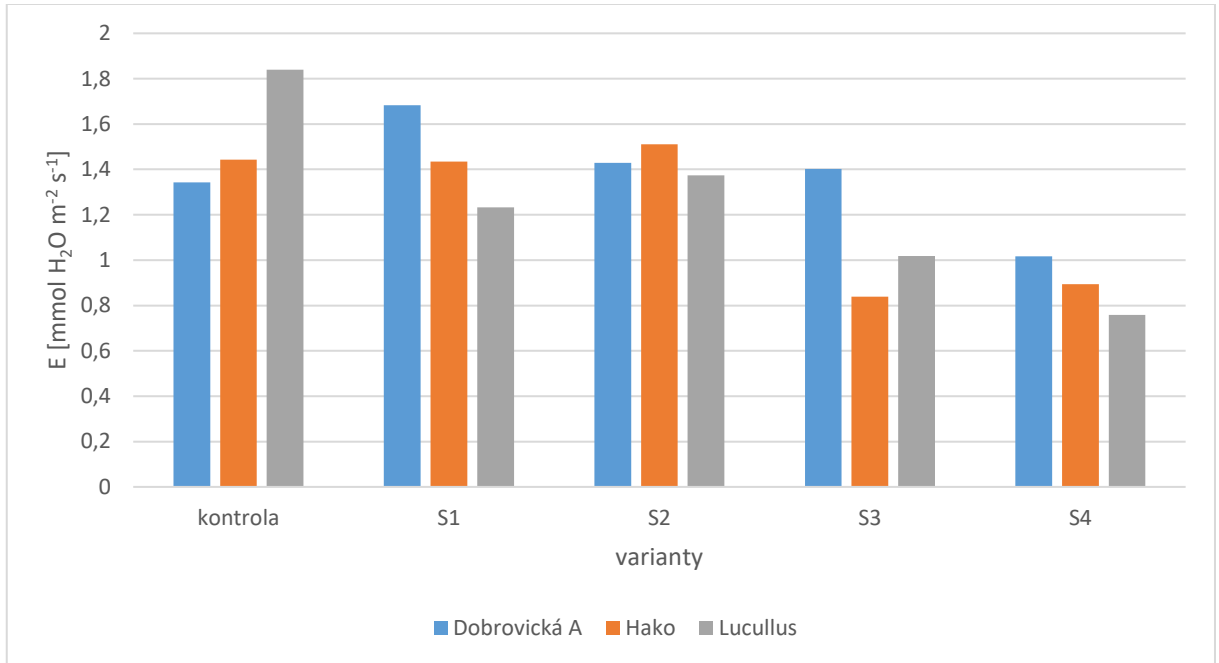
V rámci kontrolní varianty vyšla s nejrychlejší průměrnou transpirací (1,84 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) odrůda Lucullus. Naopak nejnižší průměrnou rychlost (1,34 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) měla odrůda Dobrovická A. Naopak u varianty S1 vyšla s nejrychlejší průměrnou rychlostí transpirace (1,68 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) Dobrovická A, ale nejnižší průměrnou rychlost (1,23 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) měla odrůda Lucullus.

Z toho vyplývá, že i malé množství soli v půdě mělo vliv na transpiraci těchto dvou odrůd. Odrůda krmné řepy Hako měla prakticky totožnou průměrnou rychlost transpirace u kontrolní varianty a varianty S1. Z toho lze vyvozovat, že mírné zasolení na ni nemělo vliv. Rozdíly v rychlosti transpirace rostlin u varianty S2 byl v rámci sledovaných rostlin vyrovnán. U varianty S3 dopadla nejlépe Dobrovická A, která měla průměrnou rychlost transpirace pouze o 0,06 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> vyšší než u kontroly. Z toho lze vyvodit, že i takto vysoké zasolení mělo u Dobrovické A nízký vliv na průměrnou transpiraci. Odrůda Hako ve variantě S3 měla nižší rychlost transpirace v porovnání s kontrolou 0,61 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. U varianty S4 měly odrůdy Hako i Dobrovická A své minimální průměrné hodnoty. Odrůda Lucullus zaznamenala snížení průměrné rychlosti transpirace již o 1,08 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>



oproti kontrolní variantě. Dobrovická A zažila v průměrné rychlosti transpirace pokles o  $0,33 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

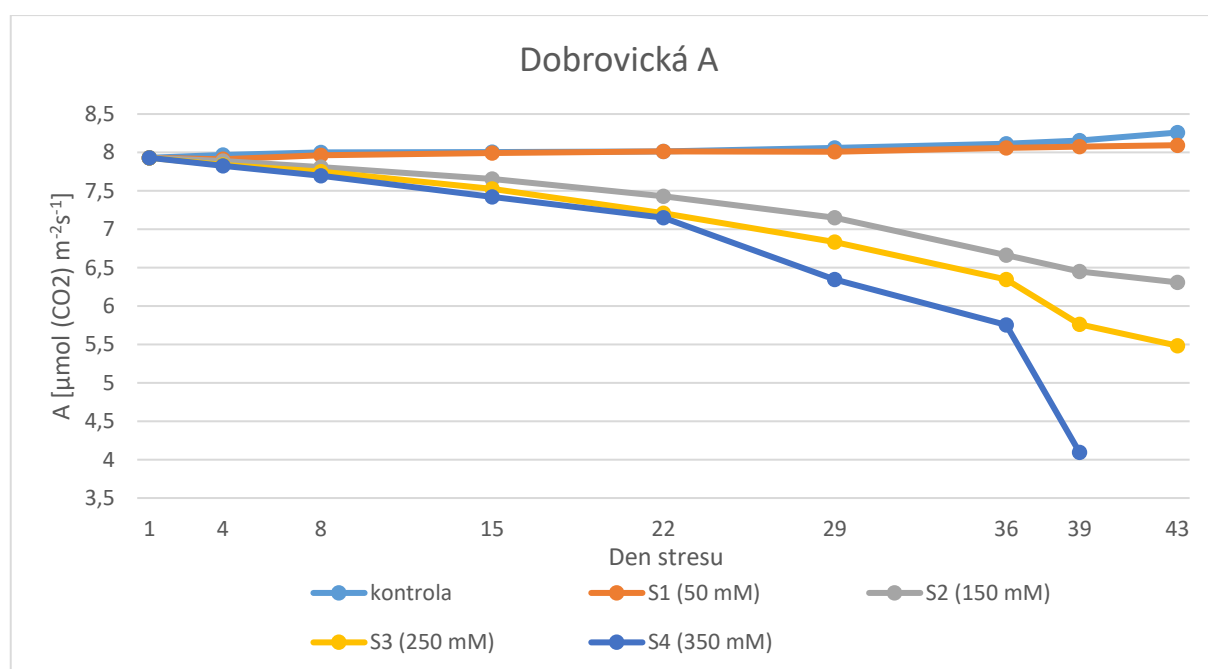
**Graf 4.** Průměrné rychlosti transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě.



## 5.2 Rychlost fotosyntézy

Vliv zasolení na rychlost fotosyntézy u odrůdy cukrové řepy Dobrovické A je znázorněn v grafu 5. Z grafu je patrné, že rychlost fotosyntézy byla prakticky totožná u kontrolní varianty a varianty S1. Nejvyšší hodnota byla naměřena u kontrolní varianty 43. den od počátku měření ( $8,26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), nejnižší hodnoty  $4,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dosáhla varianta S4 s nejvyšší koncentrací soli (350 mM) 39. den měření.

**Graf 5.** Rychlost fotosyntézy odrůdy cukrové řepy Dobrovické A v závislosti variantě pokusu.



Kontrolní varianta vykazovala v průběhu měření snížení rychlosti fotosyntézy s nejvyšší naměřenou hodnotou 43. den  $8,26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a nejnižší hodnotou 1. den měření  $7,93 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Varianta S1 měla stejně jako kontrolní varianta stabilní hodnoty fotosyntézy. Nejnižší hodnoty dosáhla 4. den ( $7,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) a nejvyšší hodnoty  $8,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (43. den).

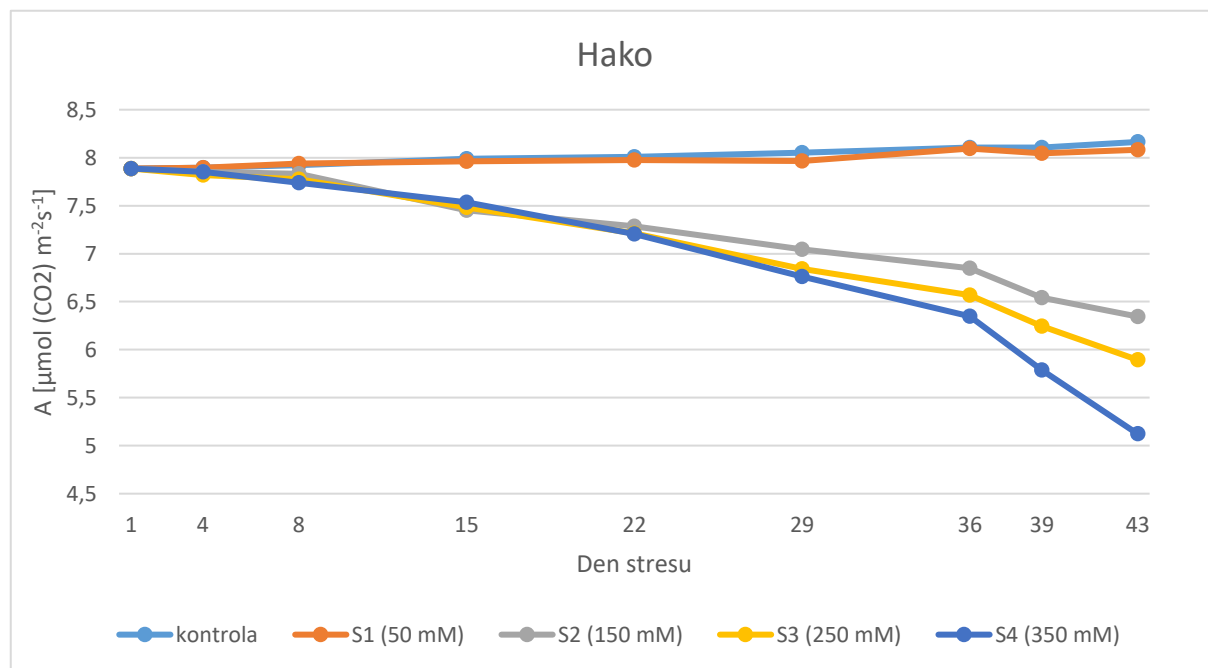
Rychlost fotosyntézy u varianty S2 se snižovala v průběhu měření až na hodnotu  $6,31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  43. den. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy oproti prvnímu dni činil  $1,62 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Varianta S3 se hodnotově podobala variantě S2. Vykazovala pokles rychlosti fotosyntézy s nejnižší hodnotou  $5,48 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  43. den. Rozdíl nejnižší oproti nejvyšší hodnotě naměřené hodnotě 1. den měření u této varianty činil  $2,45 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Varianta S4 s nejvyšším zasolením dosáhla nejnižší hodnoty  $4,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  39. den měření, poté již rostliny uhynuly a z tohoto důvodu nebylo možné pokračovat v dalším měření. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy od prvního dne měření po poslední byl  $3,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Vliv zasolení na rychlost fotosyntézy u odrůdy krmné řepy Hako je znázorněn v grafu 6. Z grafu 6 vyplývá, že rychlost fotosyntézy byla prakticky totožná u kontrolní varianty a varianty S1. Nejvyšší hodnota  $8,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  byla naměřena u kontrolní varianty 43. den, nejnižší hodnoty  $5,12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dosáhla varianta S4 ve 43. dnu měření.

**Graf 6.** Rychlost fotosyntézy odrůdy krmné řepy Hako v závislosti variantě pokusu.



Kontrolní varianta vykazovala v průběhu měření stabilní hodnoty fotosyntézy s nejvyšší hodnotou 43. den  $8,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a nejnižší hodnotou  $7,85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  naměřenou 4. den měření.

U varianty S1 byly naměřeny stejně jako kontrolní varianta stabilní hodnoty fotosyntézy. Nejnižší hodnoty dosáhla 4. den ( $7,85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) a nejvyšší hodnoty  $8,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  43. den.

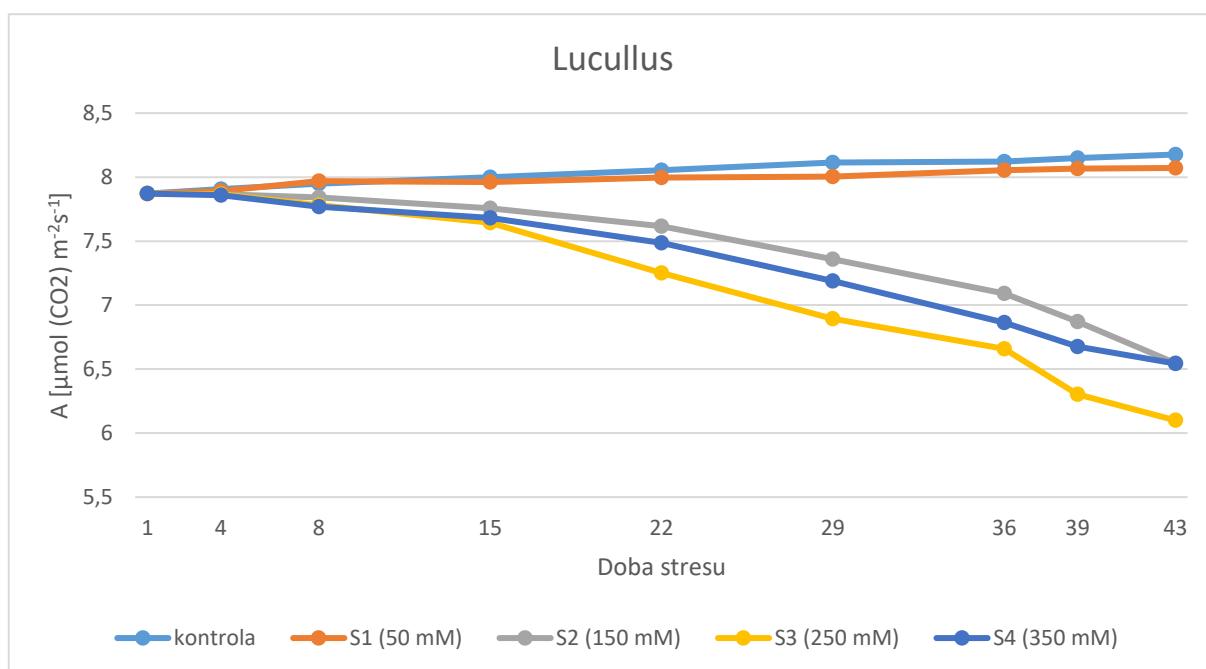
Rychlost fotosyntézy se u varianty S2 snižovala v průběhu měření, nejnižší hodnoty  $6,35 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dosáhla 43. den. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy oproti prvnímu dni činil  $1,54 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Z grafu 6 dále vyplývá, že naměřené hodnoty u varianta S3 byly obdobné s hodnotami naměřenými u rostlin ve variantě S2. U varianta S3 postupně klesala rychlost fotosyntézy až na hodnotu  $5,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  43. den. Rozdíl nejnižší hodnoty oproti nejvyšší hodnotě naměřené 1. den měření u této varianty činil  $2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Varianta S4 dosáhla nejnižší hodnoty  $5,12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  43. den měření. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy byl od prvního dne po poslední  $2,77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Vliv zasolení na rychlost fotosyntézy u odrůdy mangoldu Lucullus je znázorněn v grafu 7. Z grafu vyplývá, že rychlost fotosyntézy byla prakticky totožná u kontrolní varianty a varianty S1. Nejvyšší hodnota  $8,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  byla naměřena u kontrolní varianty 43. den, nejnižší hodnoty  $6,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  dosáhla varianta 43. den.

**Graf 7.** Rychlost fotosyntézy odrůdy mangoldu Lucullus v závislosti variantě pokusu.



Kontrolní varianta vykazovala stabilní rychlost fotosyntézy s nejvyšší hodnotou 43. den  $8,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a nejnižší hodnotou  $7,87 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  naměřenou 1. den.

Rychlost fotosyntézy varianty S1 byla stejná jako u kontrolní varianty. Nejnižší hodnoty dosáhla 1. den a to  $7,87 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a nejvyšší hodnoty  $8,07 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  43. den.

Varianta S2 vykazovala pokles v průběhu měření, přičemž nejnižší hodnoty dosáhla  $6,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  43. den. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy oproti prvnímu dni byl  $1,32 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

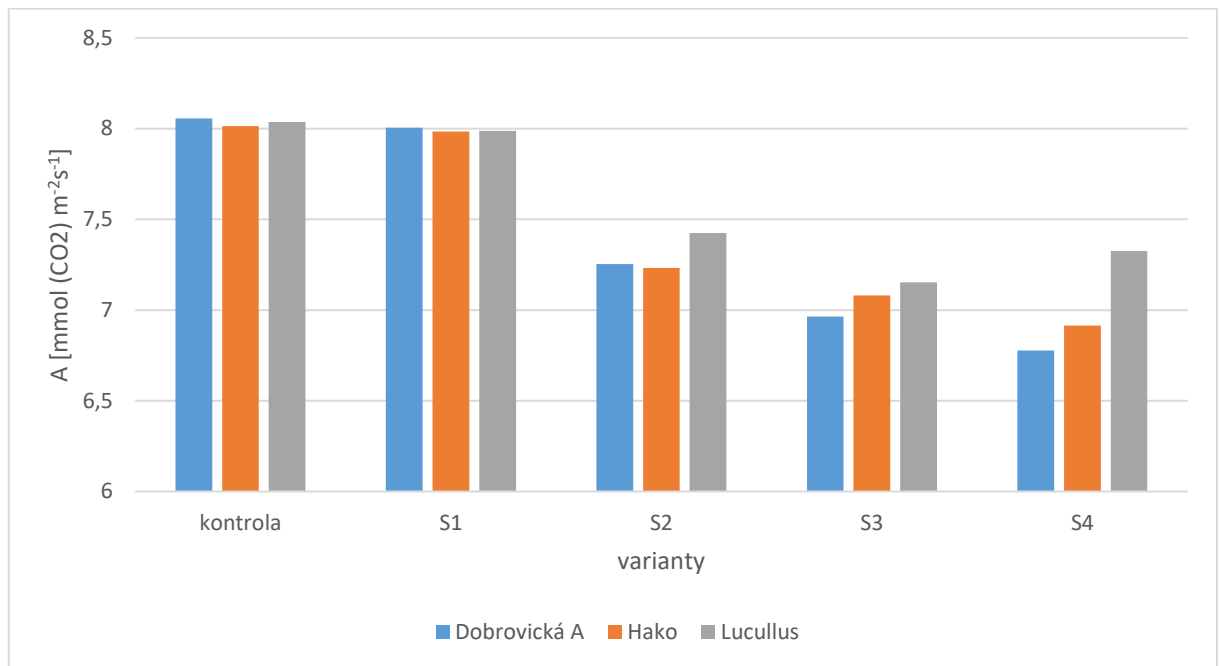
Varianta S3 měla nejnižší naměřené hodnoty  $6,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ze všech variant 43. den měření. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy byl od prvního dne měření po poslední  $1,77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Naměřené hodnoty u varianta S4 měly obdobný klesající trend jako u varianty S2 a poslední den měření byla naměřena totožná rychlost fotosyntézy ( $6,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) s variantou S2. Rozdíl nejnižší hodnoty oproti nejvyšší hodnotě ( $7,87 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) naměřené 1. den měření u této varianty byl  $1,33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Graf 8 znázorňuje vliv druhu a odrůdy na průměrnou rychlost fotosyntézy v rámci variant pokusu. Nejvyšší průměrná rychlost fotosyntézy byla naměřena u všech odrůd u kontrolní varianty z toho nejvyšší hodnota  $8,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  byla naměřena u odrůdy Dobrovická A. Z grafu 8 vyplývá, že průměrná rychlost fotosyntézy u všech odrůd se od kontrolní varianty u varianty S1 prakticky nezměnila. Ovšem u varianty S2 došlo již k poklesu průměrné rychlosti fotosyntézy, nejvyšší změna oproti kontrolní variantě byla zjištěna u odrůdy Dobrovická A ( $0,81 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). U varianty S3 došlo k poklesu průměrné rychlosti fotosyntézy oproti variantě S2 u všech odrůd. Odrůda Lucullus zde dosáhla svého minima v hodnotě  $7,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  průměrné rychlosti fotosyntézy. U varianty S4 byly průměrné hodnoty nižší než u varianty S3 u odrůd Dobrovická A ( $6,78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) a odrůdy Hako ( $6,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

Nejvyšší vliv zasolení na průměrnou rychlost fotosyntézy byl u odrůdy Dobrovická A, kdy rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou činil  $1,28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Nejnižší vliv byl naměřen u odrůdy mangoldu Lucullus, kde byl rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou  $0,88 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

**Graf 8.** Průměrná rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě.

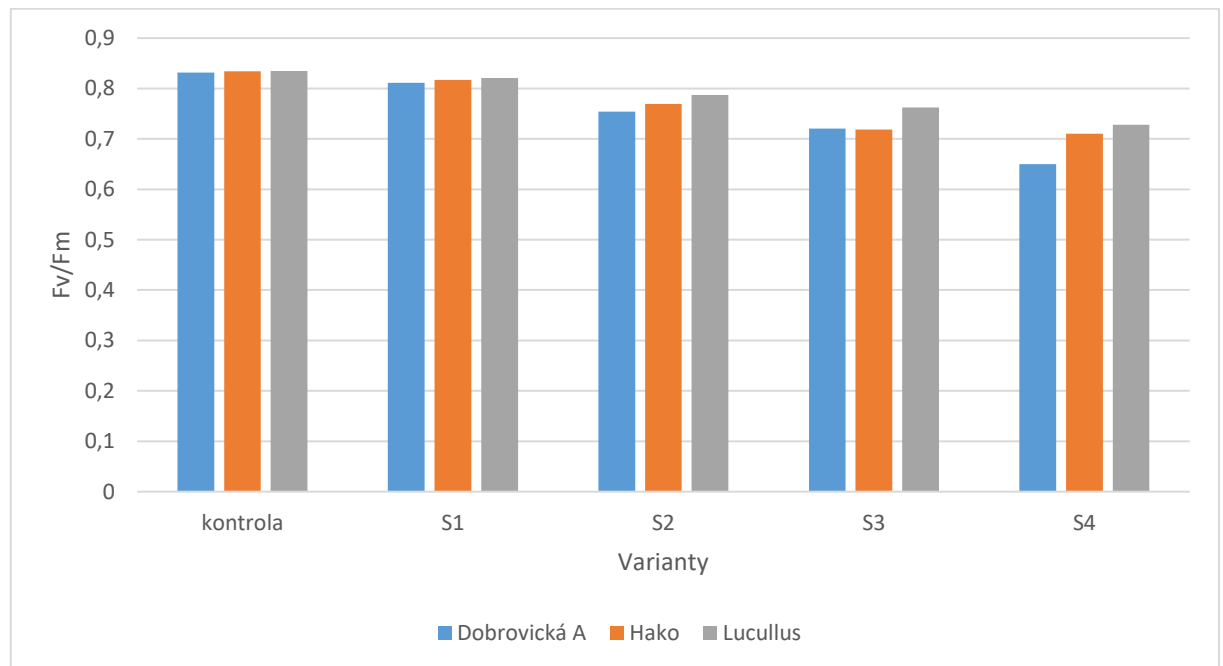


### 5.3 Fluorescence

Průměrná fluorescence chlorofylů ( $F_v/F_m$ ) u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě je znázorněna v grafu 9. Z grafu vyplývá, že zasolení snižuje průměrnou fluorescenci. Nejvyšší hodnoty byly u všech odrůd stejné (0,83). Nejnižší fluorescence chlorofylů byla naměřena u odrůdy Dobrovická A (0,65).

Z výsledku vyplývá, že nejcitlivěji reaguje na zasolení Dobrovická A, oproti kontrolní variantě byl rozdíl u varianty S4 o 0,18 ve fluorescenci chlorofylů. U odrůdy Hako byl nejvyšší rozdíl (0,12) oproti kontrole taktéž u varianty S4. Nejmenší vliv mělo zasolení na fluorescenci u odrůdy Lucullus, rozdíl mezi nejvyšší hodnotou u kontrolní varianty a nejnižší hodnotou u varianty S4 byl 0,1.

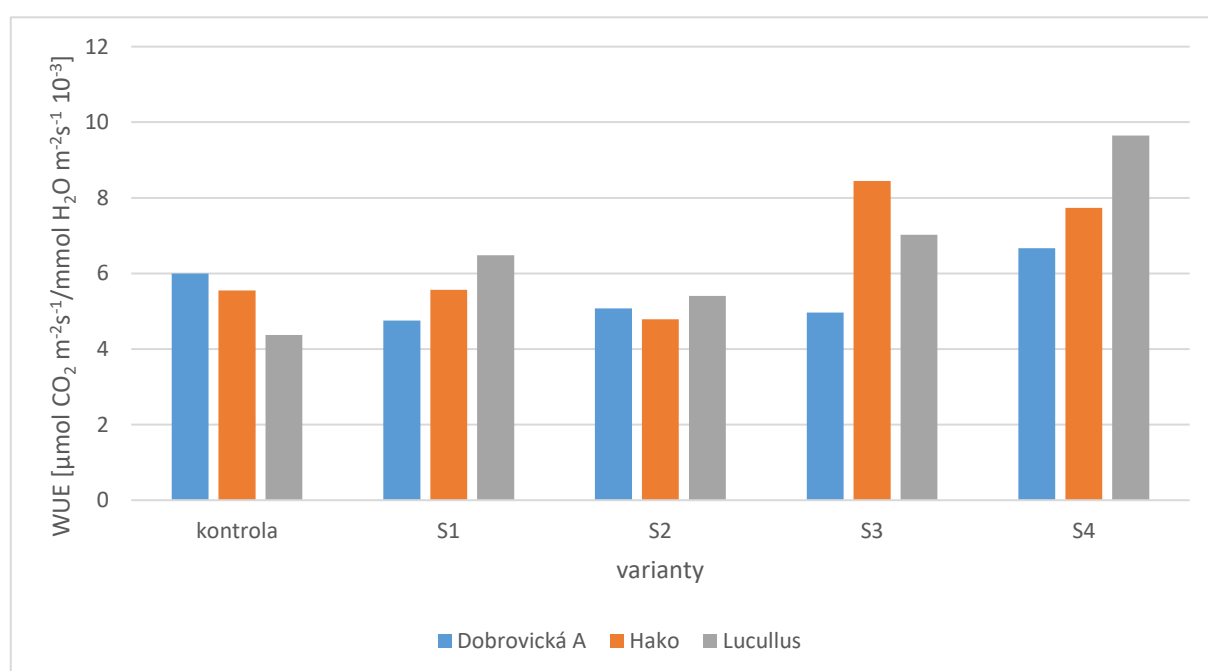
**Graf 9.** Průměrná fluorescence chlorofylů ( $F_v/F_m$ ) u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě.



#### 5.4 Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě je znázorněna na grafu 10. Nejvyšší efektivita využití vody  $9,65 (10^{-3})$  byla zaznamenána u odrůdy Lucullus u varianty S4. Tato odrůda dosahovala také celkově nejnižší hodnoty  $4,37 (10^{-3})$  u kontrolní varianty. Odrůda Hako dosahovala nevyšší efektivitu  $8,44 (10^{-3})$  u varianty S3 a nejnižší  $4,79 (10^{-3})$  u varianty S2. Odrůda Dobrovická A vykazovala nejnižší rozdíly efektivit mezi variantami. Rozdíl mezi nejnižší hodnotou  $4,76 (10^{-3})$  u varianty S1 a nejvyšší efektivitou využití vody  $(6,67 (10^{-3}))$  u varianty S4, byl  $2,1 (10^{-3})$ .

**Graf 10.** Porovnání efektivit využití vody (WUE) u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě.





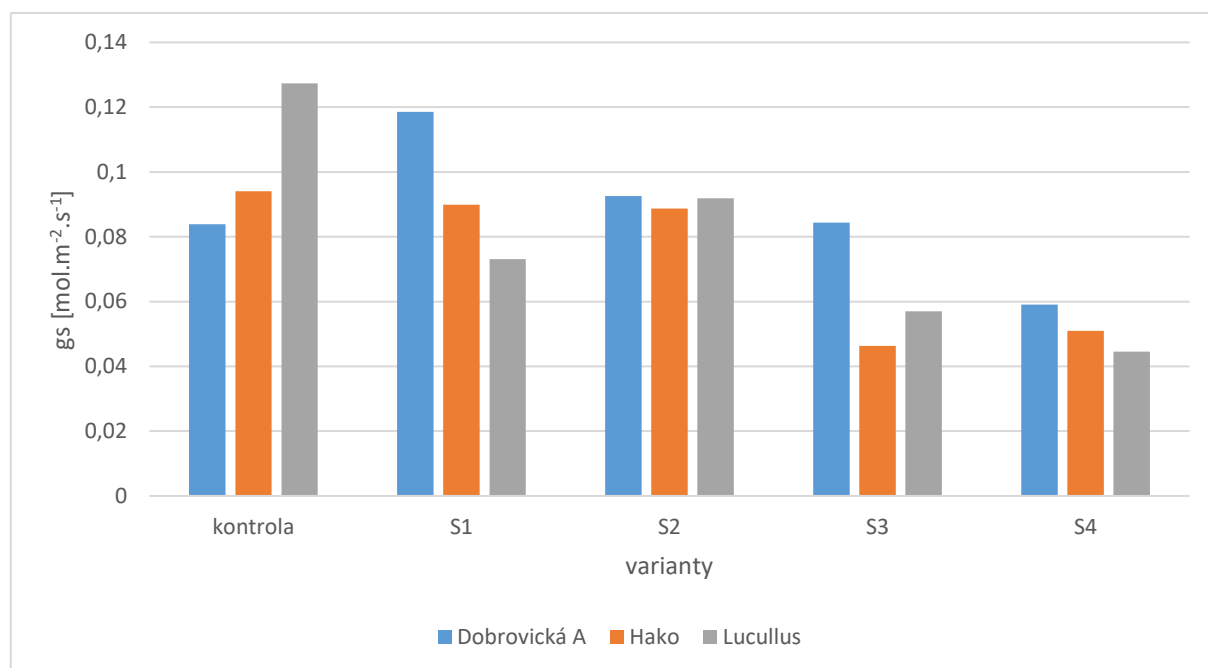
## 5.5 Stomatální vodivost

Reakce stomatální vodivosti na zasolení u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě je uvedena v grafu 11. Nejvyšší vodivost průduchů ( $0,127 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) byla naměřena u varianty S4 odrůdy Lucullus. Rozdíl u této odrůdy mezi nejvyšší vodivostí u kontrolní varianty a nejnižší vodivostí u varianty S4 byl  $0,082 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Odrůda Dobrovická A měla nejvyšší stomatální vodivost u varianty S1 -  $0,119 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a nejnižší hodnotu u varianty S4 -  $0,059 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Z grafu 11 lze vyvodit, že u varianty S2 došlo k zvýšení stomatální vodivosti oproti kontrolní variantě o  $0,034 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . U varianty S4 byla stomatální vodivost nižší o  $0,039 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  oproti kontrolní variantě.

U odrůdy krmné řepy Hako nejvyšší hodnota  $0,094 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  stomatální vodivosti u kontrolní varianty. Varianty S1 a S2 měli stejnou vodivost jako kontrola. Varianty S4 a S3 již měly sníženou stomatální vodivost, nejvíce o  $0,048 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  varianta S3.

**Graf 11.** Porovnání stomatální vodivosti ( $\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) u jednotlivých variant v závislosti na odrůdě



## 6 Diskuze

Vliv zasolení na jednotlivé fyziologické charakteristiky (transpirace, fotosyntéza, fluorescence, efektivita využití vody a stomatální vodivost) rodu *Beta* je zhodnocen a porovnán se současnými trendy v následující kapitole.

### 6.1 Rychlost transpirace

Z výsledků jednoznačně vyplývá, že u juvenilních rostlin odrůd zkoumaných druhů dochází k výraznému snížení rychlosti transpirace při vyšších hodnotách zasolení jako je 350 mM NaCl, kdy všechny sledované druhy vykazovaly pokles rychlosti transpirace což potvrzují i Plaut & Heuer (1985). Snížení hodnot dále zkoumali Naidoo et al. (2008) u druhu *Odysea paucinervis*, kteří zaznamenali již při zasolení 60 mM snížení rychlosti transpirace tohoto druhu. Hodnoty rychlosti transpirace mangoldu se pohybovaly mezi 4,13 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> 15. den u kontrolní varianty a 0,20 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> u varianty se zasolením 350 mM NaCl 36. den. Z toho lze usuzovat, že mangold je ze všech vybraných druhů rodu řepa nejnáchylnější na salinitu.

Cukrová řepa vykazovala zřejmou stimulaci transpirace při zasolení 50 mM. Plaut & Heuer (1985) ve své studii o cukrové řepě potvrzují snížení transpirace při vyšších hodnotách koncentrací soli jako je 360 mM NaCl, ale rozcházejí se s výsledky pokusu v nižších koncentracích jako je 90 mM NaCl, kdy konstatují, že se rychlost transpirace snižuje. Nunes et al. (1984) uvádí, že cukrová řepa stimuluje rychlost transpirace při 10 mM NaCl o 20 %, čímž do určité míry potvrzuje výsledky práce. Co se týká krmné řepy, tak u ní byla zjištěna mírná neprůkazná stimulace transpirace až po variantu se zasolením 150 mM NaCl. U mangoldu došlo k výraznému poklesu již při hodnotách 50 mM NaCl, což potvrzují ve své studii i Liu et al. (2013). Jimi naměřený rozdíl mezi kontrolní variantou a variantou 50 mM NaCl byl 0,7 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, což je hodnota velmi blízká rozdílu 0,6 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> naměřeném v této práci mezi stejnými variantami.

### 6.2 Rychlost fotosyntézy

Rychlost fotosyntézy cukrové řepy se v průběhu měření pohybovala mezi 8,06 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> a 6,78 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Z toho lze usuzovat, že z vybraných druhů rodu řepa reagovala cukrová řepa nejvíce na zasolení snížením rychlosti fotosyntézy oproti ostatním druhům rodu řepa.

Z výsledků práce vyšla prakticky totožná rychlost fotosyntézy u všech měřených odrůd jak u kontrolní varianty, tak u varianty se zasolením 50 mM NaCl. Dále Z výsledků vyplývá,

že varianty 150 mM NaCl, 250 mM NaCl a 350 mM vykazují u všech třech druhů jednoznačný pokles rychlosti fotosyntézy s tím, že ze všech druhů mangold vykazoval nejnižší rozdíl v rychlosti fotosyntézy po zasolení. Liu et al. (2013) naměřili u mangoldu již při koncentraci 50 mM NaCl pokles fotosyntézy o  $5,51 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  oproti kontrolní variantě, což je v rozporu s výsledky práce, kde byl naměřen rozdíl pouhých  $0,05 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  u mangoldu při stejné koncentraci. Hajiboland et al. (2009) potvrzují, že při mírném zasolení v polních podmínkách nemá zasolení průkazný vliv na rychlost fotosyntézy u cukrové řepy. Papp et al. (1983) ve své práci s cukrovou řepou potvrzují, že vysoké koncentrace přes 350 mM jednoznačně snižují rychlost fotosyntézy. Dále potvrzují, že nižší koncentrace zasolení jako 50 mM nemají u cukrové řepy vliv na rychlost fotosyntézy. Papp et al. (1983) se ovšem rozcházejí s výsledky práce s koncentracemi 150 a 250 mM NaCl, kde tvrdí, že tyto koncentrace nemají vliv na rychlost fotosyntézy. Což z výsledků vychází opak. Důvodem může být rozdílný genotyp a o 5 hodin delší 16ti hodinová fotoperioda. Subbarao et al. (2000) se shodují s výsledky práce, když konstatují, že stejný trend změn rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán u krmné řepy, při koncentraci 50 mM NaCl.

### 6.3 Fluorescence

Průměrná rychlost fluorescence chlorofylů byla ovlivněna variantou pokusu. Naměřené hodnoty měly nejvyšší změřený rozdíl o 0,49 u cukrové řepy od 0,84 (8. den u kontrolní varianty) po 0,35 (39. den u varianty se zasolením 350 mM NaCl). Nejvyšší změřený pokles byl zaznamenán tu cukrové řepy. Krmná řepa i mangold stejně tak jako cukrová řepa vykazovali klesající trend rychlosti fluorescence v závislosti na míru zasolení, a i dobu za kterou měření probíhalo.

Hajiboland et al. (2009) potvrzují, že mírné zasolení v polních podmínkách u cukrové řepy nemá na fluorescenci vliv. Dadkhah (2011) potvrzuje u cukrové řepy naměřené hodnoty fluorescence. Podle něj varianta s 50 mM NaCl vykazuje nepatrně nižší hodnoty oproti kontrole a další zvyšování koncentrací NaCl na 150 mM, 250 mM a 350 mM vede k mírnému snižování fluorescence u cukrové řepy. Z toho lze vyvodit, že zasolení má negativní vliv na rychlost fluorescence u rodu řepa.

Vliv zasolení na fluorescenci byl například prokázán také u druhu *Avena nuda* L. (oves nahý), kdy při zasolení 250 mM se snížila fluorescence skoro o polovinu (Zhao et al. 2007). Výsledky práce potvrzují i u jiné lipnicovité *Odyssea paucinervis* (Naidoo et al., rok). Tito autoři naměřili obdobné hodnoty. Z toho vyplývá, že zasolení způsobuje snížení rychlosti fluorescence nejen napříč mezi druhy, ale také mezi třídami.

#### 6.4 Efektivita využití vody (WUE)

Z výsledků měření vyplývá, že obecně nejvyšší efektivitu využití vody, měly varianty s nejvyšším zasolením, jako byla varianta s koncentrací 350 mM NaCl. V této koncentraci byla zjištěna nejvyšší efektivita využití vody  $9,65 (10^{-3})$  u mangoldu. U mangoldu byl zjištěn nejvyšší rozdíl  $5,28 (10^{-3})$  v efektivitě oproti kontrolní variantě. Koyro (2003) konstatuje, že halofytní rostliny, mezi které uvádí i druhy rodu řepa, zvyšují svoji efektivitu využití vody při vysokých koncentracích jako je 375 a 500 mM NaCl, tím potvrzuje výsledky naměřené v bakalářské práci. Krmná řepa dosáhla své maximální hodnoty také při vysokém zasolení, a to při koncentraci 250 mM NaCl. Z toho lze vyvozovat, že rod *Beta* reaguje na zasolení zvýšením efektivity využití vody. Liu et al. (2013) potvrzuje u mangoldu při koncentracích 50 a 100 mM NaCl naměřené hodnoty, kdy bylo zjištěno, že tyto koncentrace mají minimální vliv na rozdíl v efektivitě využití vody.

#### 6.5 Stomatální vodivost

Naměřené hodnoty stomatální vodivosti mangoldu byly maximální u kontrolních rostlin 15. den měření ( $0,343 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) a minimální 39. den ( $0,017 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ve variantě s nejvyšší koncentrací soli 350 mM NaCl. Z toho vyplývá, že u mangoldu docházelo ke snižování stomatální vodivosti vlivem zasolení. Toto potvrzují i Liu et al. (2013), kteří naměřili u mangoldu hodnotu  $g_s$  kontrolní varianty  $0,21 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , které poté klesly při zasolení 50 mM NaCl na  $0,08 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a při koncentraci 100 mM NaCl na  $0,06 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Krmná řepa vykazovala poměrně stabilní hodnoty až po koncentraci 150 mM NaCl. Z uvedeného výsledku vyplývá, že krmná řepa se jeví jako tolerantní k nižším koncentracím zasolení. Podle Dadkhah (2011) se u cukrové řepy rovnoměrně snižuje stomatální vodivost v závislosti na zvýšení koncentrace soli s minimem při koncentraci 350 mM NaCl. Což mimo variantu s 50 mM NaCl, kdy došlo podle zjištěných dat k zvýšení stomatální vodivosti o  $0,03 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  oproti kontrolní variantě, potvrzuje výsledky zjištěné v této bakalářské práci. Z toho vyplývá, že je stomatální vodivost u cukrové řepy výrazně ovlivněna zasolením.

## 7 Závěr

Oba cíle byly splněny, u juvenilních rostlin vybraných zástupců rodu řepa byly sledovány vlivy rozdílných koncentrací chloridu sodného na fyziologické parametry a byla stanovena míra tolerance/citlivosti juvenilních rostlin vybraných druhů na zasolení.

1. Hypotéza, že existují mezidruhové rozdíly v reakci zasolení byla potvrzena, kdy nejméně citlivý druh k zasolení byl mangold, méně citlivá k zasolení byla krmná řepa a nejcitlivější byla cukrová řepa, která dokonce odumřela poslední den měření při nejvyšší koncentraci soli (350 mM NaCl).
2. Byla potvrzena hypotéza, že zasolení ovlivňuje rychlost fotosyntézy a transpirace, stomatální vodivost a fluorescenci.
  - a. Nejvyšší rozdíl  $1,27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  oproti kontrolní variantě v rychlosti fotosyntézy byl prokázán u varianty S4 cukrové řepy. Nejnižší rozdíl  $0,71 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  mezi kontrolní variantou a variantou S4 byl zjištěn u mangoldu.
  - b. U mangoldu byl zjištěn nejvyšší rozdíl  $1,08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  v rychlosti transpirace mezi kontrolní variantou a variantou S4. Naopak nejnižší rozdíl mezi kontrolní variantou a variantou S4 byl prokázán u odrůdy Dobrovická A  $0,32 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  - c. Mangold měl nejvyšší rozdíl  $0,082 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  stomatální vodivosti mezi kontrolní variantou a variantou S4. Krmná řepa měla nejnižší rozdíl  $0,048 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  stomatální vodivosti mezi maximem ( $0,094 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) u kontrolní varianty a minimem ( $0,046 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) u varianty S3.
  - d. Byl prokázán nejvyšší rozdíl v rychlosti fluorescence chlorofylů o 0,18 mezi kontrolní variantou cukrové řepy a variantě S4 ve fluorescenci chlorofylů. Nejnižší rozdíl 0,1 mezi maximem (0,83) u kontrolní varianty a minimem (0,73) u varianty S4 byl u mangoldu.
3. Prokázala se hypotéza, že existují mezidruhové rozdíly v hospodaření s vodou vlivem působení salinity, stanovené na základě hodnot WUE.
4. Bylo prokázáno, že při koncentracích 250 mM NaCl a 350 mM NaCl druhy rodu řepa efektivněji hospodaří s vodou.

## 8 Literatura

- Al-Jbawi E, Al-Geddawi S, Alesha G, Al-Zubi H. 2016. Productivity of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *Crassa*) cultivars as affected by plants spacing in Al Ghab Syria. *Journal of Agricultural and Crop Research* **4**:91-99.
- Alscher RG, Donahue JL, Cramer CL. 1997. Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells. *Physiologia Plantarum* **100**:224-233. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1399-3054.1997.tb04778.x>.
- Alqudah AM, Samarah NH, Mullen RE. 2011. Drought Stress Effect on Crop Pollination, Seed Set, Yield and Quality. *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation* **6**:193-213. Springer Netherlands, Dordrecht. Available at [http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-007-0186-1\\_6](http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-007-0186-1_6).
- Ashraf M, Foolad MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ Exp Bot* **59**:206-216. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847206000268>.
- Atkinson NJ, Urwin PE. 2012. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany* **63**:3523-3543. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/ers100>.
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-studies. *Plant Soil* **39**:205-207. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018060>.
- Bayliss MT. 1985. Molecular biophysics of the extracellular matrix. *FEBS Letters* **188**:169-170. Available at [http://doi.wiley.com/10.1016/0014-5793\(85\)80902-9](http://doi.wiley.com/10.1016/0014-5793(85)80902-9).
- Bláha L, Hnilička F, Hnilíčková H, Holubec V, Möllerová J, Štolcová J, Zieglerová J. 2003. *Rostlina a stres*. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha.
- Bor M, Özdemir F, Türkan I. 2003. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science* **164**:77-84. Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945202003382>.
- Boyer JS. 1982. Plant productivity and environment. *Science* **218**:443-448. Available from <http://science.sciencemag.org/content/218/4571/443>.

- Chochola J. 2012. 100 let šlechtění a výzkumu cukrové řepy v Semčicích. Listy cukrovarnické a řepářské. **128**:158-162.
- Collier DE, Cummins WR. 1996. The rate of development of water deficits affects *Saxifraga cernua* leaf respiration. *Physiologia Plantarum* **96**:291-297. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1399-3054.1996.tb00216.x>.
- Crowe JH, Crowe LM, Hoekstra FA. 1992. Anhydrobiosis. *Annu Rev Physiol* **54**:579-599. Available from <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ph.54.030192.003051?journalCode=physiol>.
- Dadkhah A. 2011. Effect of Salinity on Growth and Leaf Photosynthesis of Two Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars. *J. Agr. Sci. Tech.*, **13**:1001-1012. Available from <http://bsnt.modares.ac.ir/article-23-3539-en.pdf>.
- Del Río LA, Sandalio LM, Palma JM, Bueno P, Corpas FJ. 1992. Metabolism of oxygen radicals in peroxisomes and cellular implications. *Free Radical Biology and Medicine* **13**:557-580. Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/089158499290150F>.
- Ekotechnika. 2019. Ekotechnika.cz. Ekotechnika spol. s. r. o., Praha. Available from <http://www.ekotechnika.cz/fyziologie-rostlin-II> (accessed April 2019).
- Fritzsche K, Metzloff M, Melzer R, Hagemann R. 1987. Comparative restriction endonuclease analysis and molecular cloning of plastid DNAs from wild species and cultivated varieties of the genus *Beta* (L.). *Theoretical and Applied Genetics* **74**:589-594. Available at <http://link.springer.com/10.1007/BF00288857>.
- Fu JM, Huang BR. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environ Exp Bot* **45**:105-114. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847200000848>.
- Galvan-Ampudia CS, Testerink C. 2011. Salt stress signals shape the plant root. *Current Opinion in Plant Biology* **14**:296-302. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369526611000318>.
- Ghoulam C, Foursy A, Fares K. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars.

- Environmental and Experimental Botany **47**:39-50. Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847201001095>.
- Greenway H, Munns R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu Rev Plant Physiol* **31**:149-190. Available from <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.31.060180.001053>.
- Hajiboland R, Joudmand A, Fotouhi K. 2009. Mild salinity improves sugar beet (*Beta vulgaris* L.) quality. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science* **59**:295-305. Available at <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064710802154714>.
- Hasegawa PM, Bressan RA, Zhu JK, Bohnert HJ. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* **51**:463-499. Available from <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.arplant.51.1.463>.
- Hejny S, Slavik B. 2003. *Květena České republiky, 2., nezm. vyd.* Academia, Praha.
- Hoogenboom G, Huck MG, Peterson CM. 1987. Root Growth Rate of Soybean as Affected by Drought Stress1. *Agronomy Journal* **79**:607-614. Available at <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/79/4/AJ0790040607>.
- Horie T, Karahara I, Katsuhara M. 2012. Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: An overview with the central focus on rice plants. *Rice* **5**:1-18. Available at <https://thericejournal.springeropen.com/articles/10.1186/1939-8433-5-11>.
- Hoque MA, Banu MNA, Okuma E, Amako K, Nakamura Y, Shimoishi Y, Murata Y. 2007. Exogenous proline and glycinebetaine increase NaCl-induced ascorbate-glutathione cycle enzyme activities, and proline improves salt tolerance more than glycinebetaine in tobacco bright yellow-2 suspension-cultured cells. *Plant Physiol* **164**:1457-1468. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161706003051>.
- Jackson RD. 1986. Remote Sensing of Biotic and Abiotic Plant Stress. *Annual Review of Phytopathology* **24**:265-287. Available at <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.py.24.090186.001405>.
- Kaburagi E, Morikawa Y, Yamada M, Fujiyama H. 2014. Sodium enhances nitrate uptake in Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.). *Soil Science and Plant Nutrition* **60**:651-658. Available at <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.2014.938595>.



- Kacperska A. 2004. Sensor types in signal transduction pathways in plant cells responding to abiotic stressors: do they depend on stress intensity?. *Physiologia Plantarum* **122**:159-168. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.0031-9317.2004.00388.x>.
- Koyro H-W. 2003. Study of potential cash crop halophytes by a quick check system: Determination of the threshold of salinity tolerance and the ecophysiological demands. *Cash Crop Halophytes: Recent Studies*:5-17. Springer Netherlands, Dordrecht. Available at [http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-0211-9\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-0211-9_1).
- Koyro H-W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany* **56**:136-146. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847205000237>.
- Lambers H, Chapin FS, Pons TL. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer, New York.
- Larcher W. 2003. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*, 4th ed. Springer, New York.
- Lichtenthaler H. 1998. The Stress Concept in Plants: An Introduction. *Annals of the New York Academy of Sciences* **851**:187-198. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1749-6632.1998.tb08993.x>.
- Liu L, Ueda A, Saneoka H 2013. Physiological responses of white Swiss chard (*Beta vulgaris* L. subsp. *cicla*) to saline and alkaline stresses. *Australian Journal of Crop Science*, **7**:1046-1052.
- Luo Q, Yu B, Liu Y. 2005. Differential sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of *Glycine max* and *G. soja* under NaCl stress. *Journal of Plant Physiology* **162**:1003-1012. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0176161705000398>.
- Marschner H, Kylin A, Kuiper PJC. 1981. Differences in salt tolerance of three sugar beet genotypes. *Physiologia Plantarum* **51**:234-238. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1399-3054.1981.tb02704.x>.
- McKersie BD, Leshem Y'acov Y. 1994. *Stress and stress coping in cultivated plants*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Meneguzzo S, Navam-Izzo F, Izzo R. 1999. Antioxidative Responses of Shoots and Roots of Wheat to Increasing NaCl Concentrations. *Journal of Plant Physiology* **155**:274-280. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0176161799800194>.

- Mikami T, Kishima Y, Sugiura M, Kinoshita T. 1984. Chloroplast DNA diversity in the cytoplasm of sugar beet and its related species. *Plant Science Letters* **36**:231-235. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0304421184901743>.
- Milborrow BV. 2001. The pathway of biosynthesis of abscisic acid in vascular plants: a review of the present state of knowledge of ABA biosynthesis. *Journal of Experimental Botany* **52**:1145-1164. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jexbot/52.359.1145>.
- Mittler R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* **11**:15-19. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1360138505002918>.
- Mořková K, Podlipná R, Vaněk T, Kafka Z. 2014. Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytořmediacích. *Chem. listy* **108**:586-591.
- Murata N, Mohanty PS, Hayashi H, Papageorgiou CC. 1992. Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. *FEBS Letts.* **296**:187-189. Available from [https://febs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1016/0014-5793\(92\)80376-R](https://febs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1016/0014-5793(92)80376-R).
- Munné-Bosch S. 2005. The role of  $\alpha$ -tocopherol in plant stress tolerance. *Journal of Plant Physiology* **162**:743-748. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S017616170500129X>.
- Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology* **59**:651-681. Available at <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.
- Naidoo G, Somaru R, Achar P. 2008. Morphological and physiological responses of the halophyte, *Odysea paucinervis* (Staph) (Poaceae), to salinity. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **203**:437-447. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036725300800042X>.
- Nemoto Y, Sasakuma T. 2002. Differential stress responses of early salt-stress responding genes in common wheat. *Phytochemistry* **61**:129-133. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031942202002285>.
- Nilsen ET, Orcutt DM, Hale MG. 1996. *The physiology of plants under stress*. Wiley, New York.

- Nunes M, Dias M., Correia M., Oliveira M. 1984. Further Studies on Growth and Osmoregulation of Sugar Beet Leaves under Low Salinity Conditions. *Journal of Experimental Botany* **35**:322-331. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/35.3.322>.
- Ober ES, Rajabi A. 2010. Abiotic Stress in Sugar Beet. *Sugar Tech* **12**:294-298. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s12355-010-0035-3>.
- Papp JC, Ball MC, Terry N. 1983. A comparative study of the effects of NaCl salinity on respiration, photosynthesis, and leaf extension growth in *Beta vulgaris* L. (sugar beet). *Plant, Cell and Environment* **6**:675-677. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/1365-3040.ep11589273>.
- Plaut Z, Heuer B. 1985. Adjustment, growth, photosynthesis and transpiration of sugar beet plants exposed to saline conditions. *Field Crops Research* **10**:1-13. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0378429085900024>.
- Pokorný L. 2019. Detail odrůdy Hako. Eagri. Available at <http://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouVF.do> (accessed April 2019).
- Rietz DN, Haynes RJ. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* **35**:845-854. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071703001251>.
- Sanada Y, Ueda H, Kuribayashi K, Andoh T, Hayashi F, Tamai N, Wada K. 1995. Novel Light-Dark Change of Proline Levels in Halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and Glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) Leaves and Roots under Salt Stress. *Plant and Cell Physiology* **36**:965-970. Available at <https://academic.oup.com/pcp/article-lookup/doi/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078867>.
- Saneoka H, Nagasaka C, Hahn DT, Yang WJ, Premachandra GS, Joly RJ, Rhodes D. 1995. Salt tolerance of glycinebetaine-deficient and –containing maize lines. *Plant Physiol* **107**:631-638. Available from <http://www.plantphysiol.org/content/107/2/631.short>.
- Serrano R, Mulet JM, Rios G, Marquez JA, de Larrinoa IF, Leube MP, Mendizabal I, Pascual-Ahuir A, Proft M, Ros R, Montesinos C. 1999. A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *J Exp Bot* **50**:1023–1036. Available from [https://www.jstor.org/stable/pdf/23696207.pdf?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/pdf/23696207.pdf?seq=1#page_scan_tab_contents).

- Schmidt T, Jung C, Metzloff M. 1991. Distribution and evolution of two satellite DNAs in the genus *Beta*. *Theoretical and Applied Genetics* **82**:793-799. Available at <http://link.springer.com/10.1007/BF00227327>.
- Steduto P, Albrizio R, Giorio P, Sorrentino G. 2000. Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Environmental and Experimental Botany* **44**:243-255. Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S009884720000071X>.
- Subbarao GV, Wheeler RM, Stutte GW, Levine LH. 2000. Low potassium enhances sodium uptake in red-beet under moderate saline conditions. *Journal of Plant Nutrition* **23**:1449-1470. Available at <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160009382114>.
- Sultana N, Ikeda T, Itoh R. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany* **42**:211-220. Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847299000350>.
- Suzuki N, Rivero RM, Shulaev V, Blumwald E, Mittler R. 2014. Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist* **203**:32-43. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/nph.12797>.
- Szczerba MW, Britto DT, Kronzucker HJ. 2009. K<sup>+</sup> transport in plants: Physiology and molecular biology. *Plant Physiol* **166**:447-466. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161708003829>.
- Šebela R. 2019. Mangold řapíkatý Lucullus. Pronachem spol. s r.o. Available from <https://www.prohopo.cz/cs/p-3027-mangold-rapikaty-lucullus/?cat=1>
- Thompson Je, Legge RI, Barber Rf. 1987. The role of free radicals in senescence and wounding. *New Phytologist* **105**:317-344. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1469-8137.1987.tb00871.x>.
- Turner NC, Begg JE. 1981. Plant-water relations and adaptation to stress. *Plant and Soil* **58**:97-131. Available at <http://link.springer.com/10.1007/BF02180051>.
- White PJ, Bowen HC, Broadley MR, El-Serehy HA, Neugebauer K, Taylor A, Thompson JA, Wright G. 2017. Evolutionary origins of abnormally large shoot sodium accumulation in nonsaline environments within the Caryophyllales. *New Phytologist* **214**:284-293. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/nph.14370>.

- Yordanov I, Velikova V, Tsonev T. 2000. *Photosynthetica* **38**:171-186. Available at <http://link.springer.com/10.1023/A:1007201411474>.
- Zhao GQ, Ma BL, Ren CZ. 2007. Growth, Gas Exchange, Chlorophyll Fluorescence, and Ion Content of Naked Oat in Response to Salinity. *Crop Science* **47**:123-131. Available at <https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/47/1/123>.
- Zhu JK. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr Opin Plant Biol* **6**:441-445. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526603000852>.
- Zhu JK. 2001. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci* **6**:66–71. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138500018380>.