

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Vliv primingu semen hrachu v podmínkách zasolení**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Petra Černožorská**

**Obor: Produkční zahradnictví**

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

© 2020 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv primingu semen hrachu v podmínkách zasolení" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.7. 2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Heleně Hniličkové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a PharmDr. Janu Kubešovi, Ph.D. za odbornou pomoc, velmi vstřícný přístup, ochotu, cenné rady, poskytnuté materiály a čas věnovaný této práci. Dále bych chtěla poděkovat všem kolegyním, které se podílely na pokusech spojených s mou diplomovou prací, a Katedře botaniky a fyziologie rostlin a jejím pracovníkům za poskytnutí pomůcek, materiálu a prostoru k provedení pokusu. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodičům, sestře, mému příteli a všem blízkým za podporu, pomoc a trpělivost, kterou se mnou při mém studiu měli.

# Vliv primingu semen hrachu v podmínkách zasolení

## Souhrn

Solný stres je jedním z hlavních abiotických stresů snižujících růst a produktivitu plodin na celém světě. V současné době je zasolení velmi aktuální téma, především proto, že se rozsah orné půdy zasažené salinitou neustále zvyšuje. V Evropě byly v důsledku lidské činnosti znehodnoceny přibližně 4 miliony hektarů orné půdy. Hlavními příčinami zasolení půd jsou intenzifikace zemědělství, dlouhodobé zavlažování nekvalitní vodou, nadměrné používání minerálních hnojiv, vzrůstající evapotranspirace a změna klimatu.

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit priming efekt omeprazolu (OMP) na růst hrachu setého (*Pisum sativum* L.) v podmínkách solného stresu. Pokus byl rozdělen na dvě části. První část probíhala v laboratorních podmínkách a druhá ve skleníku. V první části byla testována fytotoxicita omeprazolu u zvolené koncentrační řady (0,001 mM; 0,01 mM; 0,1 mM; 0,5 mM; 1 mM). Hodnocenými parametry byly délka, čerstvá hmotnost (FW) a hmotnost sušiny (DW) kořenů a stonků. Na základě získaných výsledků byla zvolena koncentrace pro priming semen. Při druhé části pokusu byla ošetřená semena hrachu vyseta do nádob se substrátem a vystavena opakovanému zasolení (150 mM NaCl). V opakovaných odběrech byl sledován růst kořenů a stonků v FW a DW. Veškeré získané hodnoty byly zpracovány a vyhodnoceny za použití LSD testů a ANOVY.

Na základě výsledků získaných v laboratorním pokusu byla pro další část pokusu zvolena koncentrace OMP 1 mM, u které byla zaznamenána statisticky průkazně nejvyšší hmotnost kořenů v DW, nižší koncentrace OMP hmotnost kořenů statisticky průkazně nezvýšily. Ve skleníkovém pokusu byla u stresované varianty (neošetřené primingem, v podmínkách solného stresu) zaznamenána statisticky průkazně nižší FW stonků od třetího odběru a statisticky průkazně vyšší hmotnost kořenů v FW i DW při druhém a třetím odběru oproti kontrolní variantě. Při porovnání varianty ošetřené OMP a stresované varianty nebyl mezi variantami zaznamenán statisticky průkazný rozdíl v FW kořenů. U DW byl průběh pokusu stejný až do čtvrtého odběru, při kterém byla hmotnost varianty OMP statisticky průkazně nižší nežli u stresované varianty.

Ze získaných výsledků vyplývá, že nejvyšší koncentrace OMP (1 mM) měla na růst kořenů statisticky průkazně pozitivnější vliv nežli nižší použité koncentrace. Hypotéza o vlivu OMP na klíčivost semen hrachu byla tedy potvrzena. U stresované varianty byla v FW stonků od třetího odběru zaznamenána statisticky průkazně nižší hmotnost oproti kontrolní variantě. K tomuto poklesu mohlo dojít vlivem postupné akumulace  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  v listech. Naopak u kořenů byl u stresované varianty zaznamenán nárůst hmoty. Z těchto výsledků lze hypotézu o vlivu zasolení na růstu hrachu potvrdit. Vliv primingu semen pomocí OMP na růst kořenů a stonků hrachu v podmínkách solného stresu nebyl statisticky průkazný v porovnání s variantou bez primingu. Stanovenou hypotézu o vlivu OMP na růstové parametry hrachu v podmínkách zasolení tedy nelze potvrdit.

**Klíčová slova:** omeprazol, hrách, priming, zasolení, fyziologie rostlin

# Effect of pea seed priming in salinity conditions

## Summary

Salt stress is one of the main abiotic stresses reducing the growth and productivity of crops worldwide. Currently, salinization is a very topical issue, mainly because the extent of arable land affected by salinity is constantly increasing. In Europe, approximately 4 million hectares of arable land have been degraded because of human activities. The main causes of soil salinization are the intensification of agriculture, long-term irrigation with low-quality water, excessive use of mineral fertilizers, increasing evapotranspiration, and climate change.

This diploma thesis aimed to evaluate the priming effect of omeprazole (OMP) on the growth of pea (*Pisum sativum* L.) under conditions of salt stress. The experiment was divided into two parts. The first part took place in laboratory conditions and the second in a greenhouse. In the first part, the phytotoxicity of omeprazole was tested in a selected concentration range (0.001 mM; 0.01 mM; 0.1 mM; 0.5 mM; 1 mM). The evaluated parameters were length, fresh weight (FW), and dry weight (DW) of roots and shoots. Based on the obtained results, the concentration for seed priming was chosen. In the second part of the experiment, the treated pea seeds were sown in containers with a substrate and exposed to repeated salinizing (150 mM NaCl). The growth of roots and shoots in FW and DW was monitored in repeated samples. All obtained values were processed and evaluated using LSD tests and ANOVA.

Based on the results obtained in the laboratory experiment, the OMP concentration of 1 mM was chosen for the next part, because the DW of roots recorded for this concentration was statistically significantly the highest, lower OMP concentrations did not increase the root weight statistically significantly. In the greenhouse experiment, the FW of shoots was statistically significantly lower in the stressed variant (untreated by priming, under conditions of salt stress) compared to the control variant from the third sampling, in contrary to the FW and DW of roots, which was statistically significantly higher in the stressed variant compared to the control variant in the second and third sample. When comparing the OMP-treated variant and the stressed variant, no statistically significant difference in root FW was observed. In DW, the course of the experiment was the same until the fourth sampling, in which the weight of the OMP variant was statistically significantly lower than in the stressed variant.

The obtained results show that the highest concentration of OMP (1 mM) had a statistically significantly more positive effect on root growth than the lower concentrations used. The hypothesis of the effect of OMP on pea seed germination was therefore confirmed. In the stressed variant, a statistically significantly lower FW of shoots was recorded from the third sampling compared to the control variant. This decrease could be due to the gradual accumulation of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in the leaves. In contrast, an increase in mass was observed in the roots of the stressed variant. From these results, the hypothesis of the effect of salinity on pea growth can be confirmed. The effect of seed priming with OMP on root and shoot growth of pea under salt stress conditions was not statistically significant compared to the variant without priming. Therefore, the established hypothesis about the influence of OMP on the growth parameters of pea cannot be confirmed.

**Keywords:** omeprazole, pea, priming, salinization, plant physiology

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Klíčení.....</b>	<b>3</b>
3.1.1 Typy klíčení .....	3
3.1.1.1 Epigeické-Nadzemní klíčení.....	3
3.1.1.2 Hypogeické-Podzemní klíčení.....	3
3.1.2 Dormance.....	4
3.1.3 Faktory ovlivňující klíčení semen.....	5
3.1.3.1 Vnitřní faktory .....	5
3.1.3.2 Vnější faktory .....	6
3.1.3.2.1 Voda .....	6
3.1.3.2.2 Kyslík .....	6
3.1.3.2.3 Teplota.....	7
3.1.3.2.4 Světlo.....	7
<b>3.2 Obecné pojetí stresu .....</b>	<b>7</b>
3.2.1 Rostliny a stres.....	8
3.2.1.1 Abiotický stres .....	8
3.2.1.2 Reakce rostlin na stres.....	10
<b>3.3 Zasolení.....</b>	<b>11</b>
3.3.1 Příčiny zasolení.....	11
3.3.2 Účinky zasolení na rostliny .....	12
3.3.2.1 Osmotický účinek .....	12
3.3.2.2 Iontový účinek .....	13
3.3.3 Vliv zasolení na růst rostlin .....	13
3.3.4 Vliv zasolení na klíčení rostlin .....	13
3.3.5 Reakce rostlin na zasolení .....	14
3.3.6 Osmotické přizpůsobení .....	15
<b>4 Metodika .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Rostlinný materiál.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Laboratorní pokus.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 Skleníkový pokus.....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Statistické vyhodnocení a zpracování dat.....</b>	<b>24</b>

<b>5</b>	<b>Výsledky</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Laboratorní pokus</b>	<b>25</b>
5.1.1	Vliv primingu omeprazolem na klíčení a růst hrachu	25
5.1.1.1	Čerstvá hmotnost kořene a stonku (FW)	25
5.1.1.2	Hmotnost sušiny kořene a stonku (DW)	27
5.1.1.3	Délka kořene a stonku	29
<b>5.2</b>	<b>Skleníkový pokus</b>	<b>31</b>
5.2.1	Vliv aplikace omeprazolu a peroxidu vodíku na rostliny v podmínkách se závlahou bez solného stresu	31
5.2.1.1	Čerstvá hmotnost kořene a stonku (FW)	31
5.2.1.2	Hmotnost sušiny kořene a stonku (DW)	34
5.2.2	Vliv aplikace omeprazolu a peroxidu vodíku na rostliny v podmínkách solného stresu	36
5.2.2.1	Čerstvá hmotnost kořene a stonku (FW)	36
5.2.2.2	Hmotnost sušiny kořene a stonku (DW)	40
<b>6</b>	<b>Diskuze</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Literatura</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých obrázků, grafů a tabulek</b>	<b>55</b>
9.1	Seznam použitých obrázků	55
9.2	Seznam použitých grafů	55
9.3	Seznam použitých tabulek	56
<b>10</b>	<b>Samostatné přílohy</b>	<b>I</b>
<b>10.1</b>	<b>Tabulky LSD testů</b>	<b>I</b>
10.1.1	Laboratorní pokus	I
10.1.2	Skleníkový pokus	VI
10.1.2.1	Rostliny v podmínkách se závlahou bez solného stresu	VI
10.1.2.2	Rostliny v podmínkách solného stresu	XII



# 1 Úvod

Abiotické stresy patří mezi hlavní faktory omezující zemědělství. Odhaduje se, že pod jejich vlivem dochází u hlavních zemědělských plodin k 50% snížení průměrného výnosu. Minimalizace těchto ztrát je tedy hlavní celosvětovou oblastní zájmou. Mezi abiotické stresové faktory patří nízké a vysoké teploty, nedostatek vody, nadměrné záření, nedostatek kyslíku, živin, toxicita těžkých kovů a nadbytek solných iontů v půdě i vodě. Uvádí se, že pouze 10 % orné půdy není zatíženo stresem, to znamená že zbylých 90 % orné půdy je vystaveno jednomu nebo více stresovým faktorům. Solný stres je jedním z hlavních abiotických stresů. Problém se zasolením se vyskytuje ve všech klimatických oblastech světa a stává se tak celosvětově vážnou hrozbou pro zemědělství. Závažnost vlivu solného stresu roste v důsledku degradace půdy, vlivem dlouhodobého zavlažování, odlesňování, používání nadměrného množství hnojiv, vzrůstající evapotranspirace a změnou klimatu. Bylo odhadnuto, že do roku 2050 povede solný stres až k 30% degradaci orné půdy.

Účinky solného stresu se u rostlin projevují osmotickým a iontovým stresem. U rostlin dochází při osmotickém stresu k snížení příjmu vody, zpomalení růstu a zvadnutí. Specifický iontový účinek je způsobený nadbytkem a následnou toxicitou solných iontů v rostlině a způsobuje snížení růstu, změny enzymatických aktivit a nutriční nerovnováhu způsobenou sníženou absorpcí živin. Většina rostlinných druhů je citlivá na zvýšené množství solí v půdě. Mezi rostliny citlivé k solnému stresu patří i hrách setý (*Pisum sativum* L.), který je ekonomicky významnou luštěninou produkující značné množství semen bohatých na bílkoviny důležitých pro výživu lidí i zvířat.

Identifikace a výběr druhů rostlin tolerantních k zasolení a studium jejich výnosového a výživového potenciálu jsou jedny z hlavních výzkumných témat. K nalezení odpovědí je důležité pochopení rostlinných reakcí a jejich mechanismů, které používají k přežití. Toto porozumění je rozhodující pro položení základů účinné strategie pro zvýšení tolerance rostlin, a tedy i růstu a výnosů. Kromě technologických opatření jsou testovány i jiné možnosti pro eliminaci salinity. Nedávné výzkumy naznačují, že rostliny mohou být aktivovány chemickými sloučeninami, aby lépe snášely různé abiotické stresy. Při chemické aktivaci neboli primingu jsou semena před výsevem mořena pomocí chemické látky. Pozitivní účinky primingu semen v podmínkách slanosti byly zaznamenány u mnoha druhů plodin. Jednou z chemických látek, která vyvolává vzrůstající zájem díky mechanismům zlepšujícím účinnost využívání zdrojů u rostlin vystavených stresu, je omeprazol. Omeprazol je derivát benzimidazolu patřící mezi inhibitory protonové pumpy, které v lidském těle řídí sekreci žaludeční kyseliny. Účinek omeprazolu vůči solnému stresu je v posledních letech zkoumán konkrétněji. Několik studií prokázalo, že omeprazol zlepšuje růst rostlin a zvyšuje toleranci vůči solnému stresu prostřednictvím změn genové exprese a absorpce a transportu iontů. Přestože komerční aplikace omeprazolu ve velkém měřítku nemusí být v současné době ekonomicky životaschopná, jeví se omeprazol jako potenciálně zajímavá chemická látka. Pozitivní účinky omeprazolu na růst rostlin by zasloužily další podrobnější výzkum obzvláště v současné době, kdy se plocha orné půdy zasažená salinitou neustále zvětšuje.

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Zasolení je v současné době velmi aktuální téma, především proto, že se plocha orné půdy zasažena salinitou neustále zvětšuje. Je tedy nutné se zaměřit na možnosti eliminace vlivu salinity na fyziologické procesy rostlin. Kromě technologických opatření, jsou testovány možnosti pro eliminaci salinity s použitím stimulačních látek, které lze aplikovat formou moření (primingu) před výsevem.

Cílem práce bylo vyhodnotit priming efekt omeprazolu na růst hrachu vystaveného zasolení.

Hypotézy:

- Omeprazol ovlivňuje klíčivost semen hrachu
- Zasolení ovlivňuje růstové parametry hrachu
- Omeprazol ovlivňuje růst kořenů a stonků hrachu v podmínkách zasolení

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Klíčení

Pojem klíčení semen se používá k označení poměrně velkého počtu procesů (Mayer & Poljakoff-Mayber 1982). Klíčení je definováno obnovením metabolické aktivity embrya začínající absorpcí vody suchým semenem a končící prodloužením buněk radikuly (kořínku) skrze prasklou testu (osemení) semene. Semeno obsahuje zásobní látky, které využívá pro vyklíčení a díky kterým je do značné míry nezávislé na enviromentálních zdrojích (Lambers et al. 2008). Při klíčení se tedy nejprve objeví kořínek, který je upřednostněn před růstem lodyžky. Kořínek postupně přebírá zásobní funkci (Josefusová et al. 1985). Poté začíná růst sazenice, na kterou již působí okolní podmínky (světlo, CO<sub>2</sub>, voda, teplota). Lambers et al. (2008) uvádí, že klíčení končí v okamžiku, kdy se sazenice stane nezávislou na mateřských rezervách a je soběstačnou fotoautotrofní rostlinou. Klíčení je proces nevratný; jakmile klíčení začne, rostlina buď přežije nebo zahyne (Fenner & Thompson 2005).

#### 3.1.1 Typy klíčení

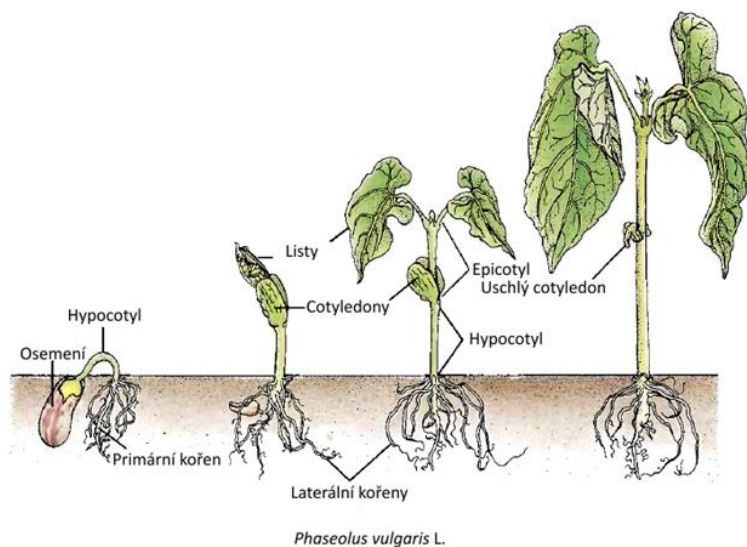
Dle umístění dělohy rozlišujeme dva způsoby, jak mohou semena klíčit: epigeicky a hypogeicky (Mayer & Poljakoff-Mayber 1982).

##### 3.1.1.1 Epigeické-Nadzemní klíčení

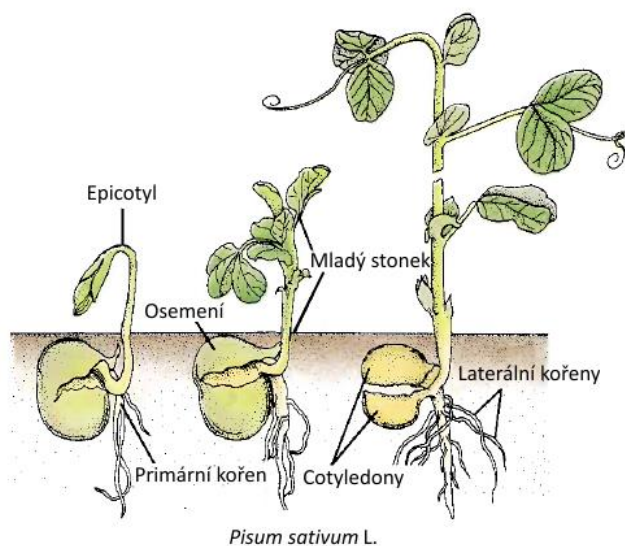
Při epigeickém (nadzemním) klíčení ze semene nejprve vyrůstá radikula a poté se prodlužuje hypokotyl (Mayer & Poljakoff-Mayber 1982). Během růstu radikuly se hypokotyl začíná protahovat do oblouku, který prorazí půdu a vynese dělohy (cotyledon) nad povrch půdy. Dělohy fungují jako zásobní orgány a po vyčerpání rezerv mohou buď zezelenat a stanou se z nich první asimilační orgány, nebo po vyčerpání zásob odumírají a padají na zem (Baskin & Baskin 2014). Epigeické klíčení je charakteristické pro fazol zahradní (*Phaseolus vulgaris* L.) a okurku setou (*Cucumis sativus* L.) a je považováno za evolučně primitivnější než hypogeické klíčení (Copeland & McDonald 2001) (Obrázek 1).

##### 3.1.1.2 Hypogeické-Podzemní klíčení

Při hypogeickém (podzemním) klíčení se hypokotyl neprodlouží nad povrch půdy a dělohy, které zůstávají uvnitř semene, jsou mírně pod povrchem půdy (Baskin & Baskin 2014). Je to tedy druh klíčení, ve kterém dělohy zůstávají pod zemí a slouží jako zásobárna živin, zatímco epikotyl roste a vystupuje nad povrch půdy. Je charakteristické u hrachu setého (*Pisum sativum* L.), všech trav a mnoho dalších druhů. U trav je nadzemní část klíčící rostliny (plumule) krytá dočasným listem (koleoptilí). Koleoptile poskytuje ochranu a tuhost vznikajícímu plumule při průchodu půdou, poté přestane růst a rozpadá se (Copeland & McDonald 2001) (Obrázek 2).



Obrázek 1: Epigeické klíčení u fazolu (Ever & Eichhorn 2013, upraveno)



Obrázek 2: Hypogeické klíčení hrachu (Ever & Eichhorn 2013, upraveno)

### 3.1.2 Dormance

Jen málo věcí je pro rostliny důležitější než zajištění toho, aby klíčení probíhalo na správném místě a ve správný čas. Někdy je tento požadavek uspokojen klíčením, jakmile jsou semena shozena z mateřské rostliny, ale u většiny rostlin musí dojít nejdříve k oddálení klíčení (Fenner & Thompson 2005). Načasování klíčení semen může být rozhodující pro přežití přirozených populací rostlin a v tomto načasování hraje hlavní roli dormance (Lambers et al. 2008). Velmi častá a mylná představa o dormanci osiva spočívá v tom, že je to pouze klidový stav při absenci vhodných podmínek ke klíčení. Tento stav se ale nazývá klid. Pravá dormance je definována jako stav, ve kterém semena nemohou klíčit, a to ani za podmínek prostředí, které jsou obvykle klíčivé (Copeland & McDonald 2001). Dormantní semeno je tedy zralé

životaschopné ale neklíčí, přestože jsou splněny vhodné podmínky pro klíčení a růst (Koornneef et al. 2002). Protože funkcí semene je založit novou rostlinu, může se zdát zvláštní, že dormance existuje. Dokonce i ve zdánlivě příznivých podmínkách však nemusí být výhodné, aby semeno volně klíčilo (Bewley 1997). Dormance je tedy adaptivní vlastnost, která optimalizuje distribuci klíčení semen v populaci v čase. Je ale nežádoucí vlastností u zemědělských plodin, kde je vyžadována rychlá klíčivost a růst. Určitá míra dormance je však výhodná, alespoň během vývoje semen (Bewley 1997).

Rozsáhlá domestikace a šlechtění druhů plodin zdánlivě odstranily většinu dormančních mechanismů přítomných v semenech jejich divokých předků, ale za nepříznivých podmínek prostředí se dormance mohou objevit znovu (Bewley 1997). Copeland a McDonald (2001) uvádí, že dormance osiva je geneticky zděděná vlastnost, jejíž intenzita je během vývoje semen modifikována prostředím. Rostliny s dlouhou historií domestikace obvykle vykazují kratší období klidu než volně žijící nebo nedávno domestikované druhy. Když domestikované druhy vykazují dormanci, stanou se problémem pro producenty osiva, jejich zákazníky a analytiku semen. Určitá míra dormance je však u některých plodin žádaná, protože brání vyklíčení před sklizní a pomáhá udržovat kvalitu semen. Uvolnění z dormance může být ještě nevyzpytatelnější, protože prahová stimulace potřebná k podpoře klíčení se u jednotlivých semen velmi liší (Bewley 1997). Dormance tedy představují náročnost semena ohledně podmínek klíčení, které vyžaduje, zatímco klíčení je to, co se stane, když prostředí splňuje tyto požadavky (Fenner & Thompson 2005).

### **3.1.3 Faktory ovlivňující klíčení semen**

Dormance a klíčení semen jsou komplexní adaptivní rysy vyšších rostlin, které jsou ovlivněny vnitřními a vnějšími faktory prostředí jako jsou světlo, teplota, voda a kyslík (Koornneef et al. 2002).

#### **3.1.3.1 Vnitřní faktory**

V semenech se vyskytuje několik fyzických a fyziologických mechanismů dormance včetně primární a sekundární dormance, které lze označit za vnitřní faktory ovlivňující klíčení (Copeland & McDonald 2001).

Primární (vrozená) dormance je vyvolána v průběhu vývinu semene a je nejčastější formou dormance. Má dvě formy: exogenní a endogenní. Exogenní dormance je stav, při kterém semenu nejsou dostupné základní podmínky pro klíčení. Tento typ dormance obecně souvisí s fyzikálními vlastnostmi testy, která může být nepropustná pro vodu a plyny nebo může způsobovat mechanické omezení nepříznivé pro klíčení (Copeland & McDonald 2001). Testa je struktura značného významu tvořící bariéru mezi embryem a jeho bezprostředním okolím. Nejběžněji se vyskytujícím obalem je tvrdé osemení, které je nepropustné pro vodu (Mayer & Poljakoff-Mayber 1982). Tato nepropustnost vůči vodě je typická pro mnoho rostlin z čeledi Fabaceae (Copeland & McDonald 2001). Nepropustnost vody testou způsobuje vrstva palisádového sklerenchymu, která zabraňuje zbobtnání semen. Tuto vrstvu lze narušit cíleně chemicky či mechanicky. V přírodních podmínkách mohou vrstvu narušit mikroorganismy žijící v půdě (Šebánek 1998). Endogenní dormance je způsobená vrozenými vlastnostmi semene, které odpovídají druhovým charakteristikám. Semeno může například obsahovat

přebytek inhibičních látek, jejichž hladina musí být nejdříve snížena, aby mohlo ke klíčení dojít (Copeland & McDonald 2001). Některé z inhibičních látek jsou rozpustné ve vodě, je tedy zapotřebí působení dostatečného množství vody, aby byly tyto inhibitory vyplaveny. Látkou, která inhibuje klíčení, může být buď konkrétní organická sloučenina nebo nahromaděné soli. Pokud dojde k opětovnému zhoršení vodních podmínek, dojde u semen, která nevyklíčila, opět k syntetizaci nové inhibiční látky (Lambers et al. 2008). Dalšími specifickými inhibitory jsou hormony kyseliny abscisové a giberelinu (Koornneef et al. 2002). Trvání endogenní dormance je ovlivněno podmínkami prostředí během vývoje a zrání semen. Mezi významné faktory patří teplota během zrání, délka dne, stav vlhkosti, poloha semene v plodu a věk mateřské rostliny (Copeland & McDonald 2001). Primární dormance tedy slouží k zabránění klíčení (i když jsou podmínky pro klíčení příznivé) v ročním období, kdy prostředí nezůstává dostatečně dlouho příznivé na to, aby mladé rostliny přežily. Dormance osiva proto hraje důležitou roli při regulaci načasování klíčivosti tak, aby podmínky prostředí byly příznivé pro přežití sazenic a případné zrání rostlin (Baskin & Baskin 2014).

Sekundární (vynucená) dormance je reakce na určité nepříznivé vnější faktory prostředí objevující se u zralých životaschopných semen, která již primární dormancí prošla nebo jí vůbec nemají.

### 3.1.3.2 Vnější faktory

#### 3.1.3.2.1 Voda

V klidovém stavu mají semena nízkou vlhkost a jsou schopna udržovat minimální úroveň metabolické aktivity, což zajišťuje dlouhodobé přežití semen v půdě (Copeland & McDonald 2001). Každý druh má kritický obsah vody pro udržení životaschopnosti a obsah vody nutný pro začátek klíčení (Fenner & Thompson 2005). Kikuzawa & Koyama (1999) uvádí, že množství vody potřebné k zahájení klíčení je úměrné velikosti semene, z čehož vyplývá výhoda menších semen v rychlejší dosažení nezbytného obsahu vody pro vyklíčení. Velká semena mají vyšší požadavek na obsah vody. Pro začátek klíčení je nutné, aby došlo k zbobtnání semen. Příjem vody semenem je třífázový. V první fázi dochází k rychlé absorpci vody přes testu do dělohy. Poté následuje druhá ustálená fáze, ve které dochází k vývojovým procesům. V poslední fázi dojde k opětovnému zvýšení absorpce vody, prodlužuje se kořínek a klíčení je dokončeno. Na rychlost vstřebávání vody semenem má vliv propustnost testy, obklopení substrátem a relativní rozdíl mezi vodním potenciálem půdy a semene (Fenner & Thompson 2005).

#### 3.1.3.2.2 Kyslík

Dalším faktorem ovlivňujícím klíčení většiny rostlin je přístupnost kyslíku (Copeland & McDonald 2001). Z kyslíku je během oxidační fosforylace získávána energie nezbytná pro klíčení (Šebánek 1998). Maximální klíčení semen většiny rostlin nastává při koncentracích kyslíku blízkých koncentracím ve vzduchu (Copeland & McDonald 2001). Koncentrace kyslíku v půdě se může výrazně lišit od koncentrace v atmosféře. Důvodem je převážně biologická aktivita v půdě, zejména aktivita mikroorganismů a kořenů rostlin. Obecně platí, že rozdíl mezi koncentrací kyslíku v půdě a v atmosféře se s hloubkou půdy zvyšuje (Fenner & Thompson 2005).

### 3.1.3.2.3 Teplota

Teplota má velký vliv během všech vývojových fází, tedy i během klíčení. Rozmezí teplot pro klíčení se zpravidla liší od teplot vhodných pro růst a rozvoj vegetativních orgánů (Larcher 1988). Účinek na klíčení může být vyjádřen hodnotami kardinálních teplot, což jsou minimální, optimální a maximální teploty. Určení minimální teploty může být problematické, protože klíčení může probíhat při tak malé rychlosti, že je zaznamenáno až při dokončení. Optimální teplota může být definována jako teplota poskytující největší procento klíčení v nejkratším čase. Při maximální teplotě (30 až 40 °C) dochází k denuraci proteinů nezbytných pro klíčení. Reakce na teplotu závisí na řadě faktorů včetně druhu, odrůdy, pěstitelské oblasti, kvality semen a doby od sklizně. Obecně však platí, že semena mírného pásma vyžadují nižší optimální teploty než semena tropického regionu a divoké druhy mají nižší požadavky na teplotu než domácí rostliny (Copeland & McDonald 2001). Larcher (1988) uvádí optimum pro rostliny mírného pásma v rozmezí 8-25 °C a pro tropické rostliny v rozmezí 15-30 °C.

### 3.1.3.2.4 Světlo

Zatímco vlhkost, kyslík a příznivá teplota jsou nezbytné pro klíčivost všech semen, určité druhy rostlin vyžadují také přítomnost světla. Klíčení je ovlivněno nejen intenzitou světla (lux), ale také jeho kvalitou (barvou nebo vlnovou délkou) (Copeland & McDonald 2001). Podle nároků na světlo při klíčení lze rozdělit rostliny na kladně (světlo klíčení stimuluje) a záporně fotoblastické (světlo klíčení inhibuje) (Šebánek 1998). Schopnost detekovat intenzitu, kvalitu nebo periodicitu světla poskytuje semenu informace o okolním prostředí, které jsou potřebné pro správné načasování klíčení. Důležitým vlivem je umístění semene buď pod povrchem, či na povrchu půdy. K semenům uloženým hluboko v půdě světlo neproniká. Čím blíže jsou semena k povrchu, tím více světla k nim proniká a mohou snadněji klíčit. U semen ležících na povrchu půdy může být rozhodující stupeň zastínění, jelikož vysoké intenzity slunečního záření mohou způsobit úhyn (Fenner & Thompson 2005).

## 3.2 Obecné pojetí stresu

Většina definic považuje stres za významnou odchylku od optimálního stavu života (Larcher 2003). Stres ve fyzikálním vyjádření je definován jako mechanická síla na jednotku plochy aplikovaná na objekt. V odezvě na aplikovaný stres objekt prochází změnou rozměru, která je také známá jako napětí. Definicí biologického stresu je nepříznivá síla nebo stav, který brání normálnímu fungování a blahu biologického systému, jako jsou rostliny (Jones & Jones 1989). V nejširším biologickém smyslu může být stres jakýkoli faktor, který může mít nepříznivý účinek na jednotlivé organismy, populace nebo komunity. Biologicky je stres definován také jako přehnaný tlak, který ovlivňuje normální funkce individuálního života, čímž rostlinám brání v plném vyjádření jejich genetického potenciálu pro růst, vývoj a reprodukci (Levitt 1980). V zemědělském kontextu je stres definován jako fenomén, který omezuje produktivitu plodin nebo ničí biomasu (Thompson & Grime 1979). Stresem se rozumí jakýkoli faktor vnějšího prostředí, biotický nebo abiotický (fyzikálně-chemický), který případně nepříznivě ovlivňuje (zatěžuje) živé organismy (Kůdela et al. 2013).

### 3.2.1 Rostliny a stres

Vzhledem k tomu, že jsou rostliny přisedlé, je těžké měřit přesnou sílu vyvíjenou stresem, a proto je z biologického hlediska těžké definovat stres. Biologický stav, který může být pro jednu rostlinu stresem, může být pro jinou rostlinu optimální (Jones & Jones 1989). Nepříznivé vlivy vnějšího prostředí závažně ohrožující rostlinu označujeme jako stresové faktory (stresory) (Procházka et al. 1998). Kdekoli rostliny rostou, jsou působením velkého množství stresorů omezovány v naplnění genetického potenciálu pro růst, vývoj a přežití (Larcher 2003). Genetický potenciál je ale obtížné kvantifikovat, a tedy následně měřit dopad stresu. Můžeme však předpovídat množství sušiny či výnosu v „optimálním“ prostředí a poté posoudit účinek stresu pomocí snížení pod optimální hodnotu (Jones & Jones 1989).

Stresem jsou vyvolány změny a reakce na všech funkčních úrovních organismu. Změny mohou být dočasné i trvalé. I když je stresová reakce pouze dočasná, může se projevit až následně oslabením vitality rostliny. Pokud je stres už nad hranicí schopnosti přizpůsobení, dochází k nevratným poškozením nebo úhynu rostlin (Larcher 2003). Rozdílné odezvy rostlin na stres jsou ovlivněny druhem stresu, jeho dobou působení a schopností rostlin se zotavit či ubránit. Tyto schopnosti jsou ovlivněny i životní fází rostliny, obzvláště citlivé jsou klíčící rostliny (Jones & Jones 1989). Další problém je, že na rostliny nepůsobí jednotlivé stresory odděleně, ale vždy v kombinaci jak v přirozených, tak i v uměle vytvořených ekosystémech, proto v porovnání s živočišnou stresovou fyziologií je stresová fyziologie rostlin komplikovanější. Komplikovanost je dána také tím, že stresem mohou být ohroženy pouze některé rostlinné orgány, a nikoliv celá rostlina (Hnilička & Hniličková 2016).

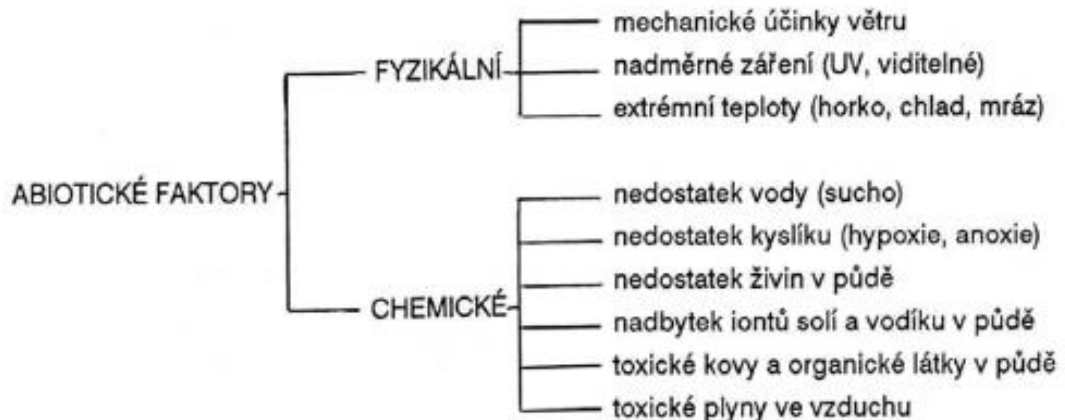
Ekologové, fyziologové a agronomové tradičně rozdělují stresy, které rostliny zažívají, do dvou hlavních kategorií: biotické a abiotické. Biotický stres vzniká interakcí mezi organismy, zatímco abiotické stresy jsou ty, které jsou závislé na interakci mezi organismy a fyzickým prostředím. Přesněji řečeno, biotické stresy jsou důsledkem konkurence o zdroje mezi organismy zahrnující predátorství, parazitismus a působení alelopatických chemikálií uvolňovaných jedním organismem a postihujících druhého (Fitter & Hay 1987).

#### 3.2.1.1 Abiotický stres

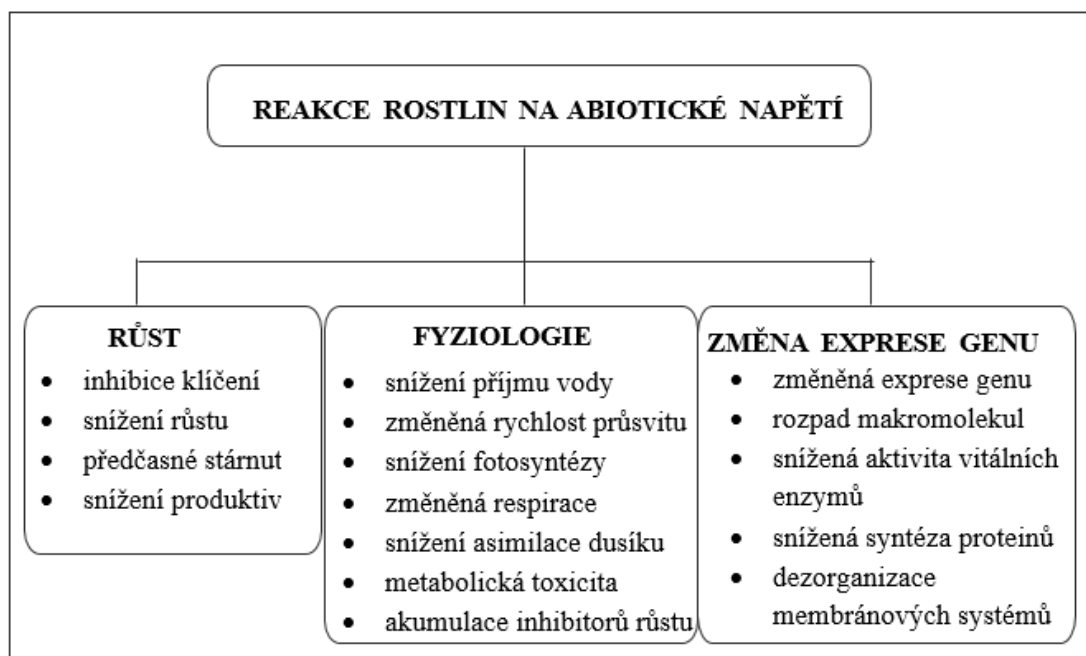
Abiotické stresy patří mezi hlavní faktory omezující zemědělství (Rao 2006). Mezi významné abiotické stresy patří extrémní teploty, nadměrné záření, nedostatek vody, nedostatek kyslíku, toxicita těžkých kovů a v neposlední řadě nadbytek solných iontů (Obrázek 3). Různé antropogenní aktivity zdůraznily stávající stresové faktory, které brání rostlinám v dosažení plného genetického potenciálu a omezují produktivitu plodin (Schinokazi et al. 2015). Bylo odhadnuto, že pouze 10 % orné půdy může být zařazeno do kategorie bez stresu, což znamená, že plodiny pěstované na dalších 90 % orné půdy prožívají jeden nebo více environmentálních stresů. Některé z těchto stresů, jako jsou sucho, extrémní teplota a vysoká slanost ovlivňující vodní vztahy v rostlinách, výrazně omezují produktivitu plodin. Předpovídá se, že deficit vody bude i nadále hlavním abiotickým faktorem (Murata & Mori 2013). Tuteja & Gill (2013) uvádějí, že abiotické stresy snižují průměrný výnos hlavních plodin o více než 50 %, což každoročně způsobuje ztráty ve výši stovek milionů dolarů. Minimalizace těchto ztrát je hlavní oblastí zájmu pro celý svět.



Vyšší rostliny jsou přisedlé, a proto nemohou uniknout z abiotických stresových faktorů. Jsou jim nepřetržitě vystaveny a vyžadují tedy i větší ochranu. To jim umožnilo vyvinout unikátní mechanismy pro zvládnutí různých stresových faktorů, nicméně v mechanismech tolerance jsou mezi rostlinami velké rozdíly. V rostlinách dochází k mnoha změnám, aby se mohly vyrovnat s důsledky stresu. Mezi takové změny patří fyziologické a metabolické mechanismy, genové exprese a vývojové aktivity (Obrázek 4). Proto mají rostliny unikátní a sofistikované mechanismy, které tolerují abiotické stresy. Ty rostliny, které mají lepší tolerantní, odolné, ochranné a aklimatizační mechanismy, mohou přežít, zatímco jiné nemohou (Rao 2006).



Obrázek 3: Přehled nejdůležitějších stresových faktorů (Procházka et al. 1998)



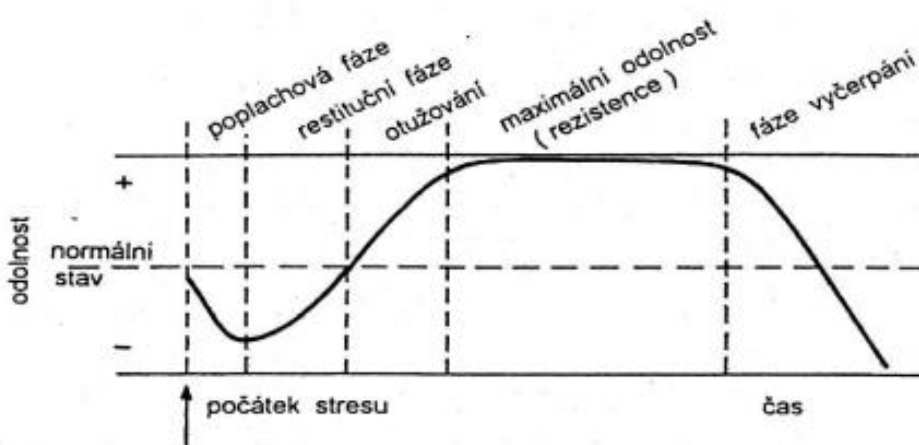
Obrázek 4: Některé z běžných reakcí rostlin na abiotické napětí (Rao 2006, upraveno)

### 3.2.1.2 Reakce rostlin na stres

Výskyt, povaha a intenzita stresu se může lišit v závislosti na čase, ať už v rámci hodin, dnů či sezón. Tolerance vůči stresu se liší podle fáze fyziologického růstu, vývojové fáze a velikosti rostlin (Ashraf et al. 2005). Rostliny postrádají schopnost uniknout před působením biotických a abiotických stresorů aktivním pohybem. Jsou tedy závislé na aktivaci různých efektivních fyziologických reakcí, kterými se brání vůči škodlivým účinkům stresu ohrožujícím jejich růst, vývoj, vitalitu a přežití. Rostliny reagují na stresovou zátěž aktivací specifických obraných mechanismů. K popisu těchto obraných mechanismů se používají různé terminologické systémy popisující skutečnost, že některé druhy a odrůdy rostlin jsou v určité růstové a vývojové fázi k působení některého abiotického stresoru přizpůsobeny (adaptovány) a jiné nikoli, některé jsou vůči němu citlivé (málo odolné), jiné naopak odolné (Kúdela et al. 2013).

Reakci rostlin ovlivňuje mimo jiné doba trvání stresu, jeho závažnost a rychlost. Několik nepříznivých stresů v kombinaci může vyvolat odlišnou reakci nežli pouze jeden stres. Reakce může být vyvolána přímo stresem, jako je sucho, nebo je výsledkem poškození vyvolaného stresem, jako je například ztráta integrity membrán. Navíc rezistence a citlivost na stres se liší podle druhu, genotypu, vývojového stupně a typu zasaženého orgánů nebo pletiv. Rostliny reagují na stres různými mechanismy. Neschopnost kompenzovat silný stres může způsobit umrtví rostlin (Schinokazi et al. 2015).

Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, je nazývána stresovou reakcí (poplachová fáze, restituční fáze, fáze rezistence, fáze vyčerpání). První fáze, která se nazývá poplachová, je zahájena přímo po účinku stresoru či spíše kombinací stresorů, kdy jsou jejich působením narušeny buněčné struktury a životní funkce rostliny. Nedojde-li k překročení letální meze rostliny a k jejímu úhynu, nastává restituční fáze a v rostlině začnou pracovat kompenzační mechanismy. Tyto mechanismy ovlivňují zvýšenou odolnost rostlin ve fázi rezistence vůči působícím stresorům. Při dlouhodobém a intenzivním vlivu stresorů nemusí být zvýšená odolnost rostliny vždy trvalého charakteru a může dojít opět k jejímu poklesu ve fázi vyčerpání (Obrázek 5) (Bláha et al. 2003).



Obrázek 5: Zjednodušený průběh stresové reakce (Larcher 1995, upraveno)

Výsledkem stresové reakce je určitá úroveň adaptační schopnosti (Bláha et al. 2003). Podle Levitta (1980) může být adaptace dosaženo buď vyhnutím se stresu (stress avoidance), nebo vytvořením vnitřní tolerance (rezistence), což je zmírnění dopadu stresu pomocí specifických reparačních mechanismů na biochemické nebo fyziologické úrovni. Dalším mechanismem rezistence je aklimatizace, úprava jednotlivých organismů v reakci na měnící se faktory prostředí. Během aklimatizace mění organismus svoji homeostázu, svou ustálenou fyziologii, a přizpůsobuje se změnám vnějšímu prostředí. Období aklimatizace před stresem může rostlině jinak zranitelné dodat odolnost vůči stresu (Schinokazi et al. 2015). Je nutné poznamenat, že adaptace zahrnuje dědičnou změnu struktury na rozdíl od aklimatizace, ke které dochází během života organismu a není tedy dědičnou vlastností (Jones & Jones 1989). Ať už na základě aklimatizace nebo adaptace, úspěšné mechanismy odolnosti proti stresu podporují přežití za letálních podmínek nebo udržují produktivitu za podmínek, které snižují výnosy plodin (Schinokazi et al. 2015).

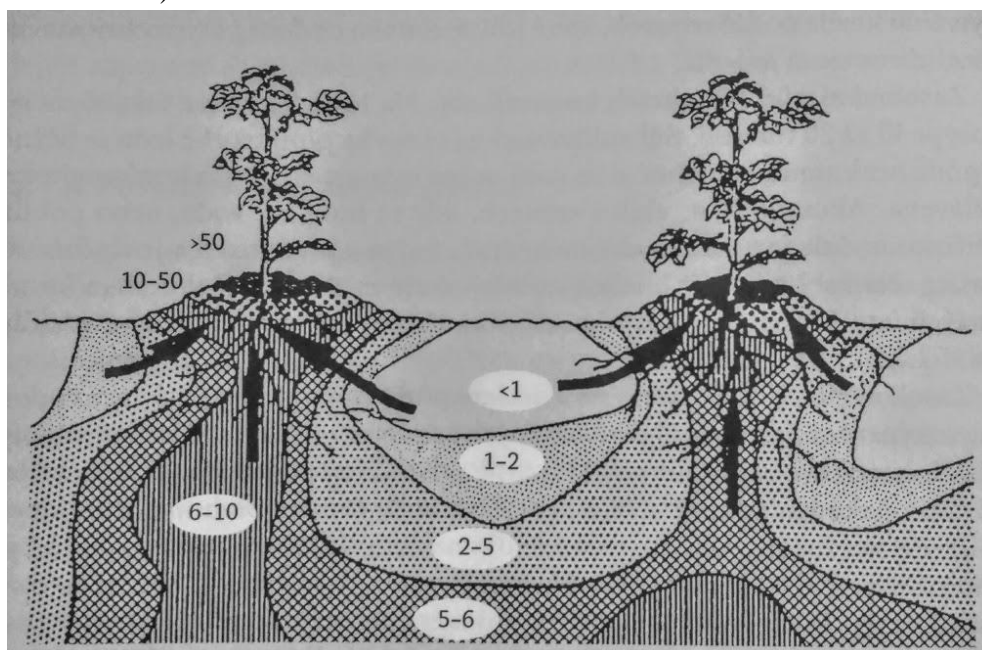
### **3.3 Zasolení**

#### **3.3.1 Příčiny zasolení**

Salinita vzniká v důsledku zvýšené koncentrace různých solných iontů v půdě (převážně  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ ). Zvýšená koncentrace způsobuje pokles potenciálu půdní vody a tím snižuje příjem vody kořeny (Kosová et al. 2011). Dominantními solemi jsou buď chlorid sodný, síran sodný nebo směsi těchto dvou (Dajic 2006). Slaná stanoviště jsou typická zvýšeným obsahem snadno rozpustných solí v půdě nebo vodě (Larcher 1988). Zasolené půdy vznikají v důsledku speciálních klimatických a půdních podmínek a vyskytují se nejen v blízkosti moře, ale i ve vnitrozemských oblastech, kde potencionální výpar (tj. množství vody, které by se za daných klimatických podmínek odpařilo, pokud by byla voda v půdě stále v dostatečném množství) převažuje nad srážkami. V České republice se můžeme se slanými půdami setkat v oblastech, kde se nacházejí minerální prameny (Procházka et al. 1998; Bláha 2003 et al.). Ashraf & Wu (1994) uvádějí, že existují dva hlavní zdroje slanosti: primární neboli přírodní zdroje způsobené zvětráváním minerálů solných mateřských hornin a sekundární salinizace způsobená lidskými faktory, jako je dlouhodobé zavlažování a odlesňování. Salinita způsobená nadměrným využíváním zavlažování se stává stále větší hrozbou pro celosvětové zemědělství (Botella et al. 2005). Při zavlažování může dojít k zasolení půdy opakovaným použitím vody s vysokým obsahem soli nebo intenzivním zavlažováním na pozemcích, kde není zajištěno dostatečné odvodnění (Kůdela et al. 2013). Pokud není možné tyto nahromaděné soli vyplavit, dochází u citlivých rostlin k poškození (Taiz & Zeiger 2002).

Zasolení nemusí být rovnoměrné a může docházet k akumulaci solí v bezprostřední blízkosti kořenů rostlin (Kůdela et al. 2013). K akumulaci solí v rostlinném krytu dochází v průběhu vegetačního období důsledkem vypařování vody a vyluhováním solí z odumřelých rostlinných částí (Larcher 1988) (Obrázek 6). K hromadění solí v povrchové vrstvě půdy dochází také při odlesnění v důsledku nedostatečného odčerpávání vody a solí náhradním porostem (Kůdela et al. 2013). K zamezení dalšímu šíření salinizace je třeba změnit některé zemědělské postupy, například používat optimalizované zavlažovací systémy (kapková závlaha), střídát jednoleté plodiny s hluboce kořenicími víceletými druhy a udržovat rovnováhu

v množství srážkové a spotřebované vody (zamezující přísun solí na povrch se stoupající vodní hladinou) (Munns 2002).



Obrázek 6: Schéma znázorňující zavlažování brambor brázdovým podmokem. Vypařování vody na vrchu hrůbků způsobuje postupné hromadění soli. Šipky znázorňují směr vzestupu vody kapilárami. Vyšší číselná hodnota znamená vyšší zasolení (McKersie & Leshem 1994)

### 3.3.2 Účinky zasolení na rostliny

Přežití rostlin na slaných stanovištích závisí hlavně na koncentraci a chemickém složení půdního roztoku. Soli působí na rostliny zejména osmotickým a specifickým iontovým účinkem a tím vyvolávají solný stres (Larcher 1988).

#### 3.3.2.1 Osmotický účinek

Solné roztoky osmoticky vážou vodu, která se při zvyšující koncentraci solí v půdě stává stále méně přístupnou pro rostliny (Larcher 1988). Zvýšená koncentrace solí způsobí pokles vodního potenciálu půdy a tím se sníží příjem vody kořeny (Kosová et al. 2011). U zdravých a dobře zavlažovaných rostlin se pohybuje tlak vodního potenciálu kolem 0,6 MPa. Příjem a transport vody probíhá pasivně, rostlina přijímá vodu, jen když je vodní potenciál kořenů menší než vodní potenciál půdy (Procházka et al. 1998). Munns & Sharp (1993) uvádějí, že pokud sůl v půdě dosáhne koncentrace 40 mM NaCl, klesne vodní potenciál půdy na 0,2 MPa. Zvýšená koncentrace solí v půdě způsobí již zmíněný osmotický účinek, soli obsažené v půdní vodě způsobí vzrůst potenciálu půdní vody, tedy energii, kterou je voda poutána, a průtok vody z půdy do kořenů rostlin se zpomalí oproti průtoku vody obsahující jen malé koncentrace solí. Tím dochází k odevzdávání vody z rostlin, zpomalení růstu a zvadnutí. Rostliny nemají mechanismy, kterými by cizí prvky odmítaly a přijímaly jen živiny, a musí tedy spolu s nezbytnými živinami přijímat i cizí a toxické prvky v roztoku (Kutílek 2012). Rostliny musí pro získání vody vytvořit osmotický potenciál nižší, nežli je potenciál solného roztoku (Larcher 1988).

### 3.3.2.2 Iontový účinek

Specifický iontový účinek je způsobený nadbytkem  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  a vede k bubření protoplazmy a změnám enzymatické aktivity, při kterých nastávají jak kvalitativní, tak kvantitativní změny. Důsledky těchto změn jsou nedostatečná tvorba energie při fosforylaci, poruchy asimilace dusíku, změněné zastoupení aminokyselin a abnormality v metabolismu bílkovin, které vedou ke tvorbě toxických produktů. Vysoký obsah  $\text{NaCl}$  způsobuje také omezenou schopnost přijímání minerálních živin (zejména  $\text{K}^+$  a  $\text{Ca}^{2+}$ ), sníženou produkci sušiny a klesající rychlost růstu, zejména kořenů (Larcher 1988).

### 3.3.3 Vliv zasolení na růst rostlin

Zasolení způsobuje osmotický stres, který vede k zmíněné snížené schopnosti příjmu vody a ztrátě turgoru u rostlin (Ashraf et al. 2005). Dalšími nepříznivými účinky souvisejícími s nízkým osmotickým potenciálem jsou fyziologické sucho, nutriční nerovnováha a specifická iontová toxicita nebo kombinace všech těchto faktorů (Batool et al. 2014). Z těchto negativních účinků je zřejmé, že vysoká slanost komplexně ovlivňuje fyziologii rostlin a je zemědělsky významným problémem (Dinney 2014). Sudhir & Murthy (2004) uvádějí, že rostliny lze podle tolerance k zasolení rozdělit do dvou skupin. Většina rostlin patří do skupiny glykofytů, které mají poměrně nízkou toleranci vůči zasolení nebo silně inhibovaný růst i při nízkých hladinách  $\text{NaCl}$ . Druhou skupinou rostlin jsou halofyty, tyto druhy rostlin jsou schopné v zasolené půdě přirozeně růst a dokončit svůj životní cyklus (Duarte et al. 2014). Halofyty jsou schopny přijímat a hromadit v sobě soli, aby mohly získávat z půdy osmoticky vázanou vodu. K této schopnosti jsou zapotřebí ochranné a vyrovnávací mechanismy chránící protoplazmu před účinky stresu (Larcher 1988). Mezi hlavní mechanismy patří přerušování transportu solí do listů, vylučování solí a mechanismy minimalizující koncentraci solí v cytoplasmě ukládáním solných iontů do vakuol (Munns 2002).

### 3.3.4 Vliv zasolení na klíčení rostlin

Již zmíněné iontové a osmotické účinky ovlivňují rostliny už od samotného klíčení. V přirozeném fyziologickém prostředí může osmotický tlak klíčení zabránit ještě před dosažením toxické iontové úrovně a být tak důležitým faktorem, který řídí správné načasování klíčivosti (Baskin & Baskin 2014). Při zvyšující se koncentraci  $\text{NaCl}$  se semenu znesnadňuje vstřebávání vody, bobtnání, prodlužování kořene a tím se celý proces klíčení zpomaluje. Semena tedy nenasají vodu a zůstávají v klidu do té doby, než se okolní podmínky nezlepší (Copeland & McDonald 2001). Koncentrace  $\text{NaCl}$ , která inhibuje klíčení, se v závislosti na druhu, odrůdě, teplotě a původu semene velmi liší. Baskin a Baskin (2014) uvádějí, že srážky snižují osmotický stres a také ředí koncentraci iontů zejména na povrchu půdy a tím vytvářejí příznivější podmínky pro klíčení. Lze předpokládat, že klíčení bude probíhat v období, kdy je půdní voda více naředěna, tedy v období dešťů nebo při nižších teplotách snižujících výpar. Halofytní dospělé rostliny jsou k fyziologickým podmínkám zasolení dobře přizpůsobeny a je tedy překvapivé, že klíčení většiny semen halofytů je také inhibováno slanou vodou (Fenner & Thompson 2005). Baskin & Baskin uvádějí, že i mezi halofyty existují velké rozdíly ve schopnosti klíčit v zasoleném prostředí. Obvykle semena halofytů klíčí lépe v destilované vodě

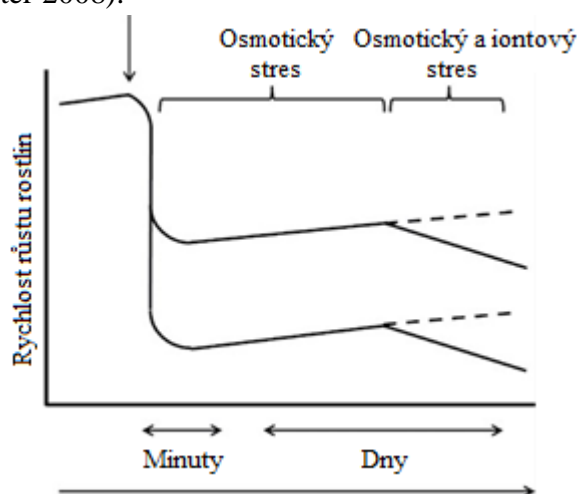
nežli v roztocích NaCl a přenos semen z těchto roztoků do čerstvé vody klíčení zvyšuje. Existují ale i druhy které klíčí lépe v roztocích s nízkou koncentrací NaCl než v destilované vodě. Chování semen může záviset na teplotě a světelných podmínkách (Baskin & Baskin 2014).

### 3.3.5 Reakce rostlin na zasolení

Růst rostlin reaguje na slanost ve dvou fázích: osmotické fázi, která inhibuje růst mladých listů, a iontové fázi, která urychluje odumírání zralých listů (Batoool et al. 2014) a snižuje jejich stomatální vodivost (Munns & Tester 2008).

V osmotické fázi, která začíná bezprostředně poté, co se koncentrace solí kolem kořenů zvýší na prahovou úroveň, rychlost růstu výhonků výrazně klesá a listové buňky ztrácejí vodu, avšak tato ztráta objemu buněk a turgoru je přechodná. Během několika hodin buňky obnoví původní objem a turgor díky osmotickému nastavení. Navzdory tomu ale během několika dnů dochází ke snížení prodlužování a dělení buněk, což vede k pomalejšímu růstu listů a menším konečným rozměrům rostlin. Rozměry se mění s větší redukcí plochy než hloubky, takže listy jsou menší a silnější (Munns & Tester 2008).

Pokud je rostlina vystavena slanosti dlouhodobě, dochází k sekundární iontové fázi, která způsobuje inhibici vývoje postranních výhonů a po měsících změny v reprodukčním vývoji, jako je například časné kvetení nebo snížený počet květů. Během této doby dochází k předčasnému stárnutí starších listů, produkce mladších listů však pokračuje (Obrázek 7). Všechny tyto změny v růstu rostlin jsou reakcí na osmotický účinek solí a jsou podobné reakcím na sucho (Munns & Tester 2008).



Obrázek 7: Fáze reakcí rostlin na slanost (Munns & Tester 2008, upraveno)

Míra, s jakou se vytvářejí nové listy, závisí převážně na vodním potenciálu půdního roztoku. Dlouhotrvající přeměna solí v listech vede k tak vysokým koncentracím  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ , až listy nakonec odumřou. Pro přežití rostliny je rozhodující míra odumření listů. Pokud se nové listy vytvářejí nepřetržitě ve vyšší míře, nežli je množství odumřelých starých listů, existuje dostatek fotosynteticky aktivních listů, aby rostlina vytvářela květy a semena, ačkoli v omezených počtech (Shabala & Munns 2017). Některé rostliny jsou k zasolení tolerantní především díky schopnosti absorbovat vodu i při střední vlhkosti silně zasolené půdy a jiné nepociťují škodlivost toxických prvků tak silně. Všechny rostliny však mají společné to, že

v období klíčení a mladého růstu jsou na rozpustné soli citlivější než v období plné zralosti (Kutílek 2012).

„Odolnost k zasolení je schopnost rostliny přestát přítomnost nadbytku solí (zejména  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  a  $\text{SO}_4^{2-}$ ), aniž by byly vážně narušeny její životní funkce. Odolnost k solím je v zásadě vlastnost protoplazmy, umožňující jí snášet lépe či hůře, podle typu pletiva a vitality buňky, změněné iontové poměry a osmotické účinky zvýšené koncentrace iontů, vyvolávající stres při nadbytku solí.“ (Larcher 1988). Velmi důležitým činitelem pro odolnost protoplazmy vůči solím je patrně nerovnoměrné rozdělení solných iontů přijatých buňkou. Většina iontů se ukládá ve vakuole, takže jejich obsah v cytoplasmě zůstává poměrně nízký, díky tomuto rozdělení není dopad stresu tak velký. Nerovnoměrné rozdělení solí udržují a způsobují iontové pumpy v hraničních vrstvách protoplazmy (Larcher 1988).

### 3.3.6 Osmotické přizpůsobení

Pro přežití rostlin je rozhodující příjem vody, ten ale probíhá jen v případě, pokud je v rostlině osmotický potenciál nižší nežli v zasolené půdě. Mnoho rostlin tolerujících sucho reguluje svůj osmotický potenciál tím, že se přizpůsobuje zvýšené vnější osmolalitě, aby kompenzovalo přechodné nebo prodloužené období stresu (Schinokazi et al. 2015). Tento proces se nazývá osmotické přizpůsobení a dochází při něm k akumulaci různých molekul v cytoplasmě, které následně působí proti vnějšímu osmotickému tlaku (Shabala & Munns 2017). Osmotické přizpůsobení je proces, kterým lze snížit vodní potenciál buňky bez doprovodného poklesu buněčného turgoru (Ashraf 2005). Osmotické přizpůsobení způsobuje snížení osmotického potenciálu v důsledku čisté akumulace rozpuštěných látek v reakci na nedostatek vody, a tím pomáhá udržovat nízké potenciály turgoru (Ashraf & Harris 2004).

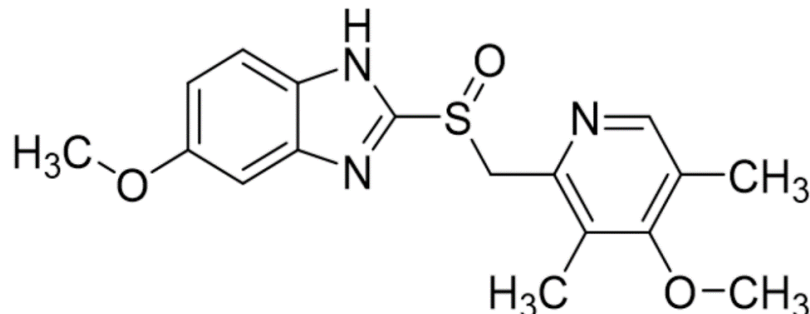
Adaptace rostlin k zasolení je dvojího typu. V rostlinách, ve kterých je vyloučení solí hlavním mechanismem jejich snášenlivosti, je příjem solí dokonale řízen pomocí vysoce selektivní plazmatické membrány, která zabraňuje proniknutí nadbytečných iontů do kořenových buněk. Naproti tomu v rostlinách, kde je základní mechanismus začlenění solí, dochází k jejich ukládání do vakuol, případně do apoplastu, odkud jsou transportovány do nadzemních částí rostlin a vylučovány na povrch listů (Mořková et al. 2014). Halofyty mají oba typy adaptace. Některé glykofyty také sůl dobře vylučují, ale nejsou schopny zbytkovou sůl rozdělit tak účinně jako halofyty. Většina glykofytů má tuto schopnost velmi omezenou, a tím dochází u starších listů k odumření buněk vlivem toxicity (Munns 2002). Ukládání solí do vakuol způsobuje vysoký osmotický tlak, který lze vyrovnat zvýšenou koncentrací kompatibilních osmoticky aktivních látek v cytosolu (Mořková et al. 2014). Rostliny mohou akumulovat řadu organických osmolytů (tzv. kompatibilně rozpustných látek), nejčastějšími jsou aminokyseliny, sacharidy a polyalkoholy. Jedná se o malé molekuly rozpustné ve vodě, které mohou být nahromaděny v buňkách ve vysokých koncentracích, aniž by ovlivnily metabolické reakce uvnitř buňky. Akumulace těchto netoxických (kompatibilních) osmoticky aktivních rozpuštěných látek vede ke zvýšení buněčné osmolality, která vede k přítoku vody do buněk, nebo alespoň ke snížení výtoku z buněk, čímž se vytvoří turgor nezbytný pro růst buňky. Ve většině případů je však koncentrace těchto organických osmolytů v půdách velmi nízká. Rostliny se ale mohou spoléhat i na anorganické osmolyty shromažďováním  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  a  $\text{K}^+$  pro účely osmotického přizpůsobení. Zadržování vody uvnitř buňky může být dosaženo stejně

dobře zvýšením koncentrace organických i anorganických molekul, avšak akumulace těchto iontů by neměla významně ovlivňovat buněčný metabolismus. Iont  $K^+$  se zdá být vhodný pro tuto roli, avšak za stresových podmínek elektrochemické gradienty vedou spíše ke ztrátě draslíku, a nikoli k absorpci. Dva další ionty,  $Na^+$  a  $Cl^-$ , jsou ve vnějších médiích extrémně hojné v podmínkách fyziologického roztoku, a proto mohou být použity jako levná osmotika pro udržení normálního buněčného turgoru nezbytného k růstu buněk (Shabala & Munns 2017).



## 4 Metodika

V pokusu byl sledován vliv primingu semen pomocí omeprazolu na růst hrachu setého (*Pisum sativum* L.) v podmínkách zasolení. Omeprazol je humánní léčivo s efektem inhibice protonových pump, které je používáno při poruchách trávení (Obrázek 8).



Obrázek 8: Strukturní vzorec omeprazolu (Milić et al. 2017, upraveno)

Pokus byl členěn na dvě části:

1. V laboratorním pokusu byla testována fytotoxicita omeprazolu u zvolené koncentrační řady v porovnání s kontrolou (destilovaná voda) a pozitivní kontrolou (peroxid vodíku). Testovanými kritérii byla délka a hmotnost (FW a DW) kořenů a stonků. Na základě získaných výsledků byla zvolena vhodná koncentrace pro priming semen.
2. Ve skleníkovém pokusu byla ošetřená semena hrachu vyseta do nádob se substrátem a vystavena zasolení. V opakovaných odběrech byl sledován růst kořenů a stonků (FW a DW).

### 4.1 Rostlinný materiál

Jako pokusný materiál byl zvolen hrách setý (*Pisum sativum* L.) patřící do čeledi bobovité (*Fabaceae*). Hrách je jednoletá rostlina s popínavou či poléhavou lodyhou. Kořenovou soustavu tvoří hlavní kořen a kořeny boční. Lodyha je jednoduchá, měkká, málo rozvětvená, čtyřhranná. Listy jsou složeny z 1-3 párů listů, které jsou sudozpeřené a spirálovitě postavené. Poslední pár a vrcholový nepárový lístek vyrůstají ve větvené úponky. Z paždí listů vyrůstají jednotlivě nebo po dvou květy na různě dlouhém stonku. Květy jsou samosprašné, pětičetné, s bílou až narůžovělou korunou. Plodem je lusk obsahující 4-12 kulatých semen žluté nebo zelené barvy. Hrách je velmi ceněnou zeleninou, zejména pro svůj obsah bílkovin, vitamínů, sacharidů a minerálních látek. Botanicky se hrách dělí na cukrový, dřevňový a k vylupování.

Hrách vyžaduje středně těžké a kypře půdy bohaté na humus a minerální živiny s neutrální půdní reakcí. Je dobrou předplodinou pro jiné plodiny a v osevním postupu jej zařazujeme do druhé nebo třetí trati po okopaninách a obilninách. Vysévá se do hloubky 50-60 mm, do řádků vzdálených 30 cm, od poloviny března do dubna dle odrůdy. Používá se mořené, namáčené osivo. Po vzejtí se porost uvláčí, během vegetace dle potřeby kypří a plečkuje a při posledním plečkování se rostliny mírně přihrnou. Při sklizni se porost poseče, vymlátí a semena se při tom vyloupou a vytřídí. Doba sklizně se liší dle odrůdy (Melichar et al. 1997).

## 4.2 Laboratorní pokus

První část pokusu byla založena v druhé polovině května 2019 (19.5.) v laboratoři na Katedře botaniky a fyziologie rostlin na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů v areálu ČZU. Hlavním cílem laboratorního pokusu bylo testování fytotoxicity omeprazolu u zvolené koncentrační řady v porovnání s kontrolou (destilovaná voda) a pozitivní kontrolou (peroxid vodíku).

K pokusu byla zvolena tato koncentrační řada omeprazolu:

- 0,001 mM
- 0,01 mM
- 0,1 mM
- 0,5 mM
- 1 mM

Den před primingem byla semena hrachu podobu deseti minut dezinfikována pomocí 5% roztoku chlornanu sodného, poté byla propláchnuta pomocí destilované vody. Následující den byl proveden priming, semena byla na 12 hodin ponořena do zvolených koncentrací roztoku omeprazolu. Pěstování semen probíhalo v Petriho miskách (PM) o průměru 12 cm. Pro každou variantu bylo připraveno pět PM. Do každé PM byl vložen jeden filtrační papír, který se zalil 5 ml destilované vody (Obrázek 9). Do každé z takto připravených PM bylo odpočítáno vždy 20 semen hrachu konkrétní varianty (tj. celkem 100 semen od každé varianty) (Obrázek 10). PM byly přikryty horní částí a popsány dle varianty. Poté byly umístěny do inkubátoru s chlazením (Peltier) nastaveného na 25 °C. Během zakládání pokusu byly dodrženy všechny hygienické postupy.



Obrázek 9: Příprava Petriho misek (foto autor)



Obrázek 10: Vkládání semen hrachu do Petriho misek (foto autor)

Další den bylo provedeno první měření délky kořene u všech semen. Měření bylo prováděno plastovým pravítkem s maximální měřitelnou délkou 30 cm a nejmenším dílkem 0,1 cm. Získané hodnoty byly zaznamenány do tabulky a později zpracovány. Po měření se PM zalily 5 ml destilované vody. Tento postup se opakoval následující tři dny, kdy k měření kořenů přibylo i měření stonků (Obrázek 11). Pokus trval celkem pět dní, prvním dnem bylo založení pokusu. Poslední den po změření délky kořenů a stonků byly tyto části odříznuty skalpelem od semene a zváženy na laboratorní váze (Obrázek 12). Naváženými hodnotami byla stanovena čerstvá hmotnost (FW) kořenů i stonků. Oddělené kořeny a stonky byly vloženy do papírových sáčků a umístěny do sušárny, kde se sušily při teplotě 60 °C. Po usušení byla vážením na laboratorní váze stanovena hmotnost sušiny (DW) kořenů i stonků (Obrázek 13). Na základě výsledků byla pro další část pokusu zvolena koncentrace 1 mM omeprazolu.



Obrázek 11: Měření délky kořene pomocí pravítka (foto autor)



Obrázek 12: Odřezávání kořenů a stonků, poslední den laboratorního pokusu (foto autor)



Obrázek 13: Vážení sušiny pomocí laboratorní váhy (foto autor)

### 4.3 Skleníkový pokus

Ošetřená semena hrachu byla vyseta do nádob a vystavena zasolení. V opakovaných odběrech byl sledován růst kořenů a stonků (FW a DW) (Tabulka 1).

Zvolené kombinace variant byly označeny dle barev uvedených v tabulce pro lepší přehlednost při zálivce a odběrech (Tabulka 2). Každá nádoba byla označena dvojicí barev, jedna barva označovala způsob ošetření před vysetím (voda, omeprazol, peroxid vodíku) a druhá zálivku během pokusu (voda, NaCl) (Obrázek 14).

Tabulka 1: Přehled průběhu pokusu

Průběh pokusu		
Úkon	Datum	Den pokusu
priming semen	9.10.	-1.
založení pokusu	10.10.	0.
1.odběr	21.10.	11.
2.odběr	25.10.	15.
3.odběr	30.10.	20.
4.odběr	4.11.	25.

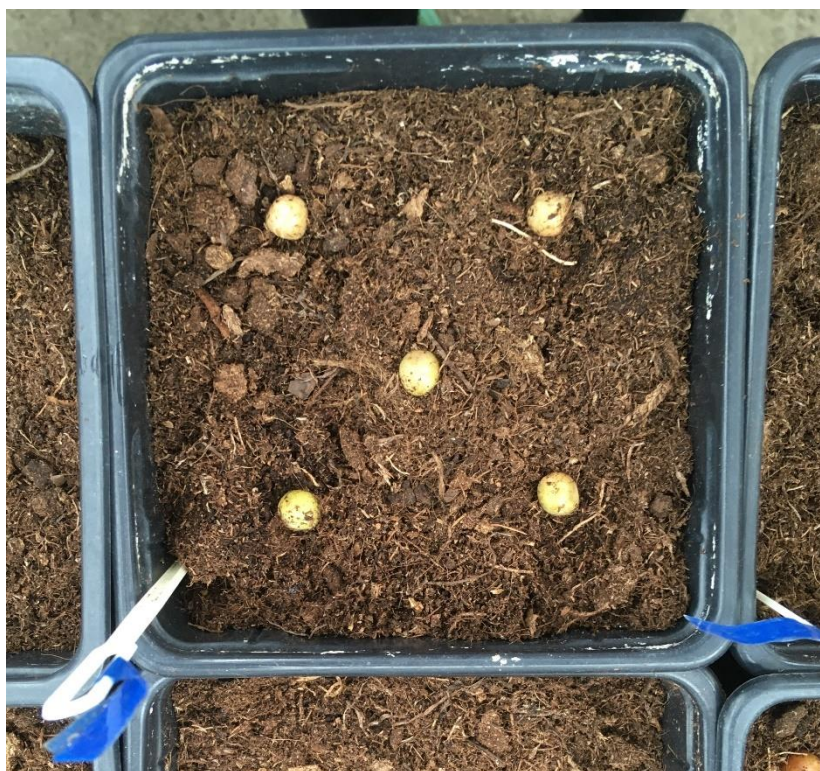
Tabulka 2: Kombinace zvolených variant

Ošetření	Zálivka
A voda-kontrola	A2 NaCl
	A3 voda
B omeprazol	B2 NaCl
	B3 voda
C peroxid vodíku	C2 NaCl
	C3 voda



Obrázek 14: Barevné označení v nádobách (červená: peroxid vodíku, bílá: voda) (foto autor)

Den před samotným výsevem byla semena vydezinfikována pomocí 5% roztoku chlornanu sodného a poté propláchnuta pomocí destilované vody. Primingu byla semena vystavena po dobu 20 hodin, pomocí zvolených roztoků uvedených v Tabulce 2. Samotný výsev byl proveden následující den po primingu. Celkem bylo připraveno 225 nádob naplněných čistou zeminou. Celkový počet nádob byl rozdělen po 75 kusech do každé ze tří variant (voda-kontrola, omeprazol, peroxid vodíku-pozitivní kontrola). Do každé nádoby bylo vyseto pět semen hrachu shodné varianty (Obrázek 15) a pro lepší vzcházení byla provedena zálivka vodou.



Obrázek 15: Vysetá semena hrachu (modrá: omeprazol) (foto autor)

První odběr byl uskutečněn po 11 dnech od zasetí semen (Obrázek 16). Odebráno bylo pět květináčů od každé dvojice barev, celkem tedy pro tento pokus 30 květináčů za jeden odběr. Každé rostlině bylo nutné důkladně omýt kořeny vodou, aby byly zbaveny zbytků substrátu (Obrázek 17). Po celou dobu pokusu byl kladen důraz na správné rozřazení a nezaměnění variant. Zbylé rostliny ve skleníku se zalily. Nestresované varianty se zalily 100 ml destilované vody a stresované varianty 100 ml 150 mM NaCl. Pro získání objektivních hodnot čerstvé hmoty (FW) a sušiny (DW) se zkoumané rostliny odebraly ze tří nádob po třech kusech. Kořeny a stonky byly odděleny od semen, zváženy a vloženy do papírových sáčků označených variantou (Obrázek 18). Sáčky byly přemístěny do sušárny, kde se části rostlin sušily při 60 °C. Tento postup se opakoval při každém odběru (Tabulka 1) (Obrázek 19).



Obrázek 16: Rostliny hrachu před prvním odběrem (foto autor)



Obrázek 17: Očištěné rostliny hrachu 20.den pokusu varianta omeprazol (v levo: pod vlivem NaCl, v pravo: zálivka vodou) (foto autor)



Obrázek 18: Vážení stonku v čerstvém stavu (foto autor)



Obrázek 19: Rostliny hrachu 25. den pokusu, varianty vystavené NaCl (foto autor)

#### 4.4 Statistické vyhodnocení a zpracování dat

Veškeré získané hodnoty byly zaznamenány pomocí MS Excel, zpracovány ve statistickém programu Statistika 12.0 Cz za využití LSD testů a ANOVY (dvoufaktorové analýzy rozptylu) a následně vyhodnoceny podle vzniklých grafů. Statistická významnost rozdílů mezi testovanými variantami byla hodnocena pomocí LSD testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .



## 5 Výsledky

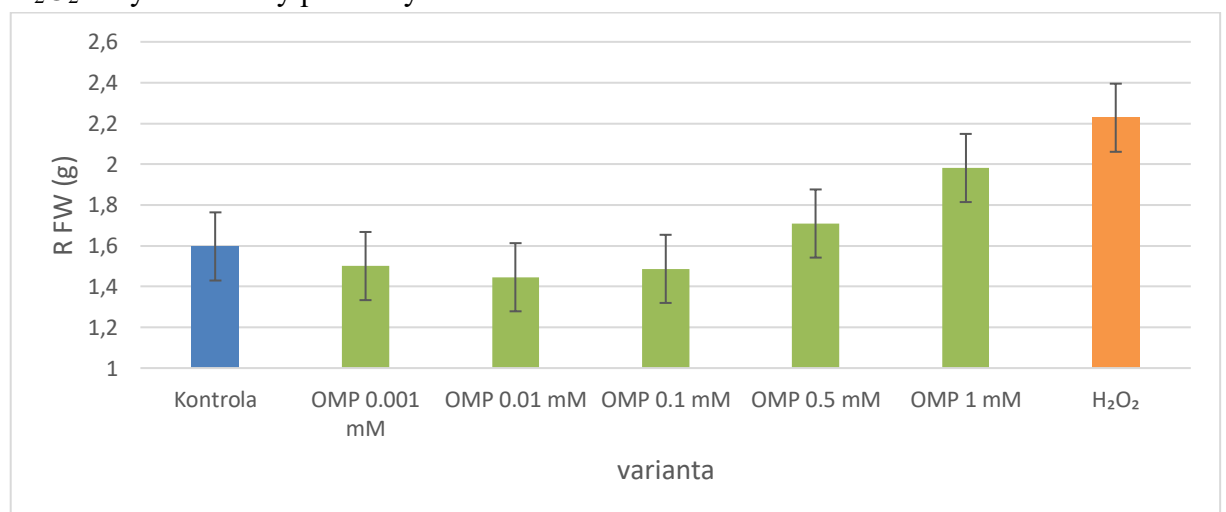
### 5.1 Laboratorní pokus

#### 5.1.1 Vliv primingu omeprazolem na klíčení a růst hrachu

Následující sloupcové grafy znázorňují průměrný růst kořene (R) a stonku (S) hrachu setého (*Pisum sativum* L.) v čerstvé hmotnosti (FW) a sušině (SW) během jednoho týdne. První sloupec znázorňuje kontrolní variantu s neošetřenými semeny. Další variantou je omeprazol (OMP) použitý při primingu semen v odstupňovaných koncentracích v mM (0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1) a poslední variantou je peroxid vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) použitý také při primingu semen, který slouží jako pozitivní kontrola.

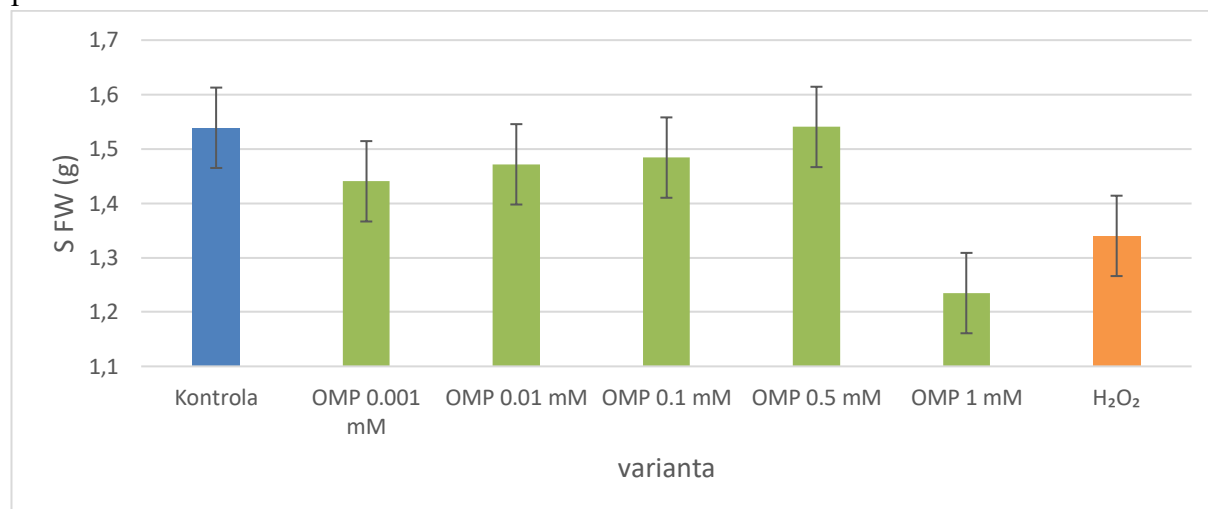
##### 5.1.1.1 Čerstvá hmotnost kořene a stonku (FW)

V Graf 1 jsou uvedeny hmotnosti kořene v čerstvém stavu u použitých variant. Hmotnost kontrolní varianty (1,597 g) byla statisticky průkazně nižší než hmotnost kořene u H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s 2,228 g. U varianty s použitím OMP v koncentraci od 0,001 mM do 0,5 mM nebyly statisticky průkazné rozdíly. Mezi variantou OMP v koncentraci 1 mM s hmotností 1,981 g a varianta H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nebyl statisticky průkazný rozdíl.



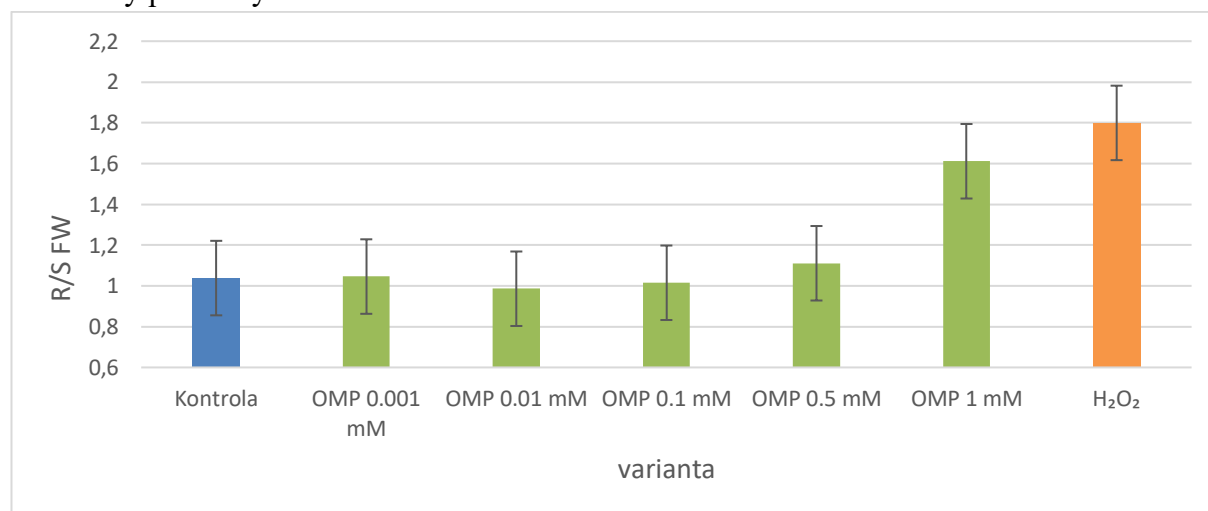
Graf 1: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))

Na Graf 2 je zobrazena čerstvá hmotnost stonku. Nejvyšší hmotnost stonku byla zaznamenána u varianty s použitím OMP v koncentraci 0,5 mM (1,540 g) a u kontrolní varianty s 1,539 g. Tyto rozdíly nejsou statisticky průkazné ani v porovnání s ostatními variantami, kromě varianty OMP v koncentraci 1 mM (1,235 g), která byla statisticky průkazně nižší při porovnání s kontrolní variantou.



Graf 2: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))

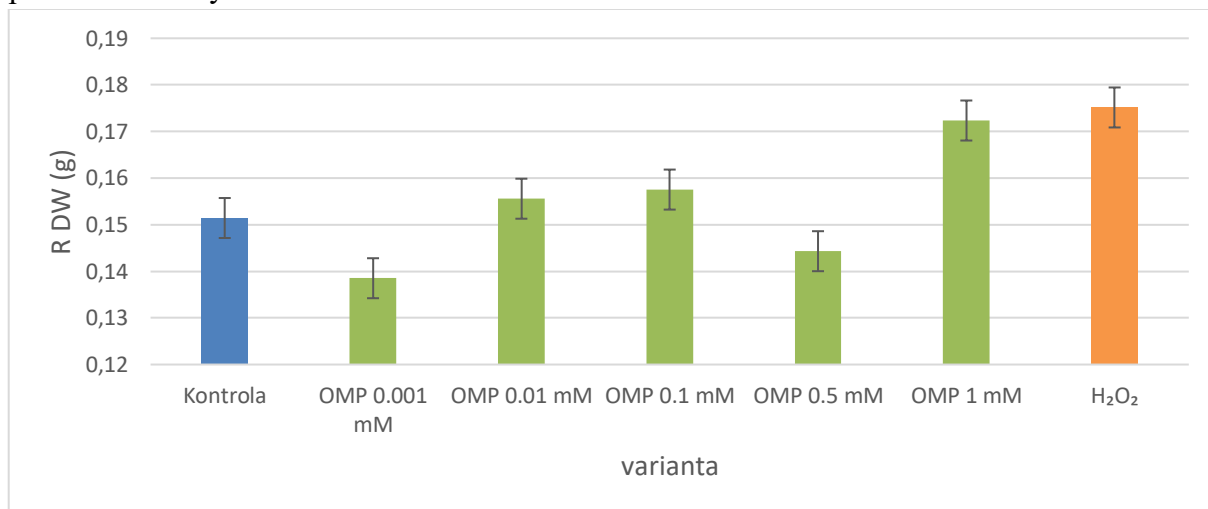
Poměry průměrné čerstvé hmotnosti kořene a stonku znázorňuje Graf 3. Nejvyšší R/S byl naměřen u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1,799) a u varianty OMP s koncentrací 1 mM (1,611), mezi variantami není statisticky průkazný rozdíl, ale při porovnání s kontrolní variantou (1,038) statisticky průkazný rozdíl existoval. U ostatních variant s použitím OMP nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl.



Graf 3: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti kořene a stonku (R/S) u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))

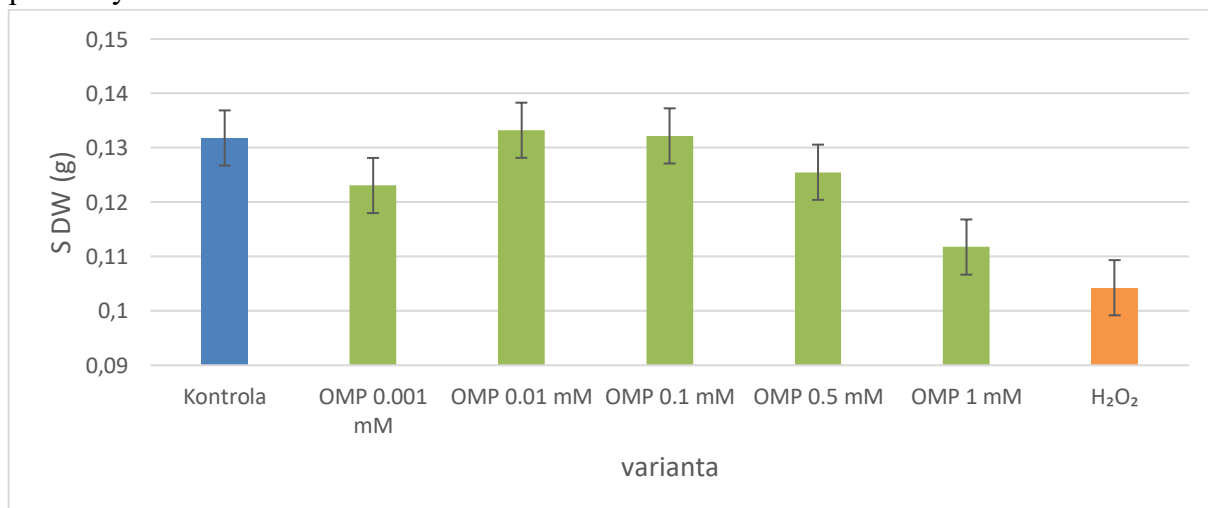
### 5.1.1.2 Hmotnost sušiny kořene a stonku (DW)

V Graf 4 je průměrná hmotnost sušiny kořene. Nejvyšší hmotnosti byly zaznamenány u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,175 g) a u OMP s koncentrací 1 mM (0,172 g), při porovnání s ostatními variantami jsou tyto hodnoty statisticky průkazně vyšší. Kontrolní varianta vážila 0,151 g, v porovnání s variantami OMP v koncentraci 0,01 a 0,1 nebyly zaznamenány statisticky průkazné rozdíly.



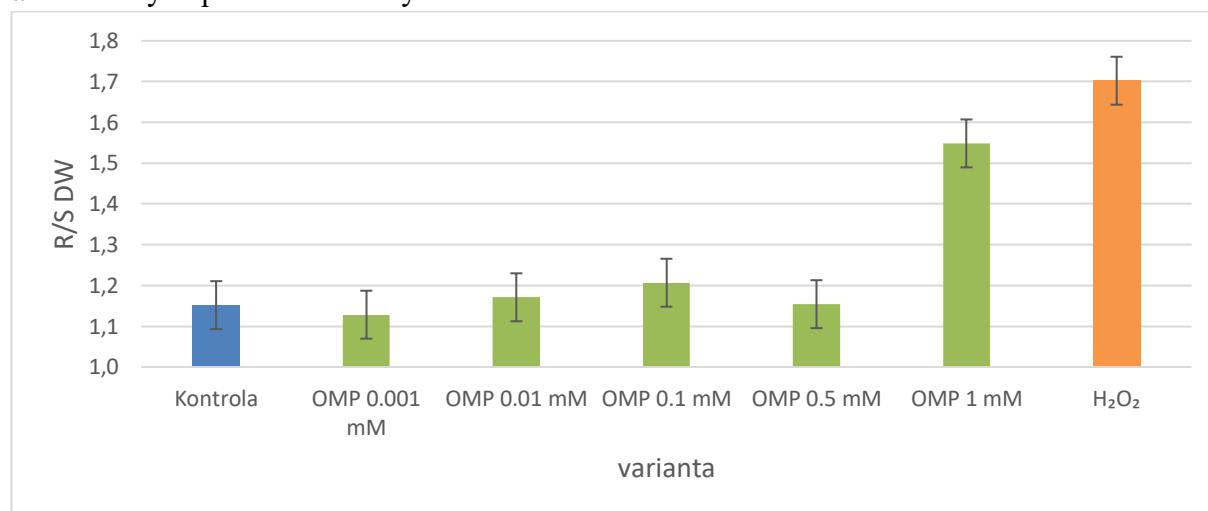
Graf 4: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))

Průměrnou hmotnost sušiny stonku zobrazuje Graf 5. Varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,104 g) a OMP 1 mM (0,112 g) měly statisticky průkazně nižší hmotnosti v porovnání s kontrolní variantou (0,132 g). Při porovnání kontrolní varianty s ostatními variantami nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl.



Graf 5: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))

Poměry průměrné hmotnosti kořene a stonku v sušené hmotě zobrazuje Graf 6. Varianty  $H_2O_2$  (1,702) a OMP v koncentraci 1 mM (1,548) vykazovaly statisticky průkazně vyšší R/S v porovnání s kontrolní variantou (1,152). Zbylé varianty vykazovaly velmi nízké R/S a statisticky neprůkazné rozdíly mezi sebou.

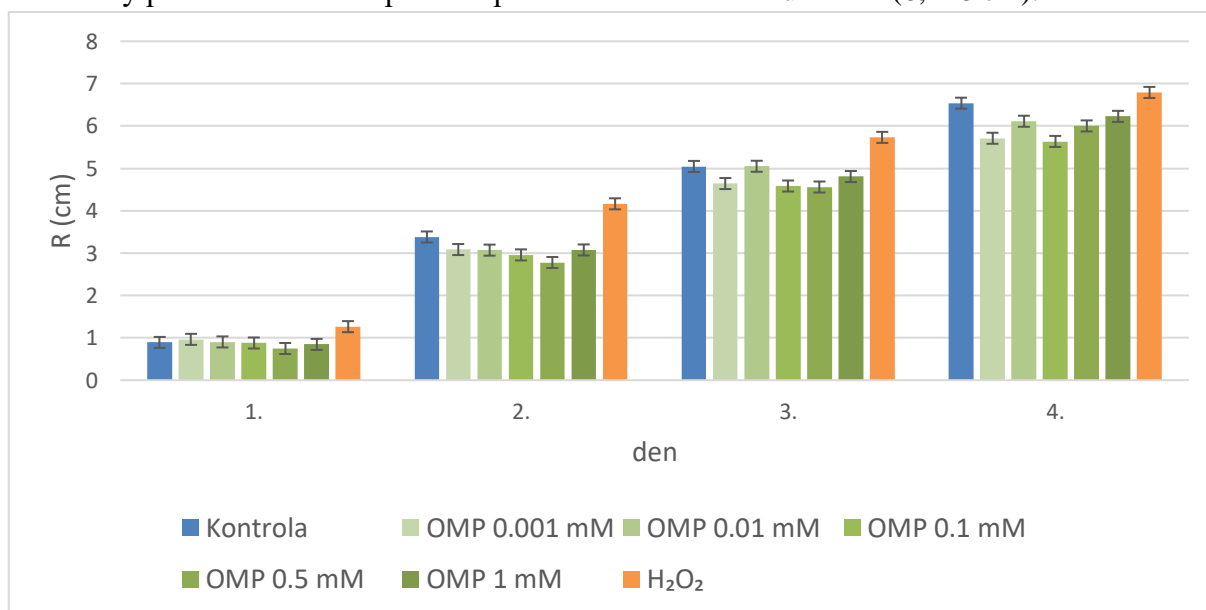


Graf 6: Poměry průměrné hmotnosti sušiny kořene a stonku (R/S) u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ))

### 5.1.1.3 Délka kořene a stonku

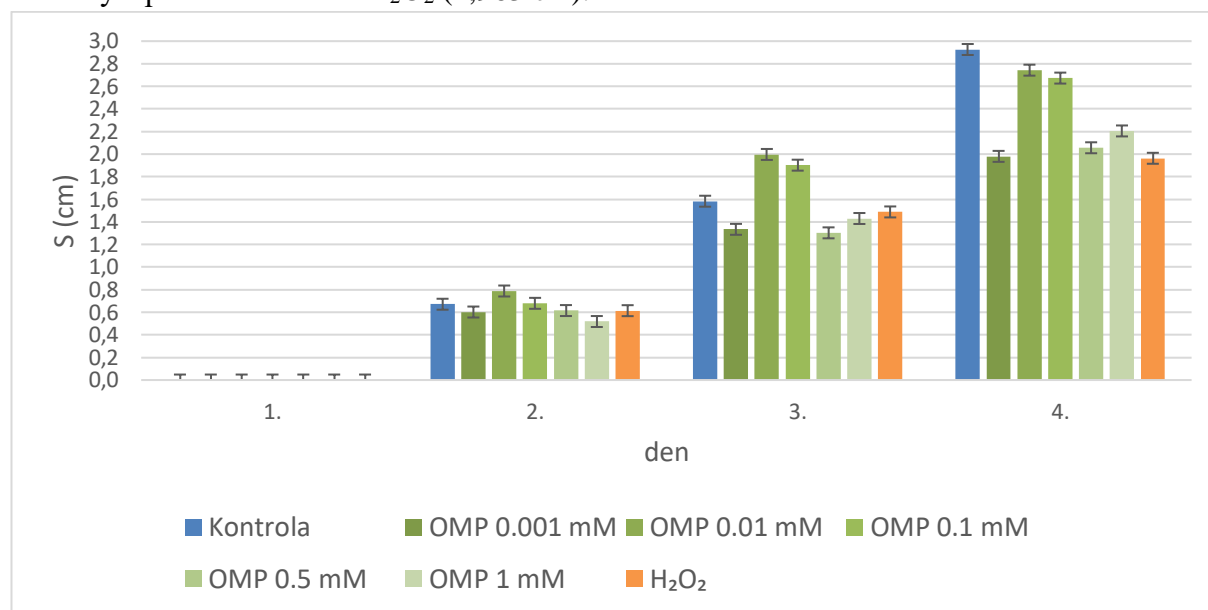
Následující dva grafy zobrazují průměrnou délku kořene a stonku měřenou v průběhu čtyř dnů. Jednotlivé sloupce znázorňují použité varianty, které jsou shodné s předcházejícími grafy.

Graf 7 znázorňuje průměrné délky kořene měřené v průběhu čtyř dnů u jednotlivých variant. Při celkovém pohledu na průběh růstu je zřejmé, že kořeny u každé z variant během pokusu přirůstaly. První den nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl růstu mezi variantami H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a OMP v koncentraci 0,001 a 0,01 mM, ale u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1,264 cm) byl zaznamenán statisticky prokazatelně vyšší růst než u čtyř zbývajících variant. Druhý den byly statisticky průkazně nejdelší kořeny u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (4,163 cm). Kontrolní varianta dosáhla délky 3,381 cm, statisticky průkazně nižší růst oproti kontrolní variantě byl u variant OMP v koncentraci 0,1 a 0,5 mM. Třetí den byly opět u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> statisticky průkazně nejdelší kořeny (5,732 cm) v porovnání se všemi ostatními variantami. Kontrolní varianta (5,046 cm) společně s variantou OMP v koncentraci 0,01 mM a 1mM neměly mezi sebou statisticky průkazné rozdíly. Poslední, čtvrtý, den nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi variantou H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (6,739 cm) a kontrolní variantou (6,539 cm), při porovnání H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se zbylými variantami statisticky průkazný rozdíl existoval. Délka kořene u kontrolní varianty nebyla statisticky průkazně rozdílná pouze v porovnání s variantou 1 mM (6,228 cm).



Graf 7: Průměrné délky kořene měřené v průběhu čtyř dnů u použitých variant. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))

Průměrné délky stonku měřené v průběhu čtyř dnů u jednotlivých variant jsou zobrazeny na Graf 8. První den stonky nerostly, druhý den byly rozdíly v délce stonku mezi jednotlivými variantami minimální. Nejdelší stonky byly naměřeny u varianty OMP s koncentrací 0,01 mM s průměrnou délkou 0,788 cm, u kterých neexistoval statisticky průkazný rozdíl v porovnání s variantou OMP 0,1 mM a kontrolní variantou. Třetí den byly stále nejdelší stonky u varianty OMP s koncentrací 0,01 mM s délkou 1,997 cm, dále s koncentrací 0,1 mM (1,902 cm), tyto dvě varianty byly statisticky průkazně vyšší v porovnání se zbylými variantami. Stonky kontrolní varianty měřily 1,583 cm. Čtvrtý den byly statisticky průkazně nejdelší stonky u varianty kontrola (2,926 cm), v porovnání se všemi ostatními variantami. Varianty 0,01 mM a 0,1 mM s délkami stonků 2,743 cm a 2,673 cm byly statisticky průkazně delší než zbylé varianty s použitím OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1,963 cm).



Graf 8: Průměrné délky stonku měřené v průběhu čtyř dní u použitých variant. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>))

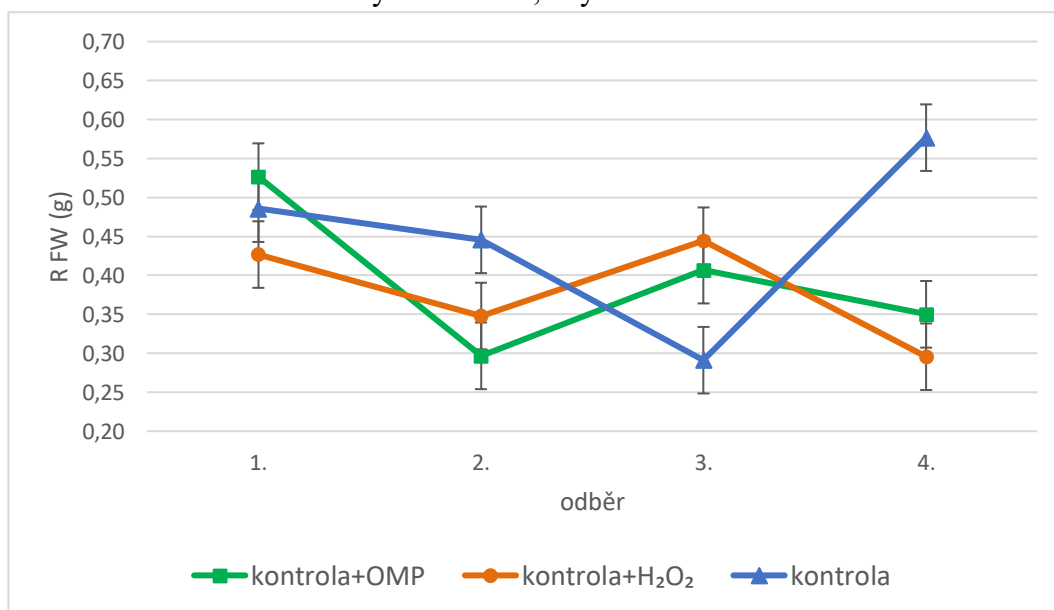
## 5.2 Skleníkový pokus

### 5.2.1 Vliv aplikace omeprazolu a peroxidu vodíku na rostliny v podmínkách se závlahou bez solného stresu

#### 5.2.1.1 Čerstvá hmotnost kořene a stonku (FW)

V Graf 9 je zobrazena průměrná čerstvá hmotnost kořene v průběhu pokusu v podmínkách se závlahou bez zasolení. Při prvním odběru nebyl mezi sledovanými variantami statisticky průkazný rozdíl. U druhého odběru byl statisticky průkazný rozdíl hmotnosti kořene zaznamenán pouze mezi variantou OMP s hmotností 0,297 g a variantou kontrola s hmotností 0,446 g. Při třetím odběru byla statisticky průkazně nižší hmotnost kořene u varianty kontrola s hodnotou 0,291 g, oproti variantě s použitím H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,444 g). U čtvrtého odběru, došlo ke změně, kontrolní varianta vykazovala statisticky průkazně vyšší hmotnost (0,577 g) oproti variantě OMP (0,350 g) a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,295 g).

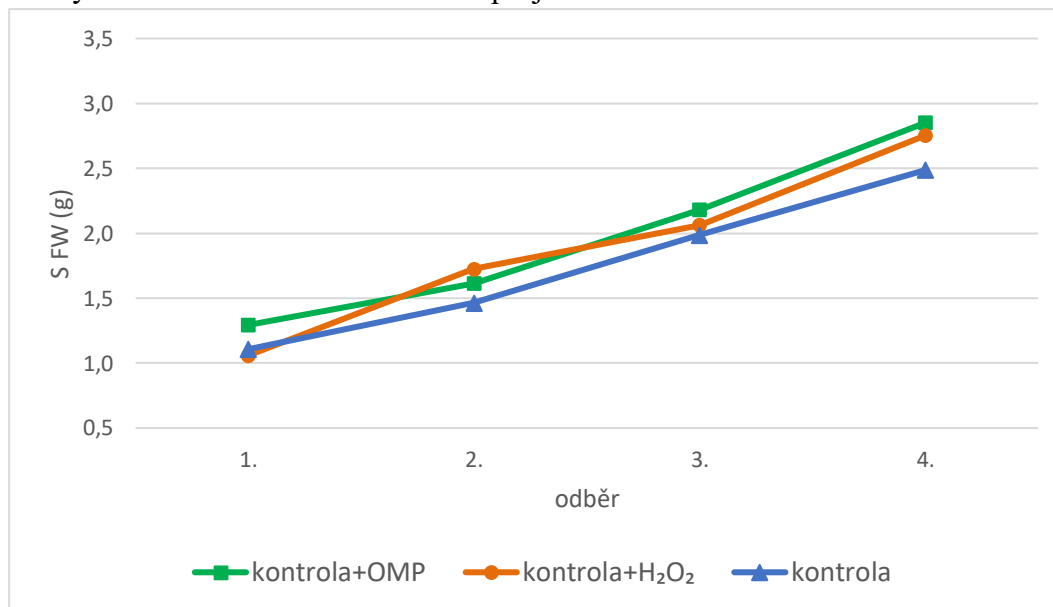
U kontrolní varianty nebyl mezi prvním a druhým odběrem statisticky průkazný rozdíl. Statisticky prokazatelně nižší hmotnost byla při třetím odběru, kdy kontrolní varianty klesla o 0,154 g. U čtvrtého odběru hmotnost kořene u kontrolní varianty statisticky průkazně vzrostla o 0,286 g v porovnání s třetím odběrem. Hmotnost varianty OMP se mezi prvním a druhým odběrem statisticky průkazně snížila o 0,23 g. Mezi dalšími odběry u varianty OMP již statisticky průkazný rozdíl nenastal. U varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> byl statisticky průkazný rozdíl zaznamenán až mezi třetím a čtvrtým odběrem, kdy se hmotnost kořene snížila.



Graf 9: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou)

Průměrnou čerstvou hmotnost stonku v průběhu pokusu v podmínkách se závlahou bez zasolení zobrazuje Graf 10. V rámci jednotlivých odběrů nebyly mezi variantami statisticky průkazné rozdíly. Při čtvrtém odběru se hmotnost stonku pohybovala od 2,487 g (kontrolní varianta) do 2,851 g (varianta OMP), ale tento rozdíl nebyl statisticky průkazný.

U varianty kontrola nebyl mezi prvním a druhým odběrem statisticky průkazný rozdíl, ten byl zaznamenán až mezi následujícími odběry. U všech sledovaných variant během pokusu se čerstvá hmotnost stonku zvyšovala. Statisticky průkazný nárůst hmotnosti u varianty OMP mezi prvním a čtvrtým odběrem byl o 1,557 g a u kontrolní varianty o 1,379 g. Aplikace OMP u jednotlivých odběru se na růstu stonku neprojevila.

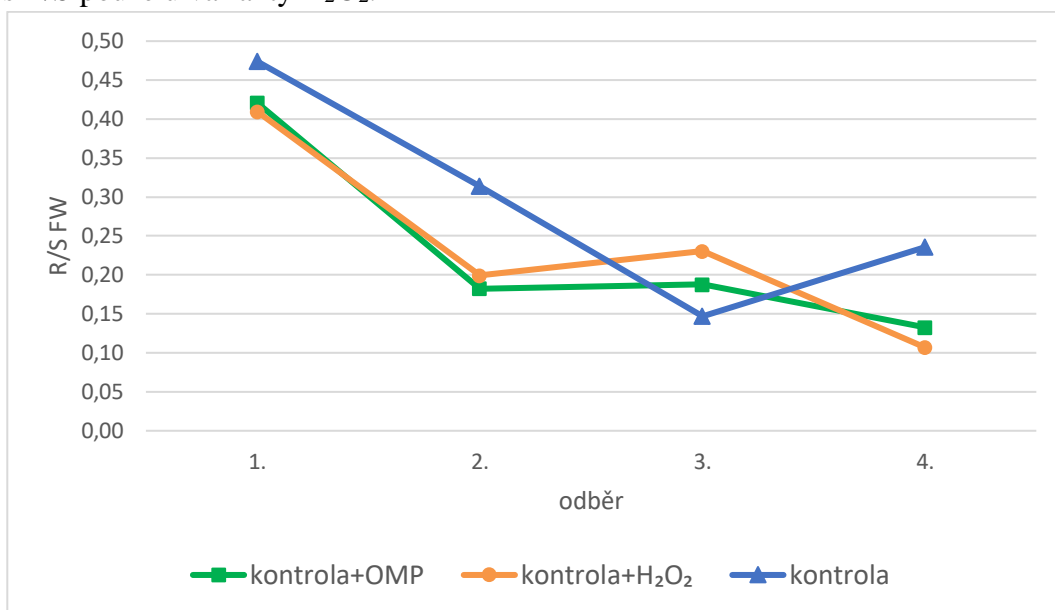


Graf 10: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)



Graf 11 zobrazuje poměry průměrné čerstvé hmotnosti kořene a stonku (R/S) v průběhu pokusu v podmínkách se závlahou bez zasolení. Při prvním a třetím odběru nebyl mezi variantami statisticky průkazný rozdíl. U druhého a čtvrtého odběru byl R/S kontrolní varianty statisticky průkazně vyšší v porovnání se zbylými variantami.

Mezi prvním a druhým odběrem byl statisticky průkazný pokles R/S u všech variant. Mezi druhým a třetím odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný pokles R/S pouze u kontrolní varianty. Mezi třetím a čtvrtým odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný pokles R/S pouze u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

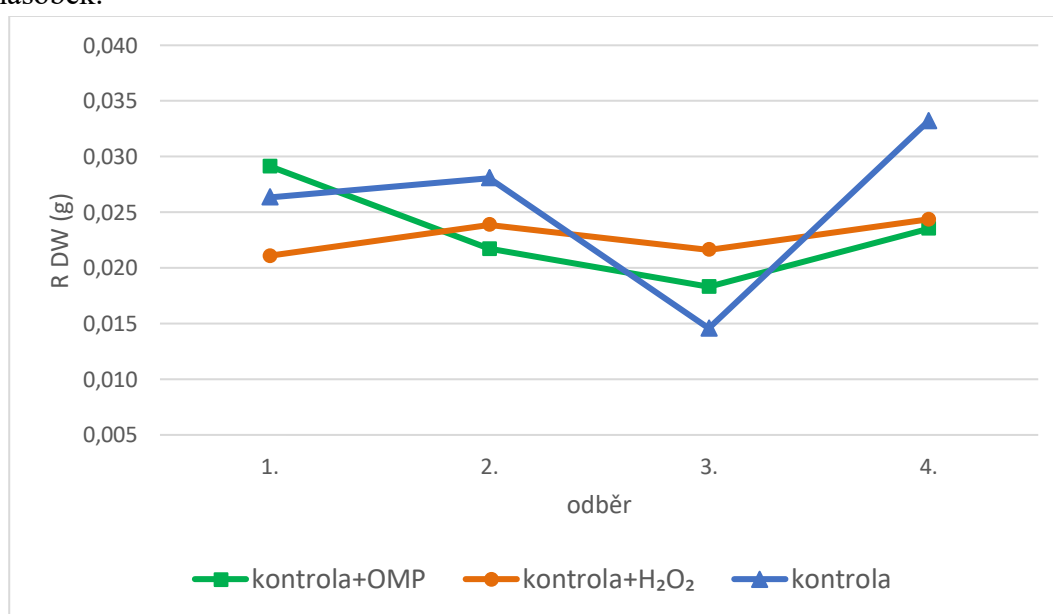


Graf 11: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti (FW) kořene a stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

### 5.2.1.2 Hmotnost sušiny kořene a stonku (DW)

V Graf 12 je zobrazena průměrná hmotnost sušiny kořene v průběhu pokusu v podmínkách se závlahou bez zasolení. Již u prvního odběru byl statisticky průkazný rozdíl mezi variantou OMP, která vážila 0,029 g, a variantou H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, která vážila pouze 0,021 g. U druhého odběru nebyl mezi variantami statisticky průkazný rozdíl. Při třetím odběru byl statisticky průkazný rozdíl pouze mezi kontrolní variantou a variantou H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Při čtvrtém odběru dosáhla kontrolní varianta statisticky prokazatelně vyšší hmotnosti (0,033 g) oproti ostatním variantám.

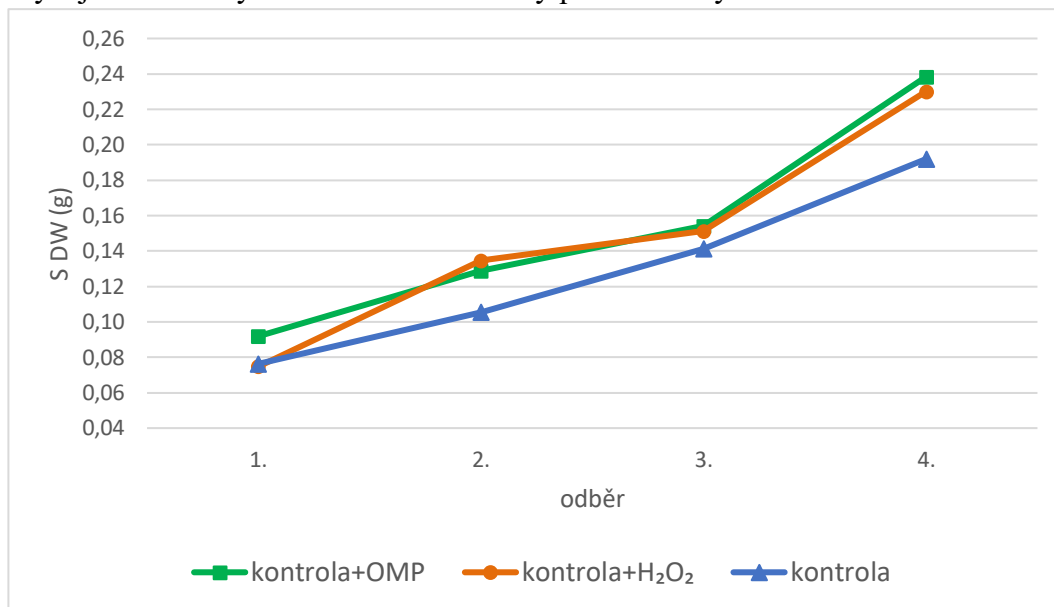
U kontrolní varianty nebyl mezi prvním a druhým odběrem statisticky průkazný rozdíl. Mezi druhým a třetím odběrem došlo k statisticky průkaznému poklesu o 50 %. Mezi třetím a čtvrtým odběrem se hmotnost u kontrolní varianty statisticky průkazně zvýšila na více než dvojnásobek.



Graf 12: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

Průměrná hmotnost sušiny stonku v průběhu pokusu v podmínkách se závlahou bez zasolení je zobrazena v Graf 13. Při prvních třech odběrech nebyly mezi variantami statisticky průkazné rozdíly. Statisticky průkazný rozdíl byl zaznamenán až při čtvrtém odběru, kdy kontrolní varianta vykazovala statisticky průkazně nižší hmotnost (0,192 g) než varianty s použitím H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,230 g) a OMP (0,238 g). U všech sledovaných variant se během pokusu hmotnost sušiny stonku zvyšovala. Mezi variantami OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nebyl v průběhu pokusu zaznamenán statisticky průkazný rozdíl.

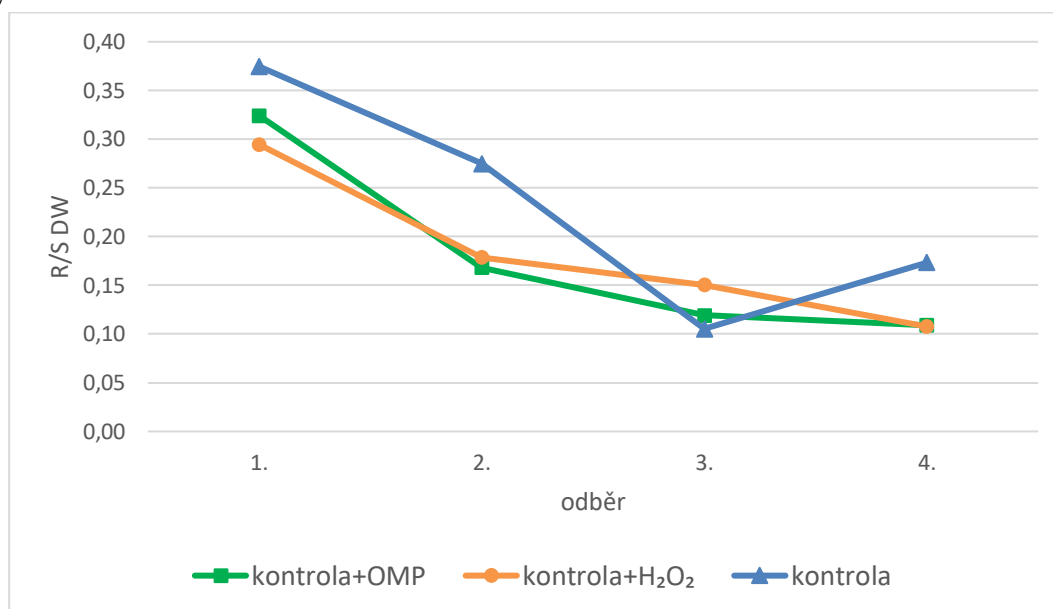
U kontrolní varianty nebyl mezi prvním a druhým odběrem statisticky průkazný rozdíl, mezi zbývajícími odběry se hmotnost statisticky průkazně zvyšovala.



Graf 13: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

Graf 14 zobrazuje poměry průměrné hmotnosti sušiny kořene a stonku (R/S) v průběhu pokusu v podmínkách se závlahou bez zasolení. Při prvním odběru byl R/S u kontrolní varianty statisticky průkazně vyšší než u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. U druhého odběru byl R/S u kontrolní varianty statisticky průkazně vyšší než u zbylých variant. Při třetím a čtvrtém odběru nebyly mezi variantami zaznamenány statisticky průkazné rozdíly.

U kontrolní varianty byl zaznamenán statisticky průkazný pokles R/S mezi prvním, druhým a třetím odběrem.



Graf 14: Poměry průměrné hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíku (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

## 5.2.2 Vliv aplikace omeprazolu a peroxidu vodíku na rostliny v podmínkách solného stresu

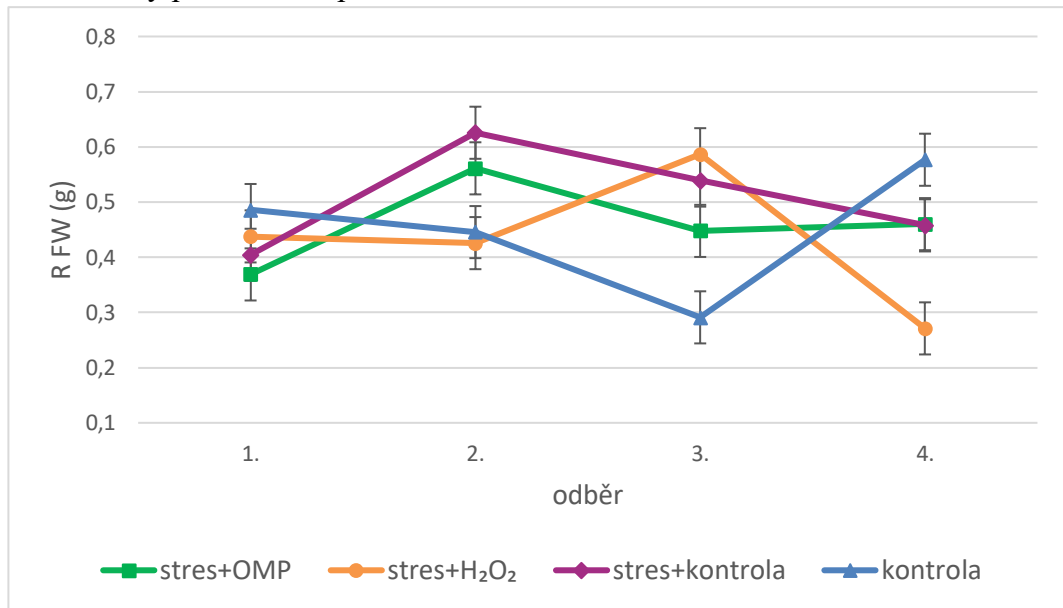
Následující grafy znázorňují růst kořene a stonku hrachu setého v čerstvé hmotnosti a hmotnost sušiny u čtyř variant. Tři varianty byly vystaveny solnému stresu, u dvou z nich byl proveden priming semen pomocí omeprazolu a peroxidem vodíku a třetí byla bez ošetření (stres). Pro porovnání byla zařazena kontrolní varianta bez primingu, která nebyla vystavena solnému stresu, a byla v podmínkách se závlahou. Během pokusu proběhly čtyři odběry, při kterých jsme získali data ke zpracování grafů.

### 5.2.2.1 Čerstvá hmotnost kořene a stonku (FW)

Graf 15 zobrazuje průměrnou čerstvou hmotnost (FW) kořene v průběhu pokusu v podmínkách zasolení s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. Při prvním odběru neexistoval mezi variantami statisticky průkazný rozdíl. U druhého odběru byla statisticky průkazně vyšší hmotnost zaznamenána u stresové varianty (0,626 g) oproti variantě kontrola (0,446 g) a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,426 g). U třetího odběru byl statisticky průkazný rozdíl v hmotnosti kořene u varianty kontrola s hodnotou 0,291 g, která byla oproti všem zbylým variantám

statisticky průkazně nižší. U čtvrtého odběru došlo ke změně, statisticky průkazně nejnižší hmotnost byla 0,271 g u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Mezi třemi zbylými variantami nebyl zaznamenán statisticky průkazná rozdíl.

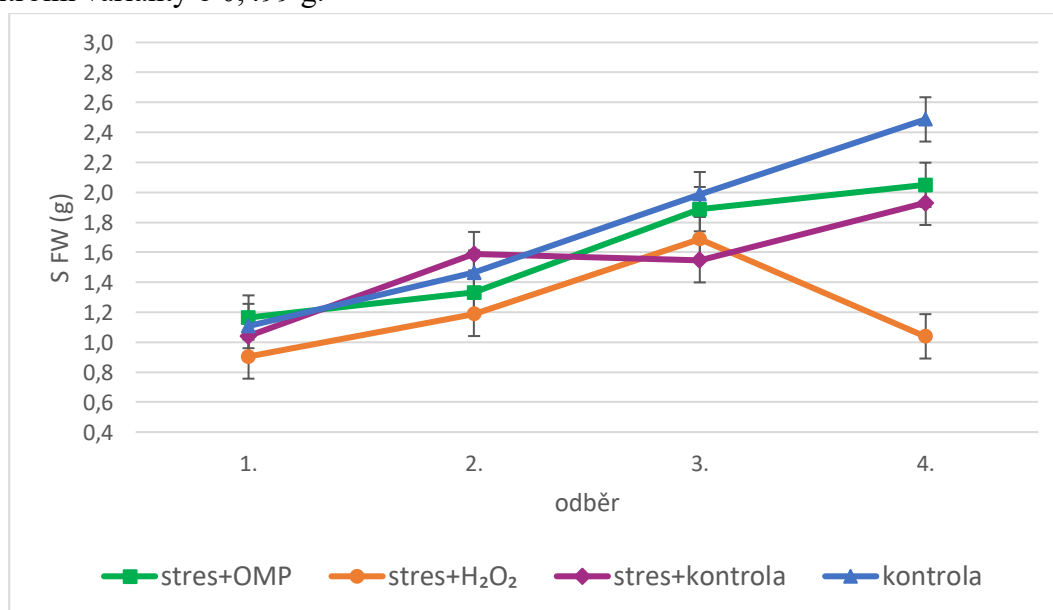
Mezi prvním a druhým odběrem došlo k statisticky průkaznému nárůstu hmotnosti kořene u stresové varianty a varianty s použitím OMP. Mezi druhým a třetím odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl u kontrolní varianty, kdy došlo k poklesu o 0,154 g. U varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> byl zaznamenán statisticky průkazný nárůst o 0,161 g. Mezi třetím a čtvrtým odběrem se růst kořene výrazně změnil, u kontrolní varianty došlo k statisticky průkaznému nárůstu a u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> k statisticky průkaznému poklesu v hmotnosti.



Graf 15: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. (Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu)

Graf 16 zobrazuje průměrnou čerstvou hmotnost (FW) stonku v průběhu pokusu v podmínkách zasolení s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. Při prvním a druhém odběru nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi všemi použitými variantami. U třetího odběru existovat statisticky průkazný rozdíl jen mezi stresovanou variantou a kontrolní variantou. Při čtvrtém odběru byla zaznamenána statisticky průkazně nižší hmotnost u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1,039 g) oproti všem ostatním variantám. Statisticky průkazně nejvyšší hmotnost stonku vykazovala kontrolní varianta s 2,487 g.

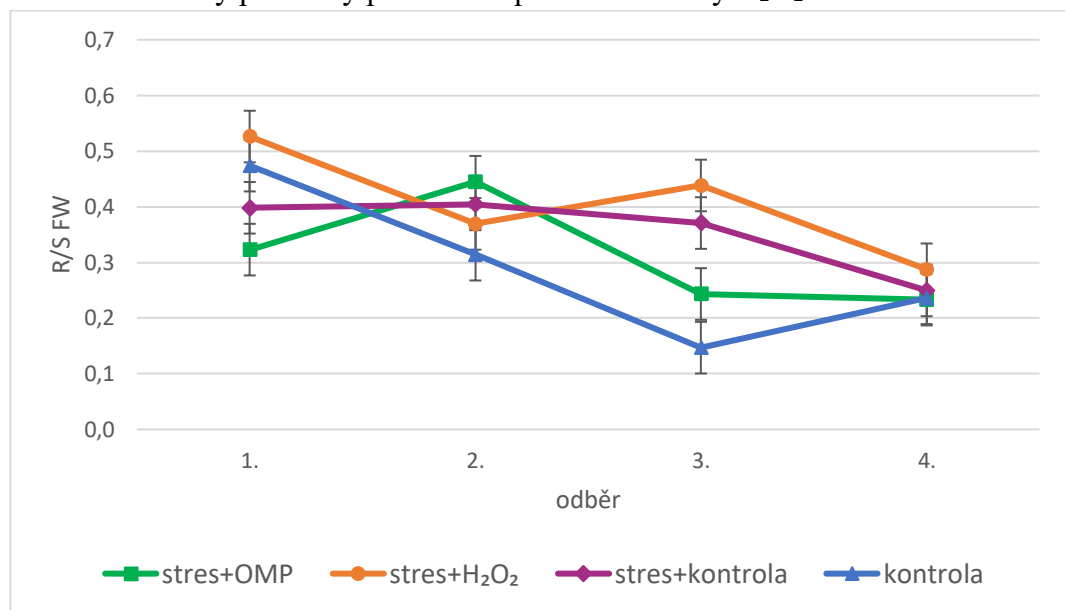
Mezi prvním a druhým odběrem byl statisticky prokazatelný rozdíl v růst stonku pouze u stresované varianty. Mezi druhým a třetím odběrem byl zaznamenán statisticky prokazatelný růst u všech variant s výjimkou stresované varianty. Mezi třetím a čtvrtým odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný pokles u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o 0,649 g a statisticky průkazný růst u kontrolní varianty o 0,499 g.



Graf 16: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu)

Graf 17 zobrazuje poměry průměrné čerstvé hmotnosti kořene a stonku (R/S) v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. Při prvním odběru byl R/S u varianty s OMP statisticky průkazně nižší než u kontrolní varianty a varianty s H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. U druhého odběru byl statisticky průkazný rozdíl v R/S pouze mezi kontrolní variantou a variantou OMP, která měla statisticky průkazně vyšší R/S. Při třetím odběru byl R/S statisticky průkazně vyšší u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,438) než u varianty OMP (0,243) a kontrolní varianty (0,147). U kontrolní varianty byl R/S statisticky prokazatelně nižší než u stresované varianty a varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Při čtvrtém odběru nebyl mezi variantami statisticky průkazný rozdíl.

Mezi prvním a druhým odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný pokles R/S u kontrolní varianty a varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Mezi druhým a třetím odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný pokles R/S u kontrolní varianty a varianty OMP. Mezi třetím a čtvrtým odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný pokles R/S pouze u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

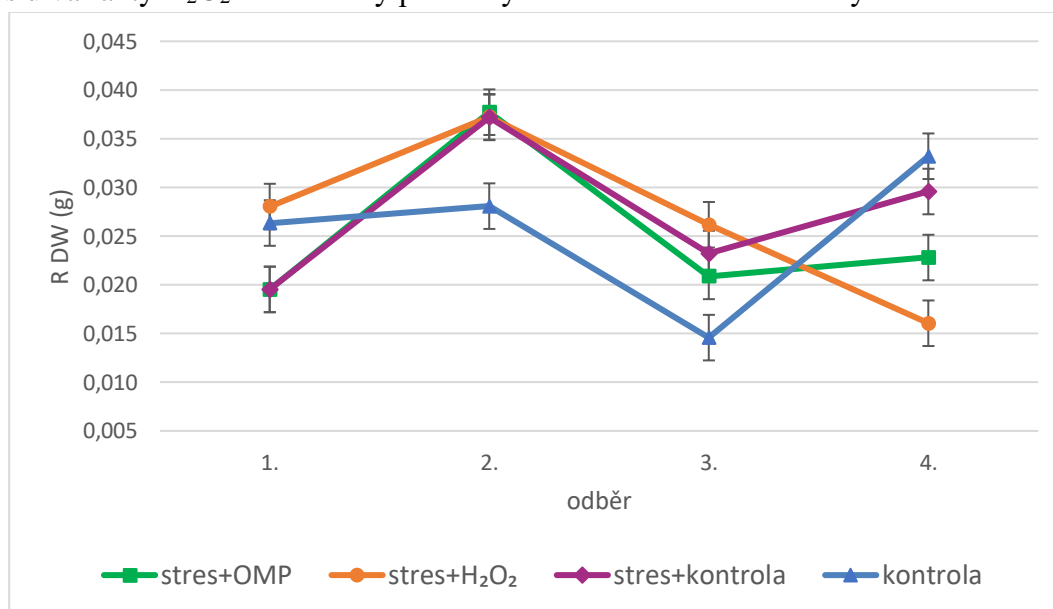


Graf 17: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti (FW) kořene a stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku ((stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu*)

### 5.2.2.2 Hmotnost sušiny kořene a stonku (DW)

Z Graf 18 lze vyčíst průměrnou hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu pokusu v podmínkách zasolení s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. U prvního odběru neexistoval statisticky průkazný rozdíl mezi variantami OMP a stresovanou variantou a dále mezi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrolní variantou. Při druhém odběru byla hmotnost kořene u kontrolní varianty (0,028 g) statisticky průkazně nižší v porovnání se zbylými variantami. Při třetím odběru měla kontrolní varianta opět nižší hmotnost (0,015 g) než ostatní varianty s výjimkou varianty OMP, u které nebyl rozdíl statisticky průkazný. U čtvrtého odběru nebyl statisticky průkazný rozdíl pouze mezi stresovanou a kontrolní variantou, při porovnání se zbylými variantami byla hmotnost u variant OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> statisticky prokazatelně nižší.

Mezi prvním a druhým odběrem došlo k statisticky průkaznému nárůstu kořene u všech variant s výjimkou kontrolní varianty. Nejvyšší nárůst byl u varianty OMP, kdy se hmotnost kořene zvýšila o 0,018 g. Mezi druhým a třetím odběrem existoval statisticky průkazný pokles v hmotnosti kořene u všech variant. Při čtvrtém odběru byl zaznamenán statisticky průkazný pokles u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a statisticky průkazný nárůst u kontrolní varianty.

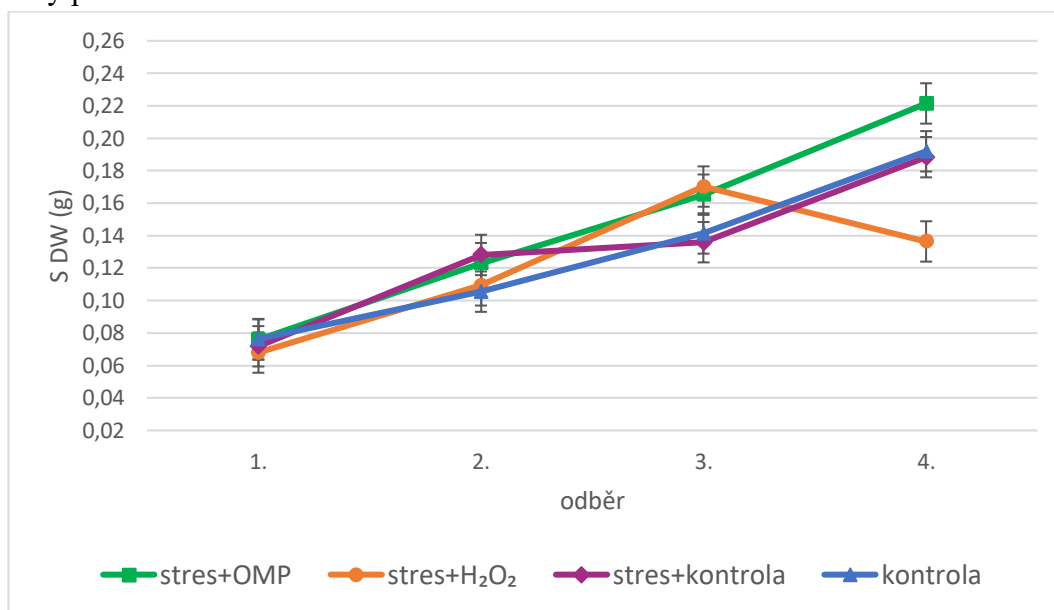


Graf 18: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu)



Na Graf 19 lze vidět průměrnou hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu pokusu v podmínkách zasolení s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. U prvních třech odběrů nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi jednotlivými variantami. Hmotnost stonků v rámci prvních třech odběrů vzrůstala u všech variant. Při čtvrtém odběru byla u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> statisticky prokazatelně nižší hmotnost (0,136 g) oproti zbylým variantám.

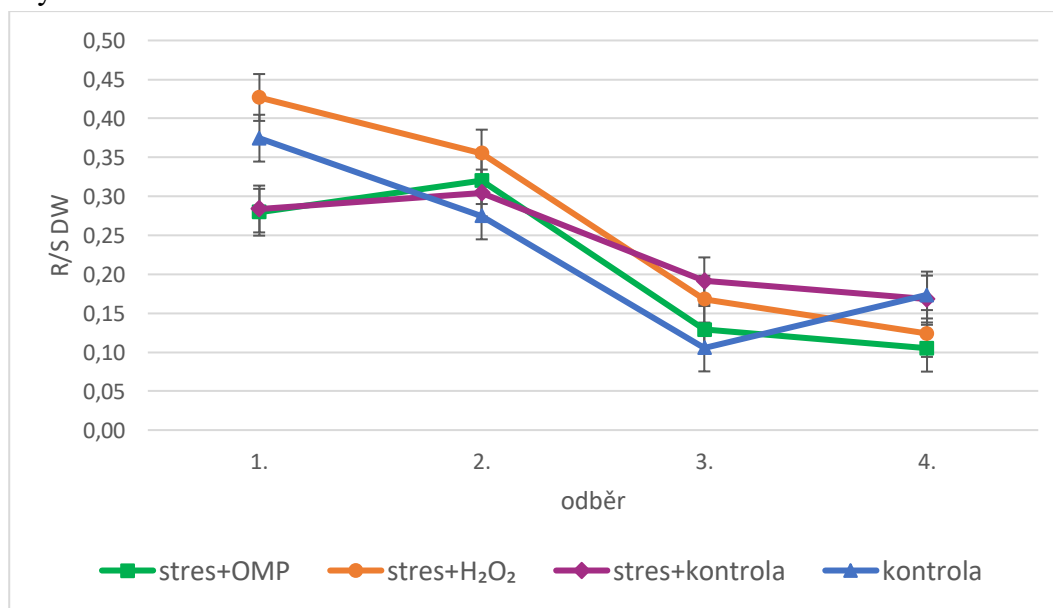
Mezi prvním a druhým odběrem se hmotnost sušiny statisticky průkazně nezvýšila pouze u kontrolní varianty. Mezi druhým a třetím odběrem byl zaznamenán statisticky průkazný nárůst u všech variant s výjimkou stresové varianty. Mezi třetím a čtvrtým odběrem došlo k statisticky průkaznému nárůstu u všech variant s výjimkou varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, jejíž hodnota se statisticky průkazně nezměnila.



Graf 19: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres+kontrola) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu)

Graf 20 zobrazuje poměry průměrné hmotnosti sušiny kořene a stonku (R/S) v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. U prvního odběru nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl R/S mezi variantou OMP a stresovanou variantou a dále mezi kontrolní variantou a variantou H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Při druhém odběru nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl v R/S mezi jednotlivými variantami. U třetího odběru byl R/S u kontrolní varianty (0,105) statisticky průkazně nižší než u stresované varianty (0,192). Při čtvrtém odběru nebyl mezi všemi sledovanými variantami statisticky průkazný rozdíl.

Mezi prvním a druhým odběrem byl zaznamenán statisticky významný pokles R/S pouze u kontrolní varianty. Mezi druhým a třetím odběrem došlo k statisticky významnému poklesu u všech sledovaných variant. Mezi třetím a čtvrtým odběrem nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl v R/S u žádné z variant.



Graf 20: Poměry průměrné hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxid peroxidu vodíku (stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu)

## 6 Diskuze

Solný stres je jedním z nejzávažnějších abiotických stresových faktorů omezujících produktivitu plodin (Munns 2002). Odhaduje se, že 20 % veškeré obdělávané půdy a téměř polovina zavlažované půdy je zasažena solí, což výrazně snižuje výnos plodin pod jejich genetický potenciál (Bottela et al. 2005). Majeed a Muhammad (2019) uvádějí, že nejzávažnější faktory přispívající k slanosti půdy jsou kromě přírodních zdrojů solí nadměrné zavlažování, změna klimatu a intenzifikace zemědělství. Salinita půdy se stává akutnějším problémem, a to především kvůli klesající kvalitě zavlažovací vody. V důsledku toho představují nové strategie pro zvýšení stability výnosu plodin na slaných půdách hlavní výzkumnou prioritu (Bottela et al. 2005). Hlavními výzkumnými tématy jsou identifikace a výběr druhů rostlin tolerantních vůči suchu a salinitě, studium jejich potenciálu v oblasti výživy lidí nebo zvířat a zhodnocení možného využívání vod (Koyro et al. 2008).

Solný stres ovlivňuje fyziologii rostlin osmotickým a iontovým stresem jak na úrovni buněk, tak i celé rostliny (Munns 2002). Snižuje růst a výnos plodin nízkým osmotickým potenciálem, změnami různých metabolických aktivit rostlin, inhibicí enzymatických aktivit, iontovou nerovnováhou, poruchami akumulace solutů, specifickými iontovými účinky nebo kombinací všech těchto faktorů ovlivňujících vodní vztahy v rostlině (Munns et al. 2006). Tato směs komplexních interakcí následně ovlivňuje příjem živin rostlin, jejich metabolismus a náchylnost k biotickým stresům. Tyto negativní interakce mohou snížit účinnost využití živin, a tím snížit růstové parametry rostlin (Kordrostami & Rabiei 2019).

Obecně  $\text{Na}^+$  začíná inhibovat většinu enzymů v koncentraci nad 100 mM. Koncentrace, při které se  $\text{Cl}^-$  stává toxickou, je ještě hůře definovaná, ale je pravděpodobně ve stejném rozmezí jako koncentrace pro  $\text{Na}^+$  (Munns 2002). V návaznosti na toto tvrzení uvádí Koyro et al. (2008), že vysoké koncentrace sodíku v půdě jsou toxické pro většinu druhů rostlin. Rostliny reagují na nadměrnou koncentraci chloridu sodného v půdě nebo zavlažovací vodě inhibicí růstu a snížením výnosu. Závažnost těchto ztrát rostlinné produkce může kolísat ve vztahu k několika vzájemně propojeným proměnným jako je kulturní prostředí, genetický materiál (druhy a kultivary), koncentrace solí, její typ a doba expozice (Colla et al., 2010). Významné snížení parametrů růstu rostlin (výška rostlin, počet listů, plocha listů, produkce biomasy), jakož i snížení výnosu se zvyšujícím se NaCl v živném roztoku, bylo již dříve dokázáno v několika skleníkových experimentech na listové a plodové zelenině (Rouphael et al. 2018). Shodné výsledky vykazuje i můj pokus. Při porovnání kontrolní varianty zalévané vodou a stresované varianty zalévané 150 mM NaCl byla u stresované varianty zaznamenána statisticky průkazně nižší hmotnost nadzemní hmoty při 3. a 4. odběru v čerstvé hmotě.

Další důležitou růstovou charakteristikou je R/S (root: shoot ratio). R/S vyjadřuje poměr biomasy podzemní části rostliny vztaženou k nadzemní části. Z hlediska stability těla je vhodné, když je poměr R/S ve vyváženém souladu. V mém pokusu byl zaznamenán vyvážený poměr R/S při laboratorním pokusu u variant kontrola a OMP (0,001 mM a 0,1 mM) v čerstvém stavu. V zemědělství je tento poměr důležitou veličinou z hlediska produkční biologie rostlin. Během vývoje jedince se R/S mění v závislosti na přírodních podmínkách, životní formě a druhu rostliny. R/S je ovlivňován vlastnostmi rostlin (suchovzdornost, hromadění živin, využití vody) a vnějšími podmínkami (světlo, voda, teplota, živiny, oxid uhličitý). U nás většina zemědělsky využívaných rostlin patří mezi jednoletky, které mají relativně vysoký poměr uspořádání

biomasy mezi kořeny a nadzemní částí (Šerá 2013). Vyšší poměr R/S byl zaznamenán v sušině v laboratorním pokusu u všech zkoumaných variant.

Klíčení semen je obvykle nejkritičtějším stádiem v životě rostlin, které určuje úspěch rostlinné produkce zejména v nepříznivých polních podmínkách (Almansouri et al. 2001). Solný stres ovlivňuje klíčivost semen tím, že vytvoří vnější osmotický potenciál, který zabraňuje rostlině absorbovat vodu nebo vede k nahromadění toxických iontů v klíčícím semeni (Okcu et al. 2005; Luna et al. 2008). Fenner a Thompson (2005) uvádějí, že vliv NaCl je kombinací osmotického účinku a specifického iontového efektu. Ovšem v přirozeném fyziologickém prostředí může citlivost na osmotický potenciál zabránit klíčení dříve, než ionty dosáhnou toxické úrovně, a být tak důležitým faktorem, který řídí načasování klíčení (Baskin & Baskin 2014). Relativní význam osmotických účinků oproti iontovým účinkům na klíčení semen je proto stále předmětem diskuze a pravděpodobně závisí na studovaném druhu (Almansouri et al. 2001; Luna et al. 2008). Ibrahim (2016) uvádí negativní vliv salinity na klíčivost a zhoršený vývoj sazenic u několika druhů rostlin (zelí, celer, fenykl, petržel, vodní špenát). Koncentrace NaCl, která inhibuje klíčení, se nemusí lišit jen mezi druhy ale dokonce i mezi kultivary daného druhu. Toto tvrzení bylo prokázáno konkrétně u hrachu (Okcu et al. 2005; Baskin & Baskin 2014). Lal (1985) uvádí, že hrách byl citlivější na zasolení v počátečních růstových fázích nežli v pozdějších. K tomuto závěru mohl přispět fakt, že mladé sazenice jsou často konfrontovány s mnohem vyšší slaností než starší rostliny, protože ke klíčení obvykle dochází v povrchových půdách, které akumulují rozpustné soli v důsledku evapotranspirace a kapilárního vzestupu vody. Výsledkem je sůl nahromaděná kolem kořenů rostlin, která narušuje schopnost rostlin absorbovat vodu (Almansouri et al. 2001). Při pokusu nebylo možné toto tvrzení prozkoumat vzhledem k tomu, že pokus probíhal v prostorách skleníku v novém a nezasoleném substrátu, který nebyl vystaven zmíněným faktorům. Almansouri et al. 2001 uvádějí, že rezistence zaznamenaná během klíčení nemusí dokazovat i následnou rezistenci u dospělé rostliny. Několik studií skutečně prokázalo, že vývoj rezistence vůči slanosti se v různých stádiích vývoje mění a není stejný pro všechny kultivary daného druhu (Almansouri et al. 2001).

Mechanismy regulace absorpce  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  z půd a rozdělení těchto iontů v rostlinách jsou nezbytnou součástí tolerance k slanosti. Pokud do rostlin vstoupí nadměrné množství  $\text{Na}^+$  nebo  $\text{Cl}^-$ , mohou tyto ionty dosáhnout toxické úrovně hlavně ve starších listech. Protože listy odpařují asi 50krát více vody, než zadržují, sůl rychle dosáhne vysoké koncentrace a listy odumírají. Rostliny odolné vůči soli by proto měly vyloučit většinu NaCl v půdním roztoku, ideálně 98 %. Na druhou stranu je pro osmotickou úpravu nezbytná akumulace určitého množství  $\text{Na}^+$  nebo  $\text{Cl}^-$  v listech. Rozdělení  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  do vakuoly, doprovázené akumulací  $\text{K}^+$  nebo organických solutů v cytoplazmě, je důležitým mechanismem tolerance slanosti u halofytů. Genetická variabilita schopnosti kořenů vyloučit  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  z transpiračního proudu je u mnoha druhů spojována tolerancí k zasolení (Munns et al. 2010). Halofyty mají oba typy mechanismů; dobře sůl vylučují a tu, která se nevyhnutelně dostane dovnitř, efektivně rozdělí ve vakuolách. To jim umožňuje růst po dlouhou dobu ve slané půdě. Některé glykofyty také dobře vylučují sůl, ale nejsou schopny rozdělit zbytkovou sůl tak účinně jako halofyty. U většiny glykofytů dochází k vstupu sodných iontů do transpiračního proudu a k jejich akumulaci v listech až na toxickou úroveň, čímž inhibují fotosyntézu (Munns et al. 2010). U stresované varianty vystavené zasolení byla od 3. odběru, tedy 20. dne skleníkového pokusu, zaznamenána statisticky

průkazně nižší hmotnost stonků oproti kontrolní variantě. K tomuto poklesu mohlo dojít vlivem postupné akumulace  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  v listech. Tento pokles hmotnosti poukazuje na citlivost hrachu k solnému stresu.

Luštěniny jsou důležitou součástí zemědělství v rozvojových zemích, protože jsou schopny produkovat značné množství semen bohatých na bílkoviny důležitých pro výživu lidí i zvířat (Semida & Rady 2014; Yanglem et al. 2016). Hrách je kromě proteinů bohatý i na uhlohydráty, vitamíny a ve vodě rozpustné antioxidanty. Je pěstován v mnoha zemích světa pro čerstvost, konzervovaná i sušená semena a krmivo (Noreen et al. 2009). Luštěniny jsou plodiny, které rostou a plodí s relativně nízkými vstupy, a jsou tedy vhodné pro udržitelnější zemědělství. Narůstající potřeba udržitelnějších systémů pěstování vzbudila zájem o pěstování těchto plodin na větších plochách v Evropě. Dnes patří hrách setý (*Pisum sativum* L.) a fazole obecná (*Phaseolus vulgaris* L.) mezi dvě ekonomicky významné luštěniny v Evropě. Úspěšné zakládání plodin, které je zásadní pro spolehlivou rostlinnou produkci, závisí na kvalitě osiva, faktorech prostředí a genotypech (Reveneau et al. 2011). Pro drahé plodiny, jako je hrášek, je zvláště důležité, aby semeno klíčilo rychle a jednotně, snášelo nepříznivé podmínky klíčení a produkovalo zdravé sazenice (Yanglem et al. 2016). Norren et al. (2009) ve své studii uvádějí pokles růstu u všech zkoumaných kultivarů hrachu při zvyšujícím se zasolení (0-120 mM NaCl). Z toho vyplývá, že hrách patří mezi rostliny citlivé na zasolení, což odpovídá i mým výsledkům.

Nedávné výzkumy naznačují, že rostliny mohou být aktivovány různými chemickými sloučeninami, aby lépe snášely různé abiotické stresy. Chemická aktivace neboli priming je slibným nástrojem v oblasti fyziologie stresu rostlin. Priming zvyšuje systémovou toleranci rostlin k různým abiotickým stresům, zlepšuje buněčnou homeostázi a zmírňuje dopad stresu na fyziologii a růst rostlin oproti předběžně neošetřeným rostlinám (Savvides et al. 2016). Reakce na stres zahrnují fyziologické, biochemické a molekulární změny vyvolané primingem, které vedou ke zlepšení vlastností osiva (Jisha et al. 2013). Tyto změny podporují vitalitu semen během klíčení a při vzestupu solného stresu (Ibrahim 2016).

Priming se používá ke zlepšení klíčení semen za optimálních i nepříznivých podmínek (Jisha et al. 2013). Pozitivní vliv primingu semen byl zaznamenán i v mém laboratorním pokusu. Při porovnání kontrolní varianty (neošetřená semena) s variantou  $\text{H}_2\text{O}_2$  (priming pomocí peroxidu vodíku) byl u rostlin ošetřených primingem o polovinu větší R/S v čerstvé hmotě i sušině. Výsledky tedy potvrzují pozitivní vliv primingu za optimálních podmínek. V několika výzkumných studiích bylo zaznamenáno zvýšené procento klíčení u primingovaných semen až za nepříznivých podmínek (Peyvast et al. 2010; Ibrahim 2016). Copeland a McDonald (2012) nicméně upozornili na rozdílnou úspěšnost primingu závislou na velikosti semene. Studie ukázaly, že priming malých semen je trvale úspěšnější oproti plodinám s velkými semeny, jako jsou například sója a kukuřice cukrová.

Hameed et al. (2019) uvádí, že priming je cenná, snadná a dobře zavedená technika ošetření semen používaná ke zvýšení kvality osiva. Takové ošetření vede k rychlejšímu a jednotnějšímu klíčení a vzniku sazenic, zlepšení výnosu plodin a stanovení odolnosti vůči stresu. Pro lepší výkon plodin a zvládnutí abiotického stresu se používají různá přírodní a syntetická aktivační činidla (Ibrahim 2016; Hameed et al. 2019). Reakce rostlin na některá aktivační činidla pod vlivem solného stresu jsou pozorovány na základě nejlepších dostupných údajů. Pro velké množství plodin existuje jen málo informací a je zapotřebí dalšího výzkumu

(Jisha et al. 2013). V tomto pokusu byla k primingu semen hrachu zvolena látka omeprazol za účelem posouzení jejího vlivu na klíčivost semen v prostředí bez solného stresu a jejího následného vlivu na růst hrachu.

Omeprazol, derivát benzimidazolu, patří mezi inhibitory protonové pumpy, které v lidském těle řídí sekreci žaludeční kyseliny. Po vstřebání v tenkém střevě se omeprazol dostává krevní cestou do krycích buněk žaludeční sliznice. Jako slabá báze se omeprazol koncentruje v kyselém prostředí sekrečních kanálků, kde se převádí kyselinou na aktivní derivát sulfenamidu, který blokuje  $H^+/K^+$  ATPázu, což je enzym zodpovědný za poslední krok sekrece kyseliny chlorovodíkové. V této formě léčivo neprochází buněčnými membránami a je zachyceno v místě svého působení. Omeprazol tedy poskytuje účinný a specifický způsob řízení sekrece kyseliny bez ohledu na povahu sekrečního stimulu a inhibuje jak bazální, tak stimulovanou sekreci žaludeční kyseliny. (McTavish et al. 1991). Protože export protonů do žaludeční dutiny pomocí  $H^+/K^+$  ATPázy představuje poslední krok sekrece kyseliny, inhibice této žaludeční pumpy nyní nahradila všechny ostatní terapeutické strategie v léčbě žaludečních komplikací. Omeprazol byl poprvé komercializován na konci 80. let 20. století a stal se nyní nejčastěji používaným lékem k léčbě peptických vředů (Yatime et al. 2009).

Omeprazol vyvolává vzrůstající zájem díky mechanismům zlepšujícím účinnost využívání zdrojů v rostlinách vystavených stresovým podmínkám. Jeho účinek vůči solnému stresu je v posledních letech zkoumán konkrétněji (Carillo et al. 2019). Van Oosten et al. (2017) uvádějí, že omeprazol zlepšuje růst rostlin a zvyšuje toleranci vůči solnému stresu prostřednictvím změn genové exprese a absorpce a transportu iontů. Carillo et al. (2019) uvádějí, že zlepšuje absorpci dusičnanů a vylučování toxických iontů, zejména chloridu, z cytosolu listů namáhaných solí. Skutečnost, že omezuje zatížení stonků chloridem, a přitom upřednostňuje dusičnany, draslík a další užitečné ionty, zvyšuje fotosyntetickou aktivitu a metabolismus listů, což vede k jejich zvýšené tvorbě, a tedy i lepším výnosům. Mechanismy, kterými může OMP snižovat zatížení chloridem, jistě vyžadují další molekulární studium. Je však zřejmé, že použití OMP je pro rostliny prospěšné a může být užitečné pro odhalení molekulárních mechanismů zahrnutých v toleranci k zasolení.

Van Oosten et al. (2017) zkoumali priming efekt pomocí omeprazolu na rostlinách rajčete (*Solanum lycopersicum* L.) v podmínkách zasolení. V rámci pokusu byla zařazena i kontrolní varianta ošetřená omeprazolem, která nebyla vystavena solnému stresu, stejný postup jsme zvolili i při mém pokusu. Výsledky uvádějí, že v podmínkách kontroly nízké koncentrace omeprazolu (0,001 a 0,01 mM) délku kořenů významně nezvýšily. Avšak při dávce 0,045 mM omeprazolu byla délka kořenů silně inhibována, konkrétně o 53 %. Zatímco omeprazol nezvýšil významně délky kořenů, nízké koncentrace významně zvýšily hmotu kořenů. Při měření hmotnosti u varianty 0,01 mM došlo u stonků k zvýšení FW o 49 % a DW o 48 %. FW kořenů se zvýšila o 55 % a DW o 56 % při absenci stresu. Tyto výsledky lze porovnat s první etapou mého pokusu prováděnou v laboratorních podmínkách. K vyhodnocení vhodné koncentrace pro priming omeprazolem byla zvolena koncentrační řada 0,001 mM, 0,01 mM, 0,1 mM, 0,5 mM a 1 mM. Při posouzení délky kořenů při posledním měření nelze s uvedenými výsledky souhlasit, jelikož mezi variantou kontrola (neošetřená semena) a OMP 1 mM statisticky průkazný rozdíl neexistoval. Vlivem primingu (1 mM OMP) tedy nedošlo k inhibici ani stimulaci růstu kořenů do délky. Zbylé varianty s nižší koncentrací OMP měly statisticky průkazně kratší kořeny v porovnání s kontrolní variantou. U variant vystavených primingu byly

naměřeny statisticky průkazně nižší hodnoty délek stonků v porovnání s kontrolní variantou. Statisticky průkazně nejvyšší hmotnost kořenů v sušině (DW) byla zaznamenána u varianty OMP v koncentraci 1 mM oproti ostatním variantám OMP a kontrolní variantě. Nízké koncentrace hmoty kořenů statisticky průkazně nezvýšily. Uváděný nárůst hmoty u varianty 0,01 mM nenastal.

Hmotnost stonků v FW i DW byla u koncentrace 1 mM statisticky průkazně nižší v porovnání s kontrolní variantou. U poměru R/S byl zaznamenán statisticky průkazný nárůst v FW i DW pro variantu OMP v koncentraci 1 mM. Na základě zmíněných výsledků byla zvolena pro další část pokusu koncentrace OMP 1 mM.

Vliv aplikace omeprazolu na rostliny v podmínkách se závlahou bez solného stresu byl pozorován i při druhé části pokusu, která probíhala ve skleníku. Carillo et al. 2019 ve své práci zmiňují, že omeprazol je schopen zvýšit růst kořenů a účinnost příjmu živin u kontrolních rostlin. Toto tvrzení nebylo při mém pokusu potvrzeno, jelikož priming omeprazolem hmotnost kořenů v čerstvé hmotě (FW) ani v sušině (DW) nezvýšil. Při posledním odběru byly zaznamenány statisticky průkazně vyšší hodnoty v hmotnosti kořenů pouze u kontrolní varianty bez primingu. U čerstvé hmotnosti stonků (FW) se aplikace omeprazolu u jednotlivých odběrů na růstu neprojevila. Při prvních třech odběrech nebyl vliv aplikace omeprazolu zaznamenán ani v sušině (DW), pouze při posledním odběru byla hmotnost stonků varianty s použitím omeprazolu v porovnání s kontrolní variantou statisticky průkazně vyšší. Z těchto výsledků nelze prokázat, že by priming omeprazolem měl v podmínkách se závlahou statisticky průkazný pozitivní efekt.

Ibrahim (2016) uvádí, že pozitivní účinky primingu mohou být zřetelnější při působení nepříznivých podmínek nežli za příznivých. Očekávaný stimulační účinek OMP na růst stonků, dříve uváděný ve Van Oosten et al. (2017), nebyl v mém pokusu v nepřítomnosti solného stresu dokázán. Stejně výsledky uvádí i Roupheal et al. (2018) na rajčatech (*Solanum lycopersicum* L.) ošetřených OMP v různých koncentracích.

Carillo et al. (2019) uvádějí, že omeprazol zlepšuje absorpci dusičnanů a vylučování toxických iontů, zejména chlorofylu, z cytosolu listů namáhaných solí u bazalky (*Ocimum basilicum* L.). Jak už bylo zmíněno, omeprazol má schopnost inhibovat protonovou pumpu a tím ovlivňovat sekreci žaludeční kyseliny u lidí. Nehledě na to, že mezi rostlinami a lidskými protonovými pumpami existuje velmi nízká homologie, bylo prokázáno, že OMP může působit jako regulátor růstu rostlin zlepšující toleranci k zasolení při koncentraci v rozmezí 0,01 až 0,1 mM. OMP nereguluje přímo poměr draslíku k sodíku a homeostázi iontů, ale je schopen zvýšit koncentraci dusičnanů v kořenech a listech a současně snížit koncentrace sodíku a chloridu v obou orgánech. Toto zvýšení dusičnanů může podpořit syntézu a akumulaci sloučenin obsahujících N, které se podílejí na osmotické úpravě, což zlepšuje fyziologické funkce a životaschopnost rostlin vystavených solnému stresu. Kromě toho je OMP schopen zvýšit růst kořenů a účinnost zdrojů živin v rostlinách s mechanickým stresem.

Van Oosten et al. (2017) ve svých výzkumech testovali efekt primingu omeprazolem na semenech rajčat vystavených solnému stresu. Aby vyhodnotili potenciál vlivu omeprazolu na růst a snášenlivost solí, provedli hydroponický experiment při zvyšování koncentrací OMP. Rostliny byly nejdříve 30 dní pěstovány v podmínkách se závlahou bez stresu. Poté byly rostliny vystaveny postupně se zvyšujícím solnému stresu (50-200 mM NaCl). Měření byla prováděna po oddělení kořenů a stonků, stejně jako v mém pokusu. Výsledky ukazují, že OMP

indukuje dva specifické fenotypy: zvýšený růst kořenů a výhonků a zvýšenou toleranci a růst při vysokém solném stresu. U růstu pozorovali velkou závislost na velikosti dávky OMP. Rostliny pěstované pod silným solným stresem (200 mM NaCl) a s nízkou koncentrací OMP byly schopny udržet růst. Ošetření 0,001 mM OMP pod vlivem 200 mM NaCl zvýšilo FW a DW stonků oproti neošetřeným kontrolám o 56 a 54 %. Podobné výsledky byly pozorovány u stonků při 0,01 mM ošetření a solném stresu. Aplikace 0,045 mM nezvýšila ani jeden ze zmíněných růstových parametrů stonků při solném stresu. Vliv rozdílných koncentrací OMP na růst rostlin v podmínkách solného stresu nelze v mém pokusu vyhodnotit, protože byla použita jen jedna koncentrace OMP, a to 1 mM. Pro porovnání s mými výsledky je tedy nejbližší srovnatelná koncentrace z popisovaného výzkumu 0,045 mM.

Při porovnání varianty OMP se stresovanou variantou (neošetřená semena pod solným stresem) nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl v hmotnosti stonků v FW i DW ani při jednom odběru. Při posouzení vlivu omeprazolu na růst stonků se lze ztotožnit s výsledky uváděnými Van Oostenem et al. (2017), tedy že podpora růstu omeprazolem nebyla u stonků zaznamenána.

Podpora růstu pod silným solným stresem byla výraznější v kořenech. Jak kořenová FW, tak DW rostlin ošetřených 0,001 mM OMP byla dvojnásobná než u neošetřených kontrol při silném solném stresu. I když 0,01 mM OMP neměl významný účinek v kontrolních podmínkách, při solném stresu byla pozorována zvýšená tolerance rostlin. Vysoké koncentrace OMP (0,045 mM) neindukovaly významné přínosy při působení solí (Van Oosten et al. 2017). K podobným výsledkům lze dojít i u mého pokusu při posouzení růstových parametrů kořenů hrachu. Při čtvrtém odběru čerstvé hmoty (FW) nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl v porovnání varianty ošetřené omeprazolem se stresovanou a kontrolní variantou. U sušiny (DW) byly výsledky varianty s OMP statisticky průkazně nižší nežli u stresované varianty.

Van Oosten et al. (2017) pozorovali u rostlin ošetřených OMP vystavených solnému stresu delší kořenovou oblast. Délky kořenů nebyly v mém skleníkové pokusu vyhodnocovány, ale z fotografií vytvořených při odběru rostlin je u stresované varianty ošetřené OMP možno zaznamenat prodloužení kořenů oproti variantě bez stresu. Delší a rozsáhlejší kořeny mohou rostlině pomoci uniknout ze zasoleného prostředí do nezasolených oblastí půdního profilu, což může zlepšit účinnost využití živin a celkovou produkci biomasy (Van Oosten et al. 2017, Roupael et al. 2018).

Vysvětlení odlišných výsledků studií může spočívat v pěstitelských podmínkách, druhu zkoumaných rostlin, délce experimentu, množství solného stresu a koncentraci OMP. Na základě získaných výsledků se jeví OMP jako potenciálně zajímavá chemická látka, která by zasloužila další výzkum.



## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit priming efekt omeprazolu na růst hrachu vystaveného solnému stresu. Pokus byl rozdělen na dvě části. V první části byla testována fytotoxicita omeprazolu (OMP) u zvolené koncentrační řady (0,001 mM; 0,01 mM; 0,1 mM; 0,5 mM; 1 mM) v laboratorních podmínkách. Na základě výsledků z první části byla zvolena vhodná koncentrace pro další část pokusu ve skleníku. Ošetřená semena hrachu byla vyseta do nádob se substrátem a vystavena solnému stresu. V opakovaných odběrech byl sledován růst kořenů a stonků v čerstvé hmotnosti (FW) a sušině (DW).

- U laboratorního pokusu, který testoval vliv rozdílných koncentrací omeprazolu použitých pro priming semen hrachu setého (*Pisum sativum* L.), byla statisticky průkazně nejvyšší hmotnost kořenů v DW zaznamenána u varianty OMP v koncentraci 1 mM. Nižší koncentrace OMP hmotnost kořene statisticky průkazně nezvýšili. Hmotnost stonku v FW i DW byla u koncentrace 1 mM statisticky průkazně nižší v porovnání s kontrolní variantou. Priming 1 mM OMP statisticky průkazně zvýšil poměr R/S v FW i DW.
- Délka kořenů při čtvrtém odběru byla u varianty OMP v koncentraci 1 mM a kontrolní varianty shodná, neexistoval mezi nimi statisticky průkazný rozdíl. U variant s nižšími koncentracemi OMP byl kořen statisticky průkazně kratší. U variant vystavených primingu byly naměřeny statisticky průkazně nižší hodnoty stonků v porovnání s kontrolní variantou.
- Dle vyhodnocených parametrů byla pro priming semen hrachu setého v další části pokusu zvolena koncentrace OMP 1 mM.
- Ve skleníkovém pokusu při čtvrtém odběru priming OMP hmotnost kořenů v FW ani v DW statisticky průkazně nezvýšil. V FW stonku se aplikace omeprazolu u jednotlivých odběrů na růstu neprojevila, statisticky průkazně vyšší hmotnost stonku byla zaznamenána pouze při čtvrtém odběru v DW.
- U stresované varianty (neošetřené primingem, vystavené zasolení) byla od třetího odběru prokázána statisticky průkazně nižší FW stonků oproti kontrolní variantě. Hmotnost kořenů v FW i DW byly statisticky průkazně vyšší při druhém a třetím odběru, oproti variantě kontrola.
- Vliv OMP na růst kořenů v FW v podmínkách solného stresu nebyl statisticky průkazný v porovnání se stresovanou variantou. U DW byl průběh pokusu stejný až do čtvrtého odběru, při kterém byla hmotnost varianty OMP statisticky průkazně nižší nežli u stresované varianty.
- Ze získaných výsledků vyplývá, že první dvě hypotézy byly potvrzeny: OMP ovlivňuje klíčivost semen hrachu a zasolení ovlivňuje růstové parametry hrachu. Poslední hypotézu ze získaných výsledků nelze potvrdit. Růst kořenů a stonků hrachu v podmínkách zasolení nebyl OMP statisticky průkazně ovlivněn.

Priming OMP se jeví jako potenciálně zajímavá metoda ovlivňující růst hrachu, která by si zasloužila další podrobnější výzkum zahrnující například použití nižší koncentrace OMP, sledování klíčení v podmínkách zasolení a pěstování rostlin v jiném substrátu, umožňujícím snazší odběr rostlin.

## 8 Literatura

- Almansouri M, Kinet J, Lutts S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil* **231**: 243–254.
- Ashraf M, Harris PJC, Rehman S. 2005. Stress Environments and Their Impact on Crop Production. Pages 3-18 in Ashraf M, Harris PJC, editors. *Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches*. Food Products Press, NY.
- Ashraf M, Harris PJC. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* **166**: 3-16.
- Ashraf M, Wu L. 1994. Breeding for Salinity Tolerance in Plants, *Critical Reviews in Plant Sciences*, **13**: 17-42.
- Baskin CC, Baskin JM. 2014. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* Second edition. Elsevier/AP, San Diego, CA.
- Batool N, Shahzad A, Ilyas N. 2014. Plants and Salt stress. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* **7**: 1439.
- Bewley JD. 1997. Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell* **9**: 1055-1066.
- Bláha L, Hnilička F, Hniličková H, Holubec V, Möllerová J, Štolcová J, Zieglerová J. 2003. *Rostlina a stres. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha*.
- Botella MA, Rosado A, Bressan RA, Hasegawa PM. 2005. Plant adaptive responses to salinity stress. Pages 37-58 in Jenks MA, Hasegawa PM. editors. *Plant Abiotic Stress*. Blackwell, USA.
- Botella MA, Rosado A, Bressan RA, Hasegawa PM. 2007. Plant Adaptive Responses to Salinity Stress. Pages 37-39 in Jenks MA, Hasegawa PM, editors. *Plant Abiotic Stress*. Blackwell, USA.
- Carillo P, Woodrow P, Raimondi G, El-Nakhel CH, Pannico A, Kyriacou M, Colla G, Mori M, Giordano M, De Pascale S, Rouphael Y. 2019. Omeprazole Promotes Chloride Exclusion and Induces Salt Tolerance in Greenhouse Basil. *Agronomy* **9**: 355.
- Colla G, Rouphael Y, Leonardi CH, Bie Z. 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* **127**: 147-155.
- Copeland LO, McDonald MB. 2001. *Principles of seed science and technology* 4th ed. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Dajic Z. 2006. Salt stress. Pages 41-99 in Reddy KJ, Rao M, Raghavendra AS, editors. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, Netherlands.
- Dinneny J. 2014. Traversing organizational scales in plant salt-stress responses. *Current Opinion in Plant Biology* **23**: 70-75.
- Duarte B, Sleimi N, Cacador I. 2014. Biophysical and biochemical constraints imposed by salt stress: Learning from halophyte. *Frontiers in Plant Science* **5**: 746.

- Evert RF, Eichhorn SE. 2013. Raven: Biology of Plants. W.H. Freeman & Company, New York.
- Fenner M, Thompson K. 2005. The ecology of seeds. Cambridge University Press, New York, USA.
- Fitter A, Hay R. 1987. Environmental physiology of plants. Academic Press, San Diego.
- Hameed A, Hameed A, Farooq T, Norren R, Javed S, Batool S, Ahmad A, Gulzar T, Ahmad M. 2019. Evaluation of structurally different benzimidazoles as priming agents, plant defence activators and growth enhancers in wheat. *BMC Chemistry* **13**: 29
- Hnilička F, Hniličková H. 2016. Obecná koncepce stresu. Pages 2-27 in Hnilička F, Středa T, editors. Rostliny v podmínkách stresu – abiotické stresory. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Ibrahim EA. 2016. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology* **192**: 38-46.
- Jisha KC, Vijayakumari K, Puthur JT. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum* **35**: 1381-96.
- Jones H, Jones M. 1989. Introduction: Some terminology and common mechanisms. Pages 1-10 in Jones H, Flowers T, Jones M editors. *Plants under Stress: Biochemistry, Physiology and Ecology and their Application to Plant Improvement (Society for Experimental Biology Seminar Series)*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Josefusová Z, Opatrná J, Pavlová L. 1985. Root-shoot correlation linked with photoperiodic floral induction in *Chenopodium rubrum* L. *Biologia plantarum* **27**: 386-391.
- Kikuzawa K, Koyama H. 1999. Scaling of soil water absorption by seeds: An experiment using seed analogues. *Seed Science Research* **9**: 171-178.
- Koornneef M, Bentsink L, Hilhorst H. 2002. Seed dormancy and germination. *Current Opinion in Plant Biology* **5**: 33-36.
- Kordrostami M, Rabiei B. 2019. Salinity Stress Tolerance in Plants: Physiological, Molecular, and Biotechnological Approaches. Pages 101-127 in Hasanuzzaman M, Hakeem K, Nahar K, Alharby H, editors. *Plant Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Cham.
- Kosová K, Vítámvás P, Prášil IT, Renaut J. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress-contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *J Proteomics*. **74**: 1301-1322.
- Koyro HW, Geissler N, Hussin S, Huchzermeyer B. 2008. Survival at Extreme Locations: Life Strategies of Halophytes – The long way from system ecology, whole plant physiology, cell biochemistry and molecular aspects back to sustainable utilization at field sites. Pages 1-20 in Abdelly C, Öztürk M, Ashraf M, Grignon C, editors. *Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance*. Birkhäuser, Basel.
- Kúdela V, Ackermann P, Prášil IT, Rod J, Veverka K. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia, Praha.

- Kutílek M. 2012. Půda planety Země. Dokořán, Praha.
- Lal RK. 1985. Effect of salinity applied at different stages of growth on seed yield and its constituents in field peas (*Pisum sativum* L. var. *arvensis*). Indian Journal of Agronomy **30**: 296-299.
- Lambers H, Chapin FS, Pons TL. 2008. Plant Physiological Ecology 2nd ed. Springer Science & Business Media, New York.
- Larcher W. 2003. Physiological Plant Ecology Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups 4th ed. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg.
- Larcher W. 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Přeložil Bauer V. Academia, Praha.
- Larcher W. 1995. Physiological Plant Ecology. Springer, Berlin.
- Levitt J. 1980. Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt, and other stresses. Academic Press, New York.
- Luna VM, Llanes AS, Sosa LR, Reginato MA, Reinoso HE. 2008. Differential effects of sodium salts on the germination of a native halophytic species from South America: *Prosopis strombulifera* (Lam.) Benth. Pages 81-90 in Abdelly C, Öztürk M, Ashraf M, Grignon C, editors. Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. Birkhäuser, Basel.
- Majeed A, Muhammad Z. 2019. Salinity: A Major Agricultural Problem-Causes, Impacts on Crop Productivity and Management Strategies. Pages 83-99 in Hasanuzzaman M, Hakeem K, Nahar K, Alharby H, editors. Plant Abiotic Stress Tolerance. Springer, Cham.
- Mayer AM, Poljakoff-Mayber A. 1982. The germination of seeds 3rd ed. Pergamon Press, New York.
- McKersie BD, Leskem YY. 1994. Stress and stress Coping in Cultivated Plants. Kluwer Academic, Netherlands.
- McTavish D, Buckley MM, Heel RC. 1991. Omeprazole. An updated review of its pharmacology and therapeutic use in acid-related disorders. Drugs **42**: 138–170.
- Melichar M et al. 1997. Zelinářství. Květ, Praha.
- Milić J, Radojkovic B, Jancic Stojanovic B, Draskovic J, Mirasevic S, Čalija B. 2017. Investigation of omeprazole stability in oral suspensions for pediatric use prepared extemporaneously from omeprazole capsules. Arhiv za farmaciju **67**: 14-25.
- Motřková K, Podlipská R, Vaněk T, Kafka Z. 2014. Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytořemediacích. Chem. Listy **108**: 586-591.
- Munns R, Sharp RE. 1993. Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soil of low water potential. Aust. J. Plant Physiol. **20**: 425–437
- Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology **59**: 651-681.

- Munns R, Wallace PA, Teakle NL, Colmer TD. 2010. Measuring Soluble Ion Concentrations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) in Salt-Treated Plants. *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.) **639**: 371-82.
- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* **25**: 239-250.
- Murata Y, Mori IC. 2013. Stomatal regulation of plant water status. Pages 47-63 in Jenks MA, Hasegawa PM, editors. *Plant abiotic stress*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, Iowa.
- Noreen Z, Ashraf M. 2009. Assessment of variation in antioxidative defense system in salt-treated pea (*Pisum sativum*) cultivars and its putative use as salinity tolerance markers. *Journal of Plant Physiology* **166**: 1764-74.
- Okçu G, Kaya MK, Atak M. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **29**: 237-242.
- Peyvast GH, Olfati JA, Piri M, Mahdih MB. 2010. Priming effect on cucumber germination at low temperatures. *Acta Horticulturae* **871**: 615-616
- Procházka S, Macháčková I, Krekule J, Šebánek J. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha.
- Rao KVM. 2006. Introduction. Pages 1-14 in Reddy KJ, Rao M, Raghavendra AS, editors. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, Netherlands.
- Raveneau MP, Coste F, Moreau-Valancogne P, Lejeune-Hénaut I, Durr C. 2011. Pea and bean germination and seedling responses to temperature and water potential. *Seed Science Research* **21**: 205-213.
- Rouphael Y, Raimondi G, Lucini L, Carillo P, Kyriacou MC, Colla G, Cirillo V, Pannico A, El-Nakhel C, De Pascale S. 2018. Physiological and Metabolic Responses Triggered by Omeprazole Improve Tomato Plant Tolerance to NaCl Stress. *Front Plant Sci.* **9**: 249
- Savvides A, Ali S, Tester M, Fotopoulos V. 2016. Chemical Priming of Plants Against Multiple Abiotic Stresses: Mission Possible? *Trends in Plant Science.* **21**: 329-340.
- Semida WM, Rady M. 2014. Pre-soaking in 24- epibrassinolide or salicylic acid improves seed germination, seedling growth, and anti-oxidant capacity in *Phaseolus vulgaris* L. grown under NaCl stress. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **89**: 338-344.
- Shabala S, Munns R. 2017. Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. Pages 24-64 in Shabala S, editors. *Plant stress physiology*. Cabi, Australia.
- Schinokazi K, Vermura M, Bailey-Serres, J, Bray EA, Weretilnyk. 2015. Responses to Abiotic Stress. Pages 1051-1099 in Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL, editors. *Biochemistry and molecular biology of plants*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Sudhir P, Murthy SDS. 2004. Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica* **42**: 481-486.
- Šebánek J. 1998. Klíčení semen. Pages 348-357 in Procházka S, Macháčková I, Krekule J, Šebánek et al., editors. *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha.

- Šerá B. 2013. Jak funguje poměr „root: shoot“. Pages 65-73 in Bláha L, Šerá B, editors. Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci. Powerprint, Praha.
- Taiz L, Zeiger E. 2002. Plant physiology 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- Thompson KF, Grime JP. 1979. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *The Journal of Ecology* **67**: 893-921.
- Tuteja N, Gill SS. 2013. Climate change and plant abiotic stress tolerance. Wiley Blackwell, Germany.
- Van Oosten MJ, Silletti S, Guida G, Cirillo V, Di Stasio E, Carillo P, Woodrow P, Maggio A, Raimondi G. 2017. A Benzimidazole Proton Pump Inhibitor Increases Growth and Tolerance to Salt Stress in Tomato. *Front Plant Science* **8**: 1220.
- Yanglem SD, Ram V, Rangappa K, Devi MH, Singh NJ, Singh AK. 2016. Effect of seed priming on germination and initial seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *The Bioscan* **11**: 2625-2630.
- Yatime L, Buch-Pedersen MJ, Musgaard M, Morth JP, Winther AML, Pedersen BP, Olesen C, Andersen JP, Vilsen B, Schiøtt B, Palmgren MG, Møller JV, Nissen P, Fedosova N. 2009. P-type ATPases as drug targets: tools for medicine and science. *Biochim Biophys Acta* **1787**: 207-220.

## 9 Seznam použitých obrázků, grafů a tabulek

### 9.1 Seznam použitých obrázků

- Obrázek 1: Epigeické klíčení u fazolu (Ever & Eichhorn 2013, upraveno)  
Obrázek 2: Hypogeické klíčení hrachu (Ever & Eichhorn 2013, upraveno)  
Obrázek 3: Přehled nejdůležitějších stresových faktorů (Procházka et al. 1998)  
Obrázek 4: Některé z běžných reakcí rostlin na abiotické napětí (Rao 2006, upraveno)  
Obrázek 5: Zjednodušený průběh stresové reakce (Larcher 1995, upraveno)  
Obrázek 6: Schéma znázorňující zavlažování brambor brázdovým podmokem. Vypařování vody na vrchu hrůbků způsobuje postupné hromadění soli. Šipky znázorňují směr vzestupu vody kapilárami. Vyšší číselná hodnota znamená vyšší zasolení (McKersie & Leshem 1994)  
Obrázek 7: Fáze reakcí rostlin na slanost (Munns & Tester 2008, upraveno)  
Obrázek 8: Strukturní vzorec omeprazolu (Milić et al. 2017, upraveno)  
Obrázek 9: Příprava Petriho misek (foto autor)  
Obrázek 10: Vkládání semen hrachu do Petriho misek (foto autor)  
Obrázek 11: Měření délky kořene pomocí pravítka (foto autor)  
Obrázek 12: Odřezávání kořenů a stonků, poslední den laboratorního pokusu (foto autor)  
Obrázek 13: Vážení sušiny pomocí laboratorní váhy (foto autor)  
Obrázek 14: Barevné označení v nádobách (červená: peroxid vodíku, bílá: voda) (foto autor)  
Obrázek 15: Vysetá semena hrachu (modrá: omeprazol) (foto autor)  
Obrázek 16: Rostliny hrachu před prvním odběrem (foto autor)  
Obrázek 17: Očištěné rostliny hrachu 20.den pokusu varianta omeprazol (v levo: pod vlivem NaCl, v pravo: zálivka vodou) (foto autor)  
Obrázek 18: Vážení stonku v čerstvém stavu (foto autor)  
Obrázek 19: Rostliny hrachu 29.den pokusu, varianty vystavené NaCl (foto autor)

### 9.2 Seznam použitých grafů

- Graf 1: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene u použitých variant v laboratorních podmínkách.  
Graf 2: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku u použitých variant v laboratorních podmínkách.  
Graf 3: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti kořene a stonku (R/S) u použitých variant v laboratorních podmínkách.  
Graf 4: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene u použitých variant v laboratorních podmínkách.  
Graf 5: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku u použitých variant v laboratorních podmínkách.  
Graf 6: Poměry průměrné hmotnosti sušiny kořene a stonku (R/S) u použitých variant v laboratorních podmínkách.  
Graf 7: Průměrné délky kořene měřené v průběhu čtyř dnů u použitých variant.  
Graf 8: Průměrné délky stonku měřené v průběhu čtyř dní u použitých variant.  
Graf 9: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení  
Graf 10: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení  
Graf 11: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti (FW) kořene a stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 12: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 13: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 14: Poměry průměrné hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 15: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení.

Graf 16: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 17: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti (FW) kořene a stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 18: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 19: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení

Graf 20: Poměry průměrné hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení

### **9.3 Seznam použitých tabulek**

Tabulka 1: Přehled průběhu pokusu

Tabulka 2: Kombinace zvolených variant



## 10 Samostatné přílohy

### 10.1 Tabulky LSD testů

#### 10.1.1 Laboratorní pokus

Tabulka 1: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ))

LSD test; proměnná R FW (g) (tab koncentrace omp) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .13966, sv = 28.000				
Varianta	R FW (g) (Průměr)	1	2	3
OMP 0.01 mM	1,445600	****		
OMP 0.1 mM	1,486600	****		
OMP 0.001 mM	1,500400	****	****	
Kontrola	1,596600	****	****	
OMP 0.5 mM	1,709000	****	****	
OMP 1 mM	1,981400		****	****
Peroxid	2,227800			****

Tabulka 2: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ))

LSD test; proměnná S FW (g) (tab koncentrace omp) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .02732, sv = 28.000			
Varianta	S FW (g) (Průměr)	1	2
OMP 1 mM	1,234800		****
Peroxid	1,340000	****	****
OMP 0.001 mM	1,440400	****	****
OMP 0.01 mM	1,471600	****	
OMP 0.1 mM	1,484000	****	
Kontrola	1,538800	****	
OMP 0.5 mM	1,540400	****	

Tabulka 3: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti kořene a stonku (R/S) u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ))

LSD test; proměnná R/S FW (tab koncentrace omp) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .16685, sv = 28.000				
Varianta	R/S (Průměr)	1	2	3
OMP 0.01 mM	0,986007	****		
OMP 0.1 mM	1,015275	****		
Kontrola	1,038224	****		
OMP 0.001 mM	1,045687	****		
OMP 0.5 mM	1,110930	****	****	
OMP 1 mM	1,611203		****	****
Peroxid	1,799271			****

Tabulka 4: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ))

LSD test; proměnná R DW (g) (tab koncentrace omp) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .00009, sv = 28.000					
Varianta	R DW (g) (Průměr)	1	2	3	4
OMP 0.001 mM	0,138520			****	
OMP 0.5 mM	0,144320	****		****	
Kontrola	0,151440	****	****		
OMP 0.01 mM	0,155580	****	****		
OMP 0.1 mM	0,157540		****		
OMP 1 mM	0,172360				****
Peroxid	0,175160				****

Tabulka 5: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ))

LSD test; proměnná S DW (g) (tab koncentrace omp) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .00013, sv = 28.000				
Varianta	S DW (g) (Průměr)	1	2	3
Peroxid	0,104260			****
OMP 1 mM	0,111740		****	****
OMP 0.001 mM	0,123060	****	****	
OMP 0.5 mM	0,125500	****	****	
Kontrola	0,131800	****		
OMP 0.1 mM	0,132180	****		
OMP 0.01 mM	0,133220	****		

Tabulka 6: Poměry průměrné hmotnosti sušiny kořene a stonku (R/S) u použitých variant v laboratorních podmínkách. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ))

LSD test; proměnná R/S DW (tab koncentrace omp) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .01728, sv = 28.000			
Varianta	R/S (Průměr)	1	2
OMP 0.001 mM	1,128356	****	
Kontrola	1,151789	****	
OMP 0.5 mM	1,154202	****	
OMP 0.01 mM	1,171081	****	
OMP 0.1 mM	1,206797	****	
OMP 1 mM	1,548408		****
Peroxid	1,702146		****

Tabulka 7: Průměrné délky kořene měřené v průběhu čtyř dnů u použitých variant. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

LSD test; proměnná R (tab koncentrace omp)														
Homogenní skupiny, alfa = .05000 (Neúplné vyhledávání)														
Chyba: meziskup. PČ = 1.6971, sv = 2772.0														
Varianta	Den	R (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
OMP 0.5 mM	1	0,748000	****											
OMP 1 mM	1	0,845000	****											
OMP 0.1 mM	1	0,878000	****											
Kontrola	1	0,891000	****											
OMP 0.01 mM	1	0,903000	****	****										
OMP 0.001 mM	1	0,964000	****	****										
Peroxid	1	1,264000		****										
OMP 0.5 mM	2	2,778000			****									
OMP 0.1 mM	2	2,958000			****									
OMP 0.01 mM	2	3,070000			****	****								
OMP 1 mM	2	3,074600			****	****								
OMP 0.001 mM	2	3,084000			****	****								
Kontrola	2	3,381000				****								
Peroxid	2	4,163000					****							
OMP 0.5 mM	3	4,560000						****						
OMP 0.1 mM	3	4,584000						****						
OMP 0.001 mM	3	4,642000						****						
OMP 1 mM	3	4,808000						****	****					
Kontrola	3	5,046000							****					
OMP 0.01 mM	3	5,050000							****					
OMP 0.1 mM	4	5,636000								****				
OMP 0.001 mM	4	5,711000								****	****			
Peroxid	3	5,732000								****	****			
OMP 0.5 mM	4	6,002000									****	****		
OMP 0.01 mM	4	6,113000										****		
OMP 1 mM	4	6,228000										****	****	
Kontrola	4	6,539000											****	****
Peroxid	4	6,793000												****

Tabulka 8: Průměrné délky stonku měřené v průběhu čtyř dní u použitých variant. (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v odstupňovaných koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

LSD test; proměnná S (tab koncentrace omp)														
Homogenní skupiny, alfa = .05000 (Neúplné vyhledávání)														
Chyba: meziskup. PČ = .23527, sv = 2772.0														
Varianta	Den	S (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kontrola	1	0,000000	****											
OMP 0.5 mM	1	0,000000	****											
OMP 0.1 mM	1	0,000000	****											
Peroxid	1	0,000000	****											
OMP 0.001 mM	1	0,000000	****											
OMP 0.01 mM	1	0,000000	****											
OMP 1 mM	1	0,000000	****											
OMP 1 mM	2	0,518000		****										
OMP 0.001 mM	2	0,602000		****	****									
Peroxid	2	0,614000		****	****									
OMP 0.5 mM	2	0,615000		****	****									
Kontrola	2	0,671000			****	****								
OMP 0.1 mM	2	0,679000			****	****								
OMP 0.01 mM	2	0,788000				****								
OMP 0.5 mM	3	1,303000					****							
OMP 0.001 mM	3	1,334000					****							
OMP 1 mM	3	1,430000					****	****						
Peroxid	3	1,488000						****	****					
Kontrola	3	1,583000							****					
OMP 0.1 mM	3	1,902000								****				
Peroxid	4	1,963000								****	****			
OMP 0.001 mM	4	1,980000								****	****			
OMP 0.01 mM	3	1,997000								****	****			
OMP 0.5 mM	4	2,056000									****			
OMP 1 mM	4	2,205000										****		
OMP 0.1 mM	4	2,673000											****	
OMP 0.01 mM	4	2,743000											****	
Kontrola	4	2,926000												****

## 10.1.2 Skleníkový pokus

### 10.1.2.1 Rostliny v podmínkách se závlahou bez solného stresu

Tabulka 9: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

LSD test; proměnná R FW (g) (kontrola)							
Homogenní skupiny, alfa = ,05000							
Chyba: meziskup. PČ = ,01642, sv = 96,000							
odběr	Varianta	R FW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5
3.	kontrola	0,291111	****				
4.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,295556	****				
2.	kontrola+OMP	0,296667	****				
2.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,347778	****	****			
4.	kontrola+OMP	0,350000	****	****			
3.	kontrola+OMP	0,406667	****	****	****		
1.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,426667		****	****	****	
3.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,444444		****	****	****	
2.	kontrola	0,445556		****	****	****	
1.	kontrola	0,485556			****	****	****
1.	kontrola+OMP	0,526667				****	****
4.	kontrola	0,576667					****

Tabulka 10: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

LSD test; proměnná S FW (g) (kontrola)										
Homogenní skupiny, alfa = ,05000										
Chyba: meziskup. PČ = ,15339, sv = 96,000										
odběr	Varianta	S FW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,060000	****							
1.	kontrola	1,107778	****	****						
1.	kontrola+OMP	1,294444	****	****	****					
2.	kontrola	1,464444		****	****	****				
2.	kontrola+OMP	1,614444			****	****				
2.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,726667				****	****			
3.	kontrola	1,987778					****	****		
3.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2,064444					****	****		
3.	kontrola+OMP	2,181111						****		****
4.	kontrola	2,486667							****	****
4.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2,753333							****	
4.	kontrola+OMP	2,851111							****	

Tabulka 11: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti (FW) kořene a stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

LSD test; proměnná R/S FW (kontrola)								
Homogenní skupiny, alfa = ,05000								
Chyba: meziskup. PČ = ,01111, sv = 96,000								
odběr	Varianta	R/S FW (Průměr)	1	2	3	4	5	6
4.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,106954	****					
4.	kontrola+OMP	0,132751	****	****				
3.	kontrola	0,146917	****	****	****			
2.	kontrola+OMP	0,182370	****	****	****			
3.	kontrola+OMP	0,187871	****	****	****			
2.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,199355	****	****	****			
3.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,230481		****	****	****		
4.	kontrola	0,235641			****	****		
2.	kontrola	0,313988				****		****
1.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,409677					****	****
1.	kontrola+OMP	0,420798					****	
1.	kontrola	0,473936					****	



Tabulka 12: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

LSD test; proměnná R DW (g) (kontrola) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,00005, sv = 96,000								
odběr	Varianta	R DW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5	6
3.	kontrola	0,014578					****	
3.	kontrola+OMP	0,018311	****				****	
1.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,021100	****	****			****	
3.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,021644	****	****	****			
2.	kontrola+OMP	0,021711	****	****	****			
4.	kontrola+OMP	0,023544	****	****	****	****		
2.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,023867	****	****	****	****		
4.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,024367	****	****	****	****		
1.	kontrola	0,026344		****	****	****		
2.	kontrola	0,028078			****	****		****
1.	kontrola+OMP	0,029133				****		****
4.	kontrola	0,033200						****

Tabulka 13: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

LSD test; proměnná S DW (g) (kontrola)								
Homogenní skupiny, alfa = ,05000								
Chyba: meziskup. PČ = ,00108, sv = 96,000								
odběr	Varianta	S DW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5	6
1.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,074733		****				
1.	kontrola	0,076289		****	****			
1.	kontrola+OMP	0,091878		****	****			
2.	kontrola	0,105489			****	****		
2.	kontrola+OMP	0,128800	****			****		
2.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,134556	****			****		
3.	kontrola	0,141322	****					
3.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,151289	****					
3.	kontrola+OMP	0,154122	****					
4.	kontrola	0,191944						****
4.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,230111					****	
4.	kontrola+OMP	0,238411					****	

Tabulka 14: Poměry průměrné hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku v průběhu pokusu u variant OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a kontrola v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (kontrola+OMP) a peroxidu vodíky (kontrola+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou*)

LSD test; proměnná R/S DW (kontrola)					
Homogenní skupiny, alfa = ,05000					
Chyba: meziskup. PČ = ,00693, sv = 96,000					
odběr	Varianta	R/S DW (Průměr)	1	2	3
3.	kontrola	0,105377	****		
4.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,107655	****		
4.	kontrola+OMP	0,108970	****		
3.	kontrola+OMP	0,119152	****		
3.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,150494	****		
2.	kontrola+OMP	0,168292	****		
4.	kontrola	0,173311	****		
2.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,178838	****		
2.	kontrola	0,274857		****	
1.	kontrola+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,294564		****	
1.	kontrola+OMP	0,324235		****	****
1.	kontrola	0,374617			****

### 10.1.2.2 Rostliny v podmínkách solného stresu

Tabulka 15: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení. (Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres+kontrola) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu)

LSD test; proměnná R FW (g) (stres)										
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)										
Chyba: meziskup. PČ = ,02005, sv = 128,00										
odběr	Varianta	R FW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7	8
4.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,271111	****							
3.	kontrola	0,291111	****	****						
1.	stres+OMP	0,368889	****	****	****					
1.	stres+kontrola	0,404444		****	****					
2.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,425556			****	****				
1.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,437778			****	****	****			
2.	kontrola	0,445556			****	****	****	****		
3.	stres+OMP	0,447778			****	****	****	****		
4.	stres+kontrola	0,457778			****	****	****	****	****	
4.	stres+OMP	0,460000			****	****	****	****	****	
1.	kontrola	0,485556			****	****	****	****	****	
3.	stres+kontrola	0,538889				****	****	****	****	****
2.	stres+OMP	0,561111					****	****	****	****
4.	kontrola	0,576667						****	****	****
3.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,586667							****	****
2.	stres+kontrola	0,625556								****

Tabulka 16: Průměrná čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres+kontrola) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu*)

LSD test; proměnná S FW (g) (stres)												
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)												
Chyba: meziskup. PČ = ,19703, sv = 128,00												
odběr	Varianta	S FW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,904444	****									
4.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,038889	****	****								
1.	stres+kontrola	1,041111	****	****								
1.	kontrola	1,107778	****	****	****							
1.	stres+OMP	1,164444	****	****	****	****						
2.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,188889	****	****	****	****	****					
2.	stres+OMP	1,331111		****	****	****	****	****				
2.	kontrola	1,464444			****	****	****	****				
3.	stres+kontrola	1,546667				****	****	****	****			
2.	stres+kontrola	1,587778					****	****	****	****		
3.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,687778						****	****	****	****	
3.	stres+OMP	1,887778							****	****	****	
4.	stres+kontrola	1,930000							****	****	****	
3.	kontrola	1,987778								****	****	
4.	stres+OMP	2,050000									****	
4.	kontrola	2,486667										****

Tabulka 17: Poměry průměrné čerstvé hmotnosti (FW) kořene a stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku ((stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres+kontrola) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu*)

LSD test; proměnná R/S FW (stres)										
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)										
Chyba: meziskup. PČ = ,01935, sv = 128,00										
odběr	Varianta	R/S FW (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7	8
3.	kontrola	0,146917	****							
4.	stres+OMP	0,233184	****	****						
4.	kontrola	0,235641	****	****						
3.	stres+OMP	0,243334	****	****	****					
4.	stres+kontrola	0,249759	****	****	****					
4.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,287716		****	****	****				
2.	kontrola	0,313988		****	****	****	****			
1.	stres+OMP	0,323018		****	****	****	****	****		
2.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,369325			****	****	****	****	****	
3.	stres+kontrola	0,370794			****	****	****	****	****	
1.	stres+kontrola	0,398215				****	****	****	****	****
2.	stres+kontrola	0,404272				****	****	****	****	****
3.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,438315					****	****	****	****
2.	stres+OMP	0,444993						****	****	****
1.	kontrola	0,473936							****	****
1.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,526220								****

Tabulka 18: Průměrná hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres+kontrola) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu*)

LSD test; proměnná R DW (g) (stres)									
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)									
Chyba: meziskup. PČ = ,00005, sv = 128,00									
odběr	Varianta	R DW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7
3.	kontrola	0,014578	****						
4.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,016056	****						
1.	stres+OMP	0,019522	****	****					
1.	stres+kontrola	0,019533	****	****					
3.	stres+OMP	0,020867	****	****	****				
4.	stres+OMP	0,022800		****	****	****			
3.	stres+kontrola	0,023211		****	****	****	****		
3.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,026167			****	****	****		
1.	kontrola	0,026344			****	****	****		
1.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,028033				****	****	****	
2.	kontrola	0,028078				****	****	****	
4.	stres+kontrola	0,029578					****	****	
4.	kontrola	0,033200						****	****
2.	stres+kontrola	0,037189							****
2.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,037244							****
2.	stres+OMP	0,037722							****

Tabulka 19: Průměrná hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxidu vodíku (stres+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres+kontrola) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu*)

LSD test; proměnná S DW (g) (stres)										
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)										
Chyba: meziskup. PČ = ,00139, sv = 128,00										
odběr	Varianta	S DW (g) (Průměr)	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,067967	****							
1.	stres+kontrola	0,071822	****	****						
1.	stres+OMP	0,075933	****	****	****					
1.	kontrola	0,076289	****	****	****					
2.	kontrola	0,105489		****	****	****				
2.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,109367			****	****	****			
2.	stres+OMP	0,123033				****	****			
2.	stres+kontrola	0,128089				****	****			
3.	stres+kontrola	0,135933				****	****	****		
4.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,136411				****	****	****		
3.	kontrola	0,141322					****	****		
3.	stres+OMP	0,165211						****	****	
3.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,170233						****	****	
4.	stres+kontrola	0,188322							****	****
4.	kontrola	0,191944							****	****
4.	stres+OMP	0,221422								****



Tabulka 20: Poměry průměrné hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku v průběhu pokusu při působení solného stresu u variant kontrola, OMP, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou bez zasolení (*Legenda: priming semen pomocí omeprazolu (stres+OMP), peroxid peroxidu vodíku (stres+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a neošetřená semena (stres+kontrola) při působení solného stresu, neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, bez solného stresu*)

LSD test; proměnná R/S DW (stres)								
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)								
Chyba: meziskup. PČ = ,00813, sv = 128,00								
odběr	Varianta	R/S DW (Průměr)	1	2	3	4	5	6
4.	stres+OMP	0,105088	****					
3.	kontrola	0,105377	****					
4.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,123974	****	****				
3.	stres+OMP	0,129174	****	****				
3.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,168034	****	****				
4.	stres+kontrola	0,168174	****	****				
4.	kontrola	0,173311	****	****				
3.	stres+kontrola	0,191560		****	****			
2.	kontrola	0,274857			****	****		
1.	stres+OMP	0,279592				****		
1.	stres+kontrola	0,283742				****		
2.	stres+kontrola	0,304273				****	****	
2.	stres+OMP	0,320165				****	****	
2.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,355522				****	****	****
1.	kontrola	0,374617					****	****
1.	stres+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,426852						****