

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Efekt primingu semen hrachu setého v podmínkách  
vodního stresu**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Valentýna Vavříková**

**Obor studia: Produkční zahradnictví**

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

© 2020 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Efekt primingu semen hrachu setého v podmínkách vodního stresu" 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 neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.07.2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Heleně Hnilíčkové, Ph.D. za odborné vedení, věcné připomínky, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnovala. Mé poděkování patří i PharmDr. Janu Kubešovi, Ph.D. za odborné konzultace a rady, které mi při tvorbě diplomové práce velmi pomohly.

# Efekt primingu semen hrachu setého v podmínkách vodního stresu

## Souhrn

Cílem práce je vyhodnotit efekt primingu semen pomocí omeprazolu na růstu hrachu setého vystaveného vodnímu stresu. Jako pokusný materiál byl vybrán již zmíněný hrách setý (*Pisum sativum* L.), který je důležitou luštěninou z výživového pohledu a má široké využití. Jelikož je jednou z hlavních plodin, která se pěstuje ve velké míře jako levný zdroj bílkovin, je snaha ovlivnit a zmírnit jeho citlivost na vodní stres. Hypotézou experimentu je, že omeprazol pozitivně ovlivňuje růst hrachu v podmínkách vodního stresu.

Experiment byl rozdělen na dvě části. 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). Testovanými kritérii byla klíčivost semen, délka a hmotnost (FW a DW) kořenu a stonku. Na základě výsledků byla zvolena koncentrace pro priming semen. V druhé části se ošetřená semena hrachu vysela do nádobových pokusů a byla vystavena postupnému vodnímu stresu přerušením závlivky. V opakovaných odběrech byl sledován růst nadzemní a podzemní biomasy (FW a DW) v podmínkách se závlahou a v podmínkách vodního deficitu. Pro vyhodnocení experimentu byly vytvořené grafy s pomocí použitých LSD testů a ANOVY.

U laboratorního pokusu, který testoval fytotoxicitu omeprazolu u zvolené koncentrační řady pro priming semen vyšla nejvyšší hmotnost kořene v čerstvé hmotě (FW) a v sušině (DW) u koncentrace 1 mM. Největší hmotnost stonku v čerstvé hmotě (FW) byla u koncentrace 0,5 mM a v sušině (DW) vykazoval stonek největší nárůst hmotnosti u koncentrace 0,01 mM. Na základě všech dílčích výsledků byla zvolena koncentrace pro priming semen OMP 1 mM.

Aplikace omeprazolu v podmínkách vodního deficitu ukázala u kořene v čerstvé hmotě (FW) a hmotnosti sušiny (DW) vyšší hmotnosti oproti ostatním variantám. Ze statistického pohledu se ale neprokázal pozitivní vliv primingu semen při vodním stresu. U čerstvé hmotnosti (FW) stonku se při třetím a čtvrtém odběru ukázal prokazatelně zřejmý pozitivní vliv primingu semen při vodním stresu. Naopak hmotnost sušiny (DW) stonku vykazovala vyšší nárůst hmoty, ale podle statistického vyhodnocení opět neexistoval významný rozdíl.

Celkové zhodnocení může potvrdit, že rostliny ošetřené omeprazolem vykazují větší nárůst hmoty oproti ostatním variantám, rozdíly hmotností nebyly statisticky významné. Pozitivní vliv byl potvrzen pouze u hmotností stonku v čerstvé hmotě (FW). Omeprazol tak má určitý pozitivní vliv na rostliny při působení vodního deficitu.

**Klíčová slova:** omeprazol, hrách setý (*Pisum sativum* L.), vodní stres, priming semen, fyziologie rostlin

# Effect of pea seed priming in water stress conditions

## Summary

The aim of this work is to evaluate the effect of seed priming with omeprazole on the growth of peas exposed to water stress. The already mentioned pea (*Pisum sativum* L.), which is an important legume from a nutritional point of view and has a wide range of uses, was chosen as the experimental material. As it is one of the main crops grown largely as a cheap source of protein, there is an effort to influence and reduce its sensitivity to water stress. The hypothesis of the experiment is that omeprazole positively affects the growth of peas under conditions of water stress. The experiment was divided into two parts. 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 criteria tested were seed germination, length and weight (FW and DW) of the root and stem. Based on the results, the concentration for seed priming was chosen. In the second part, the treated pea seeds were sown into container experiments and exposed to gradual water stress by interrupting the watering. The growth of the above-ground and underground biomass (FW and DW) in conditions with irrigation and in conditions of water deficit was monitored in repeated sampling. To evaluate the experiment, graphs were created using LSD tests and ANOVA.

In a laboratory experiment that tested the phytotoxicity of omeprazole in the selected concentration range for seed priming, the highest weight of the root in fresh matter (FW) and in dry matter (DW) was obtained at the concentration of 1 mM. The largest weight of stem in fresh mass (FW) was at the concentration of 0.5 mM and in dry matter (DW), the stem showed the greatest weight gain at the concentration of 0.01 mM. Based on all partial results, the concentration was chosen for seed priming OMP 1 mM.

Application of omeprazole in water-deficient conditions showed higher fresh weight (FW) and dry weight (DW) of the root compared to other variants. From a statistical point of view, however, the positive effect of seed priming under water stress has not been proven. In the case of fresh weight (FW) of the stem, the positive effect of priming seeds under water stress was demonstrably evident during the third and fourth sampling. On the contrary, the dry weight (DW) of the stem showed a higher increase in mass, but according to the statistical evaluation again, there was no significant difference.

The overall evaluation can confirm that the plants treated with omeprazole show a greater increase in mass compared to the other variants, differences in weight were not statistically significant. A positive effect was confirmed only for stem weights in fresh mass (FW). Omeprazole thus has a certain positive effect on plants due to the water deficit.

**Key words:** omeprazole, pea (*Pisum sativum* L.), water stress, seed priming, plant physiology

## Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>3</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Vodní deficit.....</b>	<b>4</b>
3.1.1 Vodní režim rostliny .....	4
3.1.2 Vodní bilance rostliny.....	7
<b>3.2 Klíčení.....</b>	<b>8</b>
3.2.1 Typy klíčení .....	9
3.2.2 Vnější podmínky klíčení.....	11
3.2.3 Vnitřní podmínky klíčení.....	12
<b>3.3 Stres u rostlin.....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Rozdělení stresorů.....	15
<b>3.4 Vliv vodního stresu na rostliny .....</b>	<b>18</b>
3.4.1 Vliv vodního stresu na klíčení .....	20
3.4.2 Vliv vodního stresu na růst .....	20
<b>4 Metodika .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 Rostlinný materiál.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2 Laboratorní pokus .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3 Skleníkový pokus.....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 Statistické vyhodnocení a zpracování dat .....</b>	<b>30</b>
<b>5 Výsledky .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1 Laboratorní pokus .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2 Skleníkový pokus.....</b>	<b>38</b>
5.2.1 Vliv aplikace omeprazolu a peroxidu vodíku na rostliny v podmínkách se závlahou .....	38
5.2.2 Vliv aplikace omeprazolu a peroxidu vodíku na rostliny v podmínkách deficitu vody .....	45
<b>6 Diskuze .....</b>	<b>52</b>
<b>7 Závěr.....</b>	<b>57</b>
<b>8 Literatura.....</b>	<b>58</b>
<b>9 Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>





# 1 Úvod

Sucho patří mezi hlavní příčiny, které omezují rostlinnou produkci na celém světě. Narušuje a ovlivňuje mnoho pochodů v rostlině, například zpomalení růstu nebo buněčné dělení. Je jedním z abiotických stresorů, které působí na rostlinu. Jeho nástup se dá definovat jako období, kdy rostlina nemá dostatečné množství vody pro své životní procesy. Rostliny rostoucí v přírodním prostředí nebo ve skleníkových podmínkách se vždy setkají s působením abiotických a biotických stresorů, které je mohou nepříznivě ovlivnit a mají za následek snížení výnosů.

Vodní stres má několik účinků na růst rostlin. Účinky vytvořené vodním stresem, které způsobí omezení rozšíření listové plochy, také vedou k inhibici buněčného dělení, inhibici syntézy buněčné stěny a proteinů, akumulaci rozpuštěných látek a uzavření průduchů. Přítomnost vody je nezbytná pro biochemické a fyziologické procesy. Je součástí živé hmoty a je potřebná pro normální běžnou funkci buněk, pletiv a orgánů. Při jejím nedostatku nastává u rostlin vodní deficit. Nedostatkem vody v rostlině dochází k narušení základního fyziologického procesu – fotosyntézy, která je ovlivněna omezeným přísunem CO<sub>2</sub> kvůli uzavření průduchů a sníženou aktivitou enzymů, které se zúčastní fotosyntézy. Za nedostatkem vody stojí nejčastěji klimatické poměry a vývoj počasí. Příjem vody rostlinou také závisí na obsahu živin, obsahu solí v půdě a na průběhu půdních reakcí. Přítomná voda v rostlinách udržuje turgor, který je důležitý při růstu buněk a otevírání průduchů. Při jejím nedostatku trpí nejdříve prodlužovací růst listů a následně fotosyntéza. Na nedostatek vody rostliny reagují různě, vždy podle toho, v jakém vývojovém stádiu se právě nacházejí. Za kritické stádium se nejčastěji označuje generativní fáze rostliny a začátek květu.

Přítomnost vody zajistí klíčení semen, která se po vysušení fyzicky obnoví a navodí trvalou intenzitu metabolismu a dokončí nezbytné buněčné změny, které umožní růst. Klíčení vlastně znamená, že se obnoví metabolická aktivita semen a vede tak k prodlužování buněk kořene a stonku. Dojde-li k poklesu turgoru následkem nedostatku vody během vývoje květenství, nastane snížení počtu květů, a tím se sníží schopnost rostliny rozmnožovat se. Ovlivnění vodním stresem způsobí, že semena nabývají menších velikostí, mají nižší klíčivost a jejich zásobní látky jsou v omezeném množství. Odolnost vůči suchu u vzházejících rostlin se liší na základě složení jejich genotypu. K identifikaci odolnosti druhů vůči suchu se také používají různé metody, které se aplikují na semena v různých koncentracích.

V současnosti se sucho stává vážným problémem. Projevuje se čím dál horší dostupnost vody pro zavlažování. Proto bylo vynaloženo mnoho úsilí při šlechtění rostlin a jejich odrůd, které se s nedostatečným množstvím vody vyrovnají a pořád jsou schopné dosáhnout vysokých výnosů. Priming semen je jedním ze způsobů, jak rostliny ochránit a zlepšit u nich odolnost vůči působení stresorů. Jedná se o ošetření semen různými stimulatory růstu, kde základním cílem je zlepšit klíčivost za specifických podmínek prostředí, jako je například vodní deficit. Jedním z těchto růstových stimulatorů je látka zvaná omeprazol. Omeprazol je humánní léčivo s efektem inhibice protonových pump, které se používá při poruchách trávení. Chemické sloučeniny, které podporují toleranci vůči vodnímu stresu,

jako je omeprazol, vykazaly v posledni dobe slibne vysledky. Omeprazol prokazal, ze muze byt prostredkem, který zvyšuje odolnost rostliny vůči vodnímu stresu.

V této diplomové práci bude zkoumán efekt primingu semen hrachu setého v podmínkách vodního deficitu. Jako pokusný materiál byl vybrán hrách setý (*Pisum sativum* L.), který je důležitou luštěninou pro výživu lidstva a má široké využití. Jelikož je jednou z hlavních plodin, která se pěstuje ve velké míře jako levný zdroj bílkovin, je snaha ovlivnit a zmírnit jeho citlivost na vodní stres. Cílená hypotéza předpokládá, že priming semen omeprazolem zlepší růst rostlin v podmínkách vodního deficitu.

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Vodní stres je v současné době aktuální téma v důsledku předpokládaných klimatických změn. Kromě technologických opatření (např. závlaha) jsou testovány možnosti eliminace vlivu deficitu vláhy na základní fyziologické procesy použitím stimulačních látek, které lze aplikovat např. formou moření před výsevem.

Cílem práce bude vyhodnotit efekt primingu semen omeprazolem na růstu hrachu setého vystaveného vodnímu stresu. Hypotézou experimentu je, že omeprazol pozitivně ovlivňuje růst hrachu v podmínkách vodního stresu.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Vodní deficit

Voda jako taková je pro život na planetě Zemi nedílnou součástí. Je součástí živé hmoty a je potřebná pro normální běžnou funkci buněk, pletiv a orgánů. Její přítomnost je nezbytná pro biochemické a fyziologické procesy. Při nedostatečném množství nastává vodní deficit a každý rostlinný druh na tento deficit reaguje rozdílně.

Vodní deficit neboli nedostatek vody u rostlin se většinou definuje jako část vody, která rostlině chybí do úplného nasycení. Nastává, když rychlost transpirace překračuje absorpci vody (nadměrný výpar vody), a je součástí několika různých stresových faktorů např. sucho, zasolení půdy a nízká teplota (Bray 1997). Celkově se rozlišují tři různé stupně. První stupeň se označuje jako kritický, při kterém rostlina dosáhla plného nasycení bez poškození. Jako druhý stupeň se uvádí subletální deficit, u kterého se začínají projevovat první příznaky poškození. Poslední, stupeň třetí, se nazývá deficit letální. Při tomto deficitu rostlina není schopna dosytit vodu do původní množství (Taiz & Zeiger 2002).

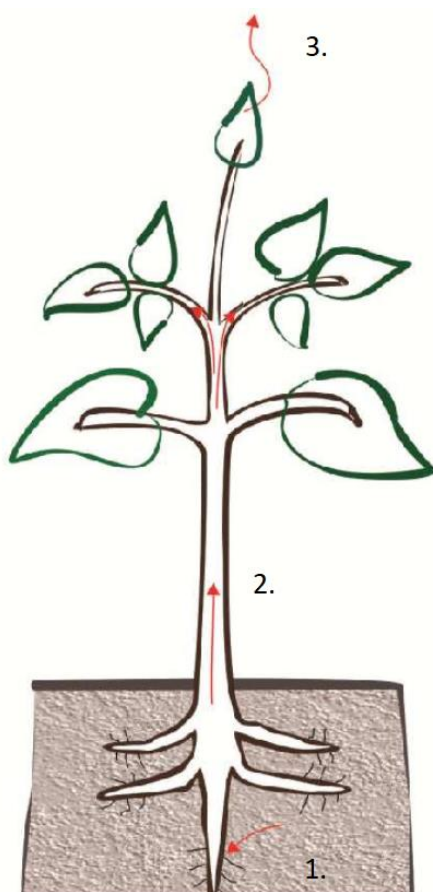
Vodní nedostatek ovlivňuje mnoho pochodů v rostlině, například zpomalení dlouhivého růstu buněk nebo buněčné dělení. Vždy vyvolává snížení turgoru a snížení vodního potenciálu rostlinných pletiv. Tyto změny se projeví nejdříve na listech, jelikož jsou od kořenů v největší vzdálenosti a je zde nejvyšší transpirace (Larcher 2003).

Ovlivnění přítomnosti dostatku vody pro rostliny způsobují již zmíněné stresové faktory (nízká teplota, zasolení půdy a nedostatečný úhrn srážek). Projevení citlivosti rostlin, které vyvolávají působící stresové faktory, se u každého druhu liší. Různé rostlinné druhy jsou jinak citlivé. (Lambers et al., 1998) Podle citlivosti rostlin na sucho se rostliny rozdělují na hygropyty (přizpůsobené rostliny na vysoké množství vody), na mezofyty (průměrná zásoba vody) a na xerofyty (růst rostlin v oblastech s omezením množstvím srážek) (Procházka et al. 1998).

#### 3.1.1 Vodní režim rostliny

Vodní deficit je součástí vodního režimu vody, který se se rozděluje do tří částí. Všechny části jsou mezi sebou propojeny a vzájemně na sebe navazují (obrázek č.1). Jedná se o:

- Příjem vody
- Vedení vody
- Výdej vody



Obrázek č.1: Ukázka průběhu všech tří částí (1. Příjem vody, 2. Vedení vody, 3. Výdej vody) vodního režimu rostliny (Chavarria & Dos Santos 2012).

### **Příjem vody**

Nižší rostliny přijímají vodu celým povrchem těla přes stélky pomocí kapilárních sil. Vodu získávají z vlhkých substrátů nebo povrchem vlastního těla, kdy dojde k jeho navlhčení pomocí deště, mlhy nebo rosy. Dojde-li k nasycení vodou u lišejníků, rašeliníků a plodnic hub, může se zvětšit jejich objem až 15krát oproti suchému stavu. U cévnatých rostlin probíhá ochrana proti výparu vody pomocí kutikuly. Příjem vody pro rostlinu za pomoci kořenů a mimokořenový příjem probíhá u vyšších rostlin (Larcher 2003). Nasátí vody kořeny z půdy proběhne, jen když má vodní potenciál kořenového vlášení větší absolutní hodnotu oproti vodnímu potenciálu půdního roztoku. Jak rychle proběhne příjem vody závisí na absorpčním povrchu kořenové soustavy a také na míře snadného odebrání vody z půdy kořeny (Hopkins & Hüner 2008).

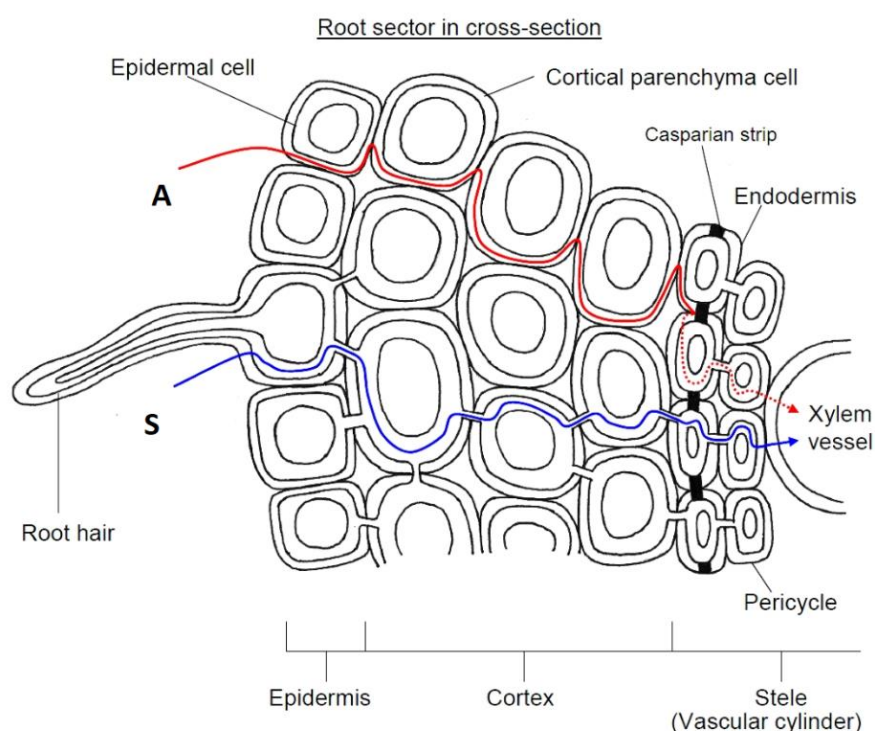
Dále dostupnost vody závisí na typu půdy, kdy v písčitéch půdách s velkými póry se vedení vody snadno přeruší. Naopak v jílovitých půdách, které mají jemné kapilární póry, se voda přesouvá i při velmi nízkém vodním potenciálu, ale její pohyb je pomalý a probíhá v krátkých vzdálenostech. Při vyčerpaném množství okolní vody se kořeny rozrůstají a hledají další zdroj vody (Lambers et al. 1998). Intenzita příjmu vody je také podmíněna teplotou půdy, provzdušňováním, hodnotou pH, přítomností toxických látek atd. Ačkoli chladná půda obsahuje dostatek vody, přijde rostlinám fyziologicky suchá. Pro normální fungování a růst kořenového systému je nutný dostatečný obsah kyslíku v půdě. Bez

přítomnosti kyslíku v půdě se zastavuje dýchání kořenů. Příjem vody kořeny je také snížen, když půda hromadí velké množství oxidu uhličitého. Hromadění vysokých koncentrací solí v půdě též negativně ovlivňuje absorpci vody (Duca 2015).

## Vedení vody

Přemísťování vody v rostlině postupuje podle gradientu vodního potenciálu. Vedení vody začíná pohybem vody kořenem a poté se voda dostává z kořene do nadzemní části rostlin.

Základem vedení vody kořenem je pohyb přes volné prostory v buněčné stěně a mezibuněčném prostoru, tzv. vedení vody apoplazmatickou cestou. Tok vody z epidermisu do xylému v cestě překáží Caspariho proužky, které se nachází v buněčných stěnách u endodermisu. Buněčné stěny obsahují látky, které jsou podobné vosku a zabraňují průniku vody do pletiv. Stávají se tak nepropustné pro vodu (Duca 2015). Další z cest pro vedení vody je cesta přes symplast, tedy přes systém složený z protoplastů buněk, který je propojen plazmodezmami. Poslední možnost vedení vody probíhá osmotickými silami z vakuoly do vakuoly (Taiz & Zeiger 2002). Příjem a vedení vody kořenem je znázorněn na obrázku č. 2.



Obrázek č. 2: Zobrazení způsobu příjmu a vedení vody kořenem, A – příjem vody apoplastem, B – tok vody symplastem (Free Encyclopedia for Students-Learn with Ease 2014).

Veškeré soubory cévnatých rostlin obsahují cévní svazky, které spadají do systému vodových pletiv. Cévní svazky se skládají z dřevní části neboli xylému a z lýkové části, floému. Xylém slouží k transportu vody a minerálních látek. Floém transportuje asimiláty. Cévy a

cévice jsou v xylému vodivými pletivy, kterými na jejich koncích proniká voda do parenchymu (Procházka et al. 1998).

### **Výdej vody**

Výdej vody rostlinami probíhá transpirací (vypařováním) a gutací, kdy se voda z rostliny ztrácí v kapalně formě. Rostlina si z přijatých vodních roztoků ponechá jen malé množství vody (okolo 2 % vody), zbylou část vody (asi 98 %) vydá do vnějšího prostředí pomocí transpirace nebo gutace (Nobel 2009).

Gutace vzniká kořenovým vztlakem za určitých teplotních a vlhkostních podmínek. Kořenový vztlak je jeden ze způsobů, kterým se zabezpečuje pohyb vody v rostlině. Ztráta vody z rostliny v kapalně formě se projevuje v podobě vodních kapiček na okrajích listů. Avšak význam na vodní bilanci u rostlin je velmi malý (Kathpalia & Bhatla 2018).

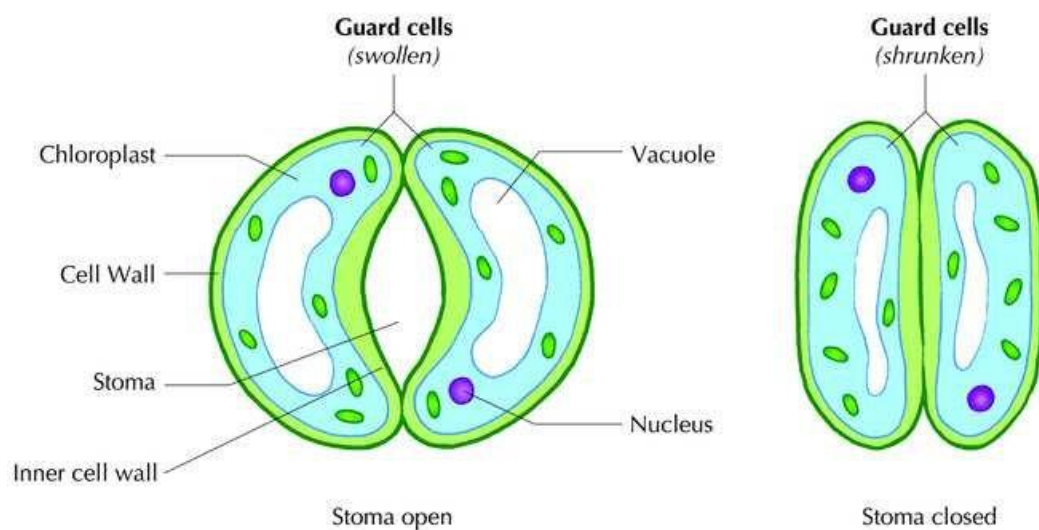
Naopak velice významný je výdej vody rostlinou v plynné formě. Transpirace podléhá fyzikálním procesům, kde probíhá výpar vody do okolní atmosféry z vlhkých povrchů. List je základním orgánem, kde probíhá fotosyntéza, a je hlavním orgánem pro odstraňování vody pomocí transpirace (Duca 2015). Pojem transpirace se rozděluje na stomatární a kutikulární. Při stomatární transpiraci probíhá výdej vody přes průduchy, které se nachází v pokožce listu. Jsou hlavním zařízením pro výdej vody rostlinou. Otevřené průduchy umožní výměnu až 95 % objemu plynů mezi listem a okolní atmosférou. Pomocí průduchů je rostlina schopna se adaptovat okolnímu prostředí podle působících faktorů v podobě změny velikosti průduchové štěrbin. Jsou tak schopny ovlivnit příjem a výdej plynů, ale i rychlosti metabolických procesů v rostlině. Výdej vody z kutinizovaného povrchu, což znamená výdej mimo průduchy, se nazývá kutikulární transpirace. Probíhá přes póry, otvory a ektodermu v pokožce listů, stonků a větví. Její podíl z celkové transpirace je malý, avšak podíl mezi stomatární a kutikulární transpirací se mění podle druhů rostlin a ekologického prostředí (Hopkins & Hüner 2008).

### **3.1.2 Vodní bilance rostliny**

Vodní bilance u rostlin je vyrovnávání hodnoty vody v určité míře, při které rostlina dokáže provozovat všechny důležité procesy pro svůj životní cyklus. Je vyjádřena jako rozdíl mezi rychlostí příjmu vody a rychlostí její ztráty. Rovnováha vodní bilance nastává, když se vyrovná rychlost příjmu, vedení a výdeje vody. Přestane-li příjem vody vyrovnávat potřebu vody pro její výdej, nastává již zmíněný vodní deficit (Taiz & Zeiger 2002).

Při nedostatku vody se rostlina snaží ochránit zpomalením rychlosti transpirace a to tak, že zúží štěrbinu průduchu, aby příjem a výdej vody pokračoval stejně rychle. Nastane-li převaha kladné hodnoty vodní bilance na krátkou dobu, nastaví se nová rovnováha. Pohyb mezi kladnou a zápornou hodnotou vodní bilance u rostlin se neustále mění (Nobel 2009). Krátkodobý pokles vody se projevuje při vzájemně působících mechanismech, které mají za úkol řídit vodní pochody u rostlin, viz opatření pomocí zúžení štěrbin průduchů (obrázek č. 3). Dlouhodobý pokles je z celkového pohledu významnější. Odchytky vodní bilance nastávají v průběhu dne, kdy u rostlin na přirozených stanovištích je přes den hodnota vodní bilance záporná a obsah vody potřebný pro rovnováhu se obnovuje až večer. V období sucha se požadovaný obsah vody úplně nedoplní ani za celou noc.

Narůstá tak vodní deficit, který v konečném důsledku může způsobit úhyn rostliny (Lambers et al. 1998).



Obrázek č. 3: Otevřený a zavřený průduch (Goosen-Aurecon 2015).

Rostliny se z pohledu vodní bilance mohou rozdělovat na dvě skupiny. Jako první jsou rostliny hydrostabilní, které v pletivech udržují prospěšný obsah vody skoro celý den. Vodní bilance u těchto rostlin nestoupá do kladných hodnot, ale ani neklesá do hodnot záporných. Průduchy jsou na nedostatek vody velmi citlivé a kořenové systémy vytváří velké plochy. Stabilizaci vody zajišťuje přítomnost zásobních orgánů, kde se voda ukládá. Voda je také uložena v kořenech, v kůře kmenů a v listech. Do této skupiny patří stromy, sukulenty, některé trávy a stínomilné rostliny. Hydrolabilní rostliny snášejí rychle a velmi rozdílné výkyvy vodního potenciálu bez známek poškození. Dochází u nich k velkým ztrátám vody a vysokému zvyšování koncentrace buněčného roztoku. Řadí se sem mnoho druhů bylin, které najdeme na slunných stanovištích (Larcher 2003).

### 3.2 Klíčení

Pojem klíčení znamená, že se metabolická aktivita semen obnoví a vede tak k prodloužení buněk radikuly a hypokotilu embrya. Semeno se po vysušení díky přítomnosti vody fyzicky obnoví, navodí trvalou intenzitu metabolismu a dokončí nezbytné buněčné změny, které umožní růst zárodku. Jde o přeměnu ze semene na rostoucí rostlinu (Bewley 1997). Vývoj semen zahrnuje buněčné dělení a diferenciaci embryí, což vede k tvorbě embryonálních orgánů. Tím je dosaženo dozrání semen, včetně tvorby orgánů a ukládání živin, jakož i změn velikosti a hmotnosti embryí, po nichž následuje získání tolerance k vysušení (Miransari & Smith 2014).

Klíčení začíná příjmem vody a končí prodloužovacím růstem radikuly v embryu. Ukončení dormance (vegetačního klidu) je jednou z hlavních podmínek umožňující vyklíčení semen. Dormance u semen je proces, který neumožňuje, aby došlo k vyklíčení nepoškozeného semene



s velmi dobrou klíčivostí. Brání klíčení i za příznivých podmínek prostředí. Vegetační klid je určen přítomnými geny jedince a také schopností adaptovat se danému prostředí. Po ukončení dormance začnou semena bobtnat. I odumřelá semena mohou bobtnat, ale nedojde u nich k vyklíčení. Proces bobtnání navodí u semen začátek dýchání a povzbudí jejich enzymatickou a hormonální aktivitu, která zorganizuje rezervní látky ze zásobních orgánů. Rezervní látky uložené v zásobním orgánu semen se využívají k výživě embrya, které začalo klíčit (Procházka et al. 1998). Semeno nasákne vodu ve třech fázích. Fáze první tzv. fáze vlastního bobtnání, probíhá velice rychle a intenzivně. Následuje fáze druhá a fáze třetí, které se nazývají fází viditelnou. Zárodečný kořínek se prodlouží a proroste svrchní obalovou vrstvou semene (Bewley 1997). Nemá-li semeno dostatek přijatelných podmínek k vyklíčení, zůstává v dormanci. Jak již bylo popsáno, dormance semen je mechanismus, kterým semena mohou inhibovat jejich klíčení a počkat tak na příznivější podmínky. Kyselina abscisová a gibereliny jsou nezbytné pro iniciaci dormance u klíčících semen. Jejich vzájemná rovnováha předurčuje schopnost semene klíčit nebo určuje způsoby nezbytné pro zrání semen (Miransari & Smith 2014).

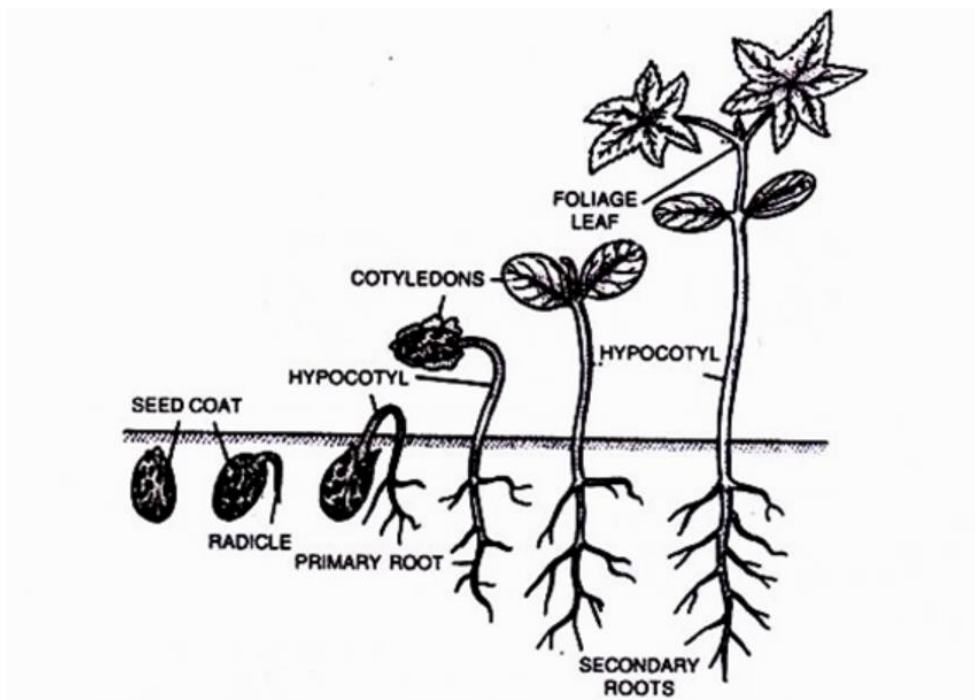
### **3.2.1 Typy klíčení**

Při počátku klíčení se jako první vyvíjí kořínek, který brzdí růst nadzemní částí rostliny. U dvouděložných rostlin se klíčení rozděluje na:

- Epigeické neboli nadzemní
- Hypogeické neboli podzemní

#### **Epigeické klíčení**

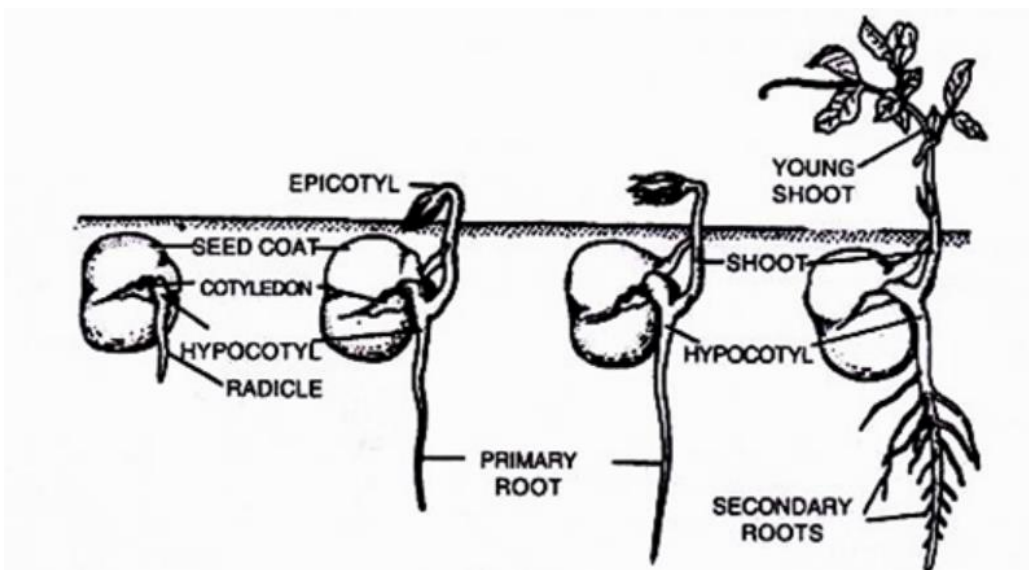
Klíčení při, kterém rozrůstající se hypokotyl vynese vzniklé dělohy nad povrch země a ty se tak stávají prvními asimilačními orgány. Proto označení nadzemní klíčení. Do této skupiny se například řadí tykev, buk nebo len (Procházka et al. 1998). Epigeické klíčení je znázorněno na obrázku č. 4.



Obrázek č. 4: Znázornění průběhu epigeického klíčení semen (Biology Discussion 2012).

### Hypogeické klíčení

U tohoto klíčení zůstávají dělohy pod povrchem země a stávají se tak zásobními orgány pro počáteční růst klíčících rostlin. Klíčící lodyžka je součástí nadděložního článku (epikotylu) a hypokotyl dosahuje jen malého vzrůstu. Dělohy u tohoto typu klíčení zabraňují růstu úžlabních děložních pupenů. V této skupině najdeme rostliny jako je hrách, bob, dub nebo mandloň (Procházka et al. 1998). Hypogeické klíčení je znázorněno na obrázku č. 5.



Obrázek č. 5: Znázornění průběhu hypogeického klíčení (Biology Discussion 2012).

### 3.2.2 Vnější podmínky klíčení

K tomu, aby mohlo proběhnout klíčení u rostlin, musí být následující faktory v rovnováze a nepůsobit na jednotlivé procesy klíčení svými negativními vlivy. Faktory ovlivňující klíčení:

- Voda
- Teplota
- Vzduch
- Světlo

#### Voda

Klíčení je složitý proces, během kterého se semeno musí rychle zotavit z vyschnutí, obnovit intenzivní metabolismus, dokončit podstatné buněčné jevy pro obnovení embrya, a připravit se na další růst semenáček. Brzy po zahájení tohoto procesu a vstřebání vody semenem, dochází k opětovnému nastolení metabolismu (Nonogaki et al. 2010).

Důležitou součástí pro uskutečnění počátku bobtnání je voda. Nejlépe propustná část pro vodu v osemení je okolo pupku semene. Absorpce vody je v této fázi nasávání nejrychlejší, příjem vody se zvyšuje se stoupající teplotou a není závislý na životních procesech semene. Nastává nepřímá závislost příjmu vody na osmotickém tlaku. Stoupne-li hodnota obsahu vody v embryu nad 60 %, začnou se v semenu oživovat metabolické procesy, které zajistí objemový růst buněk uložených v embryu. Pomocí přijaté vody se transportují organické sloučeniny uložené v zásobních orgánech semene. Navýšení rychlosti příjmu vody nastane, když kořínek embrya projde osemením (Kathpalia & Bhatla 2018).

Příznivé působení vody na klíčení semen zajistí vyvolání biochemických procesů a také vyplavení inhibičních látek bránících klíčení semen. Opakem příznivého působení mohou být retardanty, příliš zasolená půda ale i již zmiňovaný vodní deficit (Procházka et al. 1998). Mezi nejvýznamnější faktory, které ovlivňují zemědělskou produkci po celém světě, je sucho. Bez dostatečného množství vody často neproběhne klíčení rostlin. Nedostatek vody zpomaluje klíčivost semen a následný počátek klíčení a růstu rostlin (Miransari & Smith 2014).

#### Teplota

Rostlina ke svému rozšiřování potřebuje splnit své požadavky na kvetení, zrání a klíčení semen. Rozhodně nestačí schopnost přežít extrémní podmínky, a přitom provozovat vegetační funkce (Nobel 2009). Správná teplota pro klíčení se liší podle sledovaného druhu, stáří semen a podle okolního prostředí. Liší se hlavně kardinální teplotní body, které představují teplotní minimum, optimum a maximum. Semena uplatňují ke svému zrání více tepla než k samotnému vegetativnímu růstu. Některá semena vyžadují pokles teplot na určitou mez pro odbourání inhibičních látek, které zabraňují klíčení. Tento proces se nazývá stratifikace. Rostliny pocházející z chladnějších a sušších oblastí osidlují své okolí semen. Jedná se o rostliny převážně výtrusné, u kterých se minimálně vytváří reprodukční orgány. Oproti tomu rostliny na stanovištích s kratším a chladnějším vegetačním obdobím se udržují ve

svém okolí pomocí tvorby oddenků, odnoží nebo jiným vegetativním způsobem množení (Larcher 2003).

Pro distribuční ekologii je proces klíčení velmi důležitý. Základní teploty pro klíčení semen se musí udržet v rovnováze se všemi vnějšími podmínkami, aby došlo k rychlému rozvoji a růstu mladých rostlin (Miransari & Smith 2014).

## **Vzduch**

Příjem vody semenem způsobí zvýšení intenzity dýchání. Při oxidační fosforylaci se získává energie potřebná pro klíčení. Kyslík a jeho přítomnost v půdě je pro klíčení velmi důležitá. Požadavky na hodnoty přítomného kyslíku se opět liší podle druhu rostlin, podle velikosti semen a tím spojená hloubka setí. Dalšími z faktorů jsou fyzikální vlastnosti půdy (Kathpalia & Bhatla 2018).

## **Světlo**

Další faktor, který ovlivňuje život na Zemi, je světlo. Přítomnost světla není vždy podmínkou pro klíčení. Existují rostliny, které vyžadují pro klíčení jejich semen tmu. Avšak pro většinu rostlin a jejich rychlejší klíčení je přítomnost světla velmi příznivá (Kathpalia & Bhatla 2018). Nedostatek světla a jeho negativní dopad na klíčení se projevuje u hluboko uložených semen v půdě, kam světelné záření nepronikne. Klíčení též ovlivňuje spektrální složení dopadajícího světla, obzvláště červená a modrá oblast viditelného záření. Větší význam při klíčení semen má oblast červená nežli modrá (Lambers et al., 1998). Rostlinám, kterým světlo klíčení stimuluje, se červená oblast viditelného záření (fytochrom) nachází v nízké hladině nebo je úplně neaktivní. Světlo je tak nezbytné pro vznik požadované úrovně jeho aktivní formy. Naopak semena u rostlin, které světlo klíčení inhibuje, je úroveň aktivní formy fytochromu v dostatečné míře a samotné ozáření může jeho požadovanou úroveň snížit (Chory et al. 1996).

Červená oblast dopadajícího viditelného záření ovlivňuje klíčení semen u každého rostlinného druhu v jiné míře. Semena rostlin rostoucí na otevřených stanovištích a lesních mýtinách při nedostatku světla neklíčí. Pouze intenzita a kvalita světla při klíčení semen rostlin nezaručí ty nejlepší požadavky pro tento proces, ale je také třeba brát v potaz teplotu při klíčení a podmínky, kterými si semeno nebo mateřská rostlina prošla v předchozí době (Larcher 2003).

### **3.2.3 Vnitřní podmínky klíčení**

Mezi vnitřní podmínky, které ovlivňují klíčení semen, patří například míra propustnosti povrchových vrstev semen. Tu může ovlivnit různorodá pevnost osemení, špatně vyvinuté embryo, vliv mateřské rostliny a obsah přítomných inhibičních látek.

Vysoká pevnost osemení neumožňuje prostupnost vody, kyslíku a oxidu uhličitého. To způsobí, že embryo není schopno růstu. U takto tvrdých semen se navozuje bobtnání narušením jejich osemení za pomoci kyseliny sírové nebo skarifikací, kdy se obrušuje osemení například v písku. Některá semena dozrávají až oddělením od mateřské rostliny a nesmějí po dobu vyzrávání zaschnout. Dojde-li k zaschnutí dřívě, než se embryo dostatečně vyvine, semeno nikdy nezačne klíčit. Klíčení semen ovlivňují i podmínky,

za kterých mateřská rostlina rostla (již zmíněné vnější podmínky – vodní stres, teplota, dostatek slunečního záření, které na mateřskou rostlinu působily v době zrání semen) (Procházka et al. 1998).

Mezi nejdůležitější parametry regulující procesy změn v semenech na molekulárních úrovních, včetně změn proteinů a hormonů, patří rovnováha mezi kyselinou abscisovou (ABA) a gibereliny (Miransari & Smith 2014). Dormance semen je mechanismus, kterým semena mohou inhibovat jejich klíčení a počkat tak na příznivější podmínky. ABA a gibereliny jsou nezbytné pro iniciaci dormance u klíčících semen. Jejich vzájemná rovnováha předurčuje schopnost semene klíčit nebo určuje způsoby nezbytné pro zrání semen. Zatímco ABA určuje dormanci osiva a potlačuje klíčení semen, gibereliny jsou nezbytné pro klíčení semen (Brewley et al. 2012). I přesto, že je semeno v dormanci, mohou hormony ovlivnit morfologické a strukturální charakteristiky rostliny (endosperm, oplodí a plášť semen), ale i její samotný vývoj (Duca 2015). Jak ethylen, tak i gibereliny ovlivňují růst radikuly, přičemž gibereliny jsou významnější. Jsou nezbytné pro produkci mananázy, která je nezbytná pro klíčivost semen. Nepřítomnost důležitých giberelinů může být nahrazena ethylenem, působí totiž velmi podobně. Děje se tak převážně u mutantů, kde jsou semena schopna vyklíčit i za takovéto situace (Miransari & Smith 2014).

### 3.3 Stres u rostlin

Stres u rostlin je změněný fyziologický stav způsobený faktory, které mají sklon měnit rovnováhu všech metabolických procesů v rostlině (Shao et al. 2008). Larcher (2003) definoval stres rostlin jako stav, ve kterém rostoucí požadavky na rostlinu vedou k počáteční destabilizaci funkcí, následovanou normalizací a zlepšenou odolností, a pokud jsou meze tolerance překročeny a adaptivní kapacita je přepracovaná, výsledkem může být trvalé poškození nebo dokonce smrt.

Prvním projevem stresového stavu rostliny může být pokles jedné nebo několika fyziologických funkcí, jako je výkon fotosyntézy, transport metabolitů nebo absorpce a translokace iontů. Díky tomuto poklesu metabolických aktivit se rostliny odchylují od svého normálního fyziologického standardu a v důsledku toho klesá jejich vitalita. K akutnímu poškození a stárnutí dojde rychle u rostlin, které mají málo vyvinutou nebo nemají žádnou toleranci vůči stresu, a mají tedy minimum minimálního odporu. V této alarmové fázi však většina rostlin aktivuje mechanismy pro zvládnutí stresu, jako je aklimatizace metabolických toků, aktivace opravných procesů a procesů dlouhodobé metabolické a morfologické adaptace (Lichtenthaler 1998).

Rostliny rostoucí volně v přírodě se setkávají s působením více stresů najednou, jen málokdy na rostlinu působí jen jeden stres. Většinou působí více stresových faktorů, jakými jsou vysoká teplota s nedostatkem vody či nadměrné slunečné ozáření. Reakce rostliny na stres závisí na konkrétním druhu a stádiu organismu. Také záleží, jak dlouhé bylo působení stresu a v jaké intenzitě, dále se bere v potaz i schopnost rostliny přizpůsobit se stresovému prostředí. Jelikož rostliny nemají schopnost a možnost přesunu na jiné místo, byly si nuceny vytvořit mechanismy, pomocí kterých se brání stresovému prostředí. Jedná se o vytvoření trnů a ostnů, které chrání před okusem zvěře nebo silná vrstva pokožky chránící před nadbytečným výparem,

vytvoření zásobních orgánů, které mají schopnost uchovávat v sobě vodu pro období sucha a dále také vytvoření trichomů, které chrání před nadměrným působením slunečního záření. Reakce tohoto typu lze zařadit do pasivních odolností, tedy způsobu prevence, jak se stresu vyhnout. Mezi aktivní odolnost patří reakce, které probíhají v organismu poté, co byl zasažen stresovým působením (Hnilička & Středa 2016).

Můžeme rozlišovat čtyři fáze stresových reakcí u rostlin. Před vystavením stresu jsou rostliny v určitém standardním fyziologickém stavu, který je optimální v určitém rozmezí stanovenými růstovými, světelnými, vodními a minerálními podmínkami svého okolí. Jednotlivé fáze postupně reagují na působící stres nebo stresory od jejich začátku až po jejich odstranění a následnou regeneraci, pokud poškození není příliš závažné. Tyto čtyři fáze stresových reakcí u rostlin jsou následující:

1. Fáze reakce: poplašná reakce

- odchylka funkční normy
- pokles vitality
- katabolické procesy převyšují anabolismus

2. Restituční fáze: fáze odporu

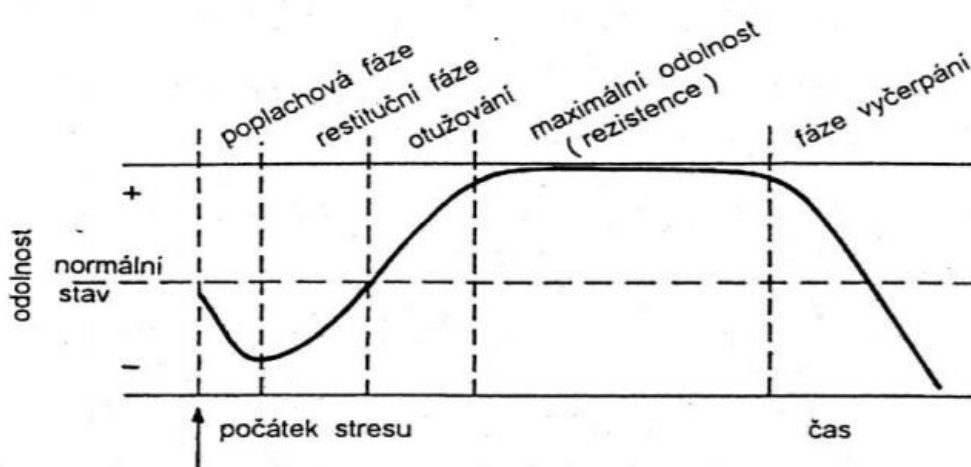
- adaptační procesy
- opravné procesy
- kalení (reaktivace)

3. Fáze rezistence: mechanismy směřují ke zvýšení odolnosti proti působícím faktorům

4. Konečná fáze: fáze vyčerpání

- příliš vysoká intenzita stresu
- přebití adaptační kapacity
- chronické onemocnění nebo smrt

V lepším případě nastává částečná nebo úplná regenerace fyziologické funkce, kdy je stresor odstraněn a poškození nebylo příliš vysoké (Lichtenthaler 1998). Všechny čtyři stresové fáze a jejich průběh jsou znázorněny na obrázku č. 6.



Obrázek č. 6: Průběh stresové reakce (Larcher 2003).

Působení stresorů může být pozitivní, tedy chtěné, například u jevu nazývaný jarovizace, kdy se působením nízkých teplot podmiňuje průběh důležitých morfogenetických procesů (u klíčení a zakládání květních orgánů). Díky tomuto jevu se u některých rostlin zvyšuje reprodukční schopnost.

### **3.3.1 Rozdělení stresorů**

V průběhu svého života je rostlina zasažena působením vlivům vnějšího prostředí, které mohou zpomalit jejich metabolické procesy, poškodit některé orgány nebo vést k úhynu rostliny (obrázek č. 7). Nepříznivé vlivy vnějšího prostředí, které působí na rostlinu, jsou označovány jako stresové faktory neboli stresory. Pojem stres je používán pro celkové označení stavu rostliny, ve kterém se díky působení stresorů nachází. Rostlina se považuje za zdravou, pokud je její genetické složení kompletní a je bez škodlivých mutací. Dokud zůstávají podmínky (teplota, vlhkost půdy nebo dostatek vody) v normálních mezích pro konkrétní druh a pokud je prostředí bez mikroorganismů a jiných organismů, které poškozují nebo jinak narušují normální funkce zdravé rostliny, probíhají v rostlině normální funkce. Pokud je možné tyto funkce provádět v rámci běžných hodnot předepsaných genetickým materiálem dané rostliny, rostlina je považována za zdravou a roste normálně (Thomas et al. 2016). Střetem se stresory vnějšího prostředí abiotických nebo biotických faktorů rostlina onemocní. V nemocném stavu nemůže rostlina normálně růst, produkuje menší výnos nebo nižší kvalitu. Stresory vnějšího prostředí se rozdělují na abiotické (fyzikálně-chemické) a biotické faktory (živé organismy), které působí na jednotlivé organismy (Cramer et al. 2011). Rozdělení stresorů vnějšího prostředí je znázorněno v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Rozdělení stresových vnějších faktorů (Procházka et al. 1998).

<b>ABIOTICKÉ FAKTORY</b>	<b>FYZIKÁLNÍ</b>	Mechanické účinky větru
		Nadměrné záření (UV, viditelné)
		Extrémní teploty (horko, chlad, mráz)
	<b>CHEMICKÉ</b>	Nedostatek vody
		Nedostatek kyslíku (hypoxie, anoxie)
		Nedostatek živin v půdě
		Nadbytek iontů solí a vodíku v půdě
		Toxické kovy a organické látky v půdě
		Toxické plyny ve vzduchu
<b>BIOTICKÉ FAKTORY</b>	Herbivorní živočichové (spásání, poranění)	
	Patogenní organismy (viry, mikrobi, houby)	
	Vzájemné ovlivňování (alelopatie, parazitizmus)	

### Abiotické faktory

Abiotické faktory vnějšího prostředí jsou dnes velmi problematické téma, zvláště jedná-li se o růst a produktivitu rostlin. Abiotické faktory, jakými jsou sucho, slanost a extrémní teploty, jsou zodpovědné za obrovské ztráty plodin na celém světě (Athar & Ashraf 2008). Z fyziologických procesů je těmito stresory nejsilněji ovlivněna fotosyntéza. Pokles fotosyntetické kapacity rostlin v důsledku působících stresorů je přímo spojen se snížením výtěžku. Další výzkumy a tím získané informace o reakcích rostlin a adaptačních metodách, které používají k záchraně fotosyntetických procesů, velmi pomáhají při vývoji nových kulturních plodin tak, aby byly schopné dosáhnout vyšších výnosů i ve stresovém prostředí (Singh & Thakur 2018). Mezi příklady působení abiotických stresových faktorů lze zařadit reakce rostlin na vysoké a nízké působení teplot, vodní stres, nedostatek kyslíku v půdě nebo nedostatečné či nadměrné ozáření.

Extrémně nízké teploty zpomalují nebo úplně narušují normální buněčné funkce, zatímco extrémně vysoké teploty je urychlují a přispívají k jejich nefunkčnosti. Vystavení rostliny mrazivým teplotám pod určitý bod způsobí, že obsah rostlinných buněk zamrzne a zpomalí nebo vyvine poškození mrazem v některých, nebo ve všech tkáních a orgánech. I při teplotách okolo nuly (působení chladu) se rychlost buněčných funkcí snižuje (Ruelland 2017). Podobně je to i u rostlin vystavených vyšším teplotám, než je jejich tolerantní



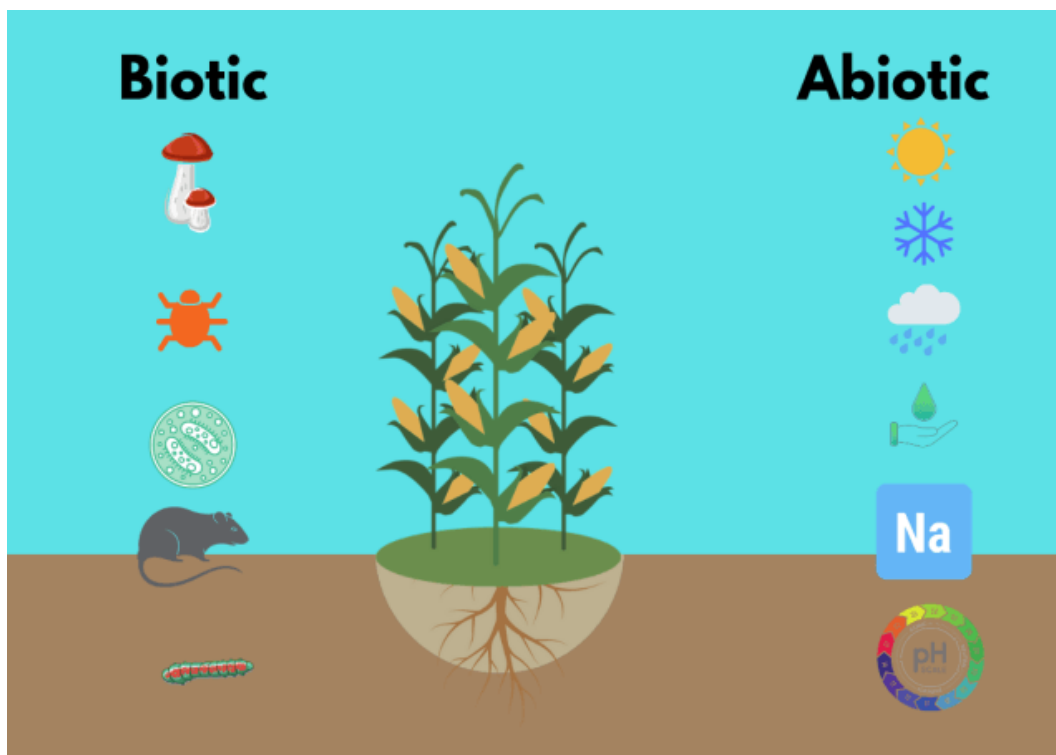
hranice. Rostlinné enzymy a hormony se hyperaktivují, buněčné funkce jsou neobvykle zrychleny a později dochází k narušení, což vede k poruše a smrti postižených buněk, orgánů nebo celé rostliny. Nadměrně nízká vlhkost zpomaluje, a nakonec znemožňuje normální biochemické reakce v buňkách. Nadměrně vysoká půdní vlhkost vylučuje kyslík z půdy, který se tak stává nedosažitelným pro kořeny (Thomas et al. 2016). Všechny normální funkce buněk rostlin jsou prováděny za přítomnosti vody. Snížení množství vody pod určitou úroveň způsobí, že rostlina vadne a zemře. Na druhou stranu, protože všechny buňky vyžadují kyslík, aby prováděly dýchání a produkovaly energii, půda plně nasycená vodou drasticky ovlivňuje kořeny rostlin, které se dusí a umírají. Takové rostliny zůstávají malé, hnědnou a nakonec zemřou (Athar & Ashraf 2008). Extrémně nízké světlo neumožňuje rostlinám provádět fotosyntézu a produkovat vhodné hormony a rostlina tak není schopna normální funkce. Extrémně vysoké světlo bývá v přírodě neobvyklé, ale za určitých okolností jsou rostliny poškozeny nadměrným ultrafialovým zářením (Singh & Thakur 2018).

### **Biotické faktory**

Rostliny jsou neustále vystaveny biotickým faktorům vnějšího prostředí. Mezi tyto faktory je možné řadit napadení bakteriemi, viry, houbami, býložravci a parazitickými rostlinami. Interakce mezi rostlinami a mikrobi, které jsou základem patogeneze a obranných programů, byly studovány jak z rostlinného, tak z mikrobiálního hlediska. Bylo identifikováno a signalizováno mnoho genů zapojených do patogeneze a ochrany rostlin (Maffei et al. 2004).

Na rozdíl od zvířat jsou rostliny zakořeněny v půdě, a proto nemohou uniknout nepříznivým podmínkám prostředí v jejich okolí. Musí vyvinout strategie, kterými se přizpůsobí nepřátelským podmínkám, aby přežily a dále rostly (Lal et al. 2018). Biotické interakce rostlin nejsou vždy škodlivé, mohou být také prospěšné. Vzájemné ovlivňování rostliny a opylovače, rhizobizních bakterií a luštěnin nebo mykorrhizní interakce jsou příklady, z nich mají prospěch oba členové této asociace. Při interakcích rhizobizních bakterií a luštěnin poskytuje hostitelská rostlina živiny, které jsou potřebné pro růst prokaryoty, zatímco prokaryota poskytují hostitelské rostlině dusík. Na základě této koncepce stresu je jasné, že rostlina může růst pod napětím dlouhodobě bez akutního poškození (Lichtenthaler 1998).

Existuje ale i škodlivé biotické vzájemné ovlivňování mezi rostlinami a jinými organismy. Řadí se sem interakce rostliny s patogeny a parazitní asociace mezi rostlinami. Patogeny u rostlin jsou organismy, které najdeme uvnitř rostliny, kde tráví část svého životního cyklu nebo ho dokončují (Chhapekar et al. 2018). Jsou jimi mikrobiální patogeny – viry, bakterie nebo houby. Mezi škůdce, kteří škodí na povrchu rostliny a způsobují tím její poškození, se řadí hmyz, hlístice, býložravci nebo jiní savci. Způsobují poškození rostlin tím, že požívají jejich vegetativní tkáň, ovoce nebo semena. Některé rostliny mohou inhibovat jiné rostliny, které rostou v jejich blízkém okolí. Růst je inhibován pomocí chemikálií, které vyprodukovala sousední rostlina. Tento jev se nazývá alelopatie (Lal et al. 2018).



Obrázek č. 7: Stresové faktory vnějšího prostředí působící na rostlinu (Blox Grow 2017).

### 3.4 Vliv vodního stresu na rostliny

Sucho je jedním z abiotických stresorů, která působí na rostlinu. Jeho působení je často doprovázeno dalšími stresory, například vysoké nebo nízké teploty, vysoké nebo nízké záření a nedostatek kyslíku. Působení všech stresorů najednou má za následek špatné rozpoznání, zdali se konkrétně jedná o vodní stres, který působí na rostliny, či jiný ze stresorů. Nástup sucha se dá definovat jako období, kdy rostlina nemá dostatek množství vody a dostane se tak vodního deficitu (Blum 2005).

Vodní stres má několik účinků na růst rostlin. Účinky vytvořené vodním stresem, které způsobí omezení rozšíření listové plochy, která je důležitou součástí fotosyntézy, také vedou k inhibici buněčného dělení, inhibici syntézy buněčné stěny a proteinů, akumulace rozpuštěných látek a uzavření průduchů. Již zmíněný vodní potenciál je jedním z měřítek, jak moc dehydratovaná rostlina je, a poskytuje relativní index vodního stresu, který rostlina zažívá (Taiz & Zeiger 2002). Nedostatek vody způsobený transpirací je hlavní příčinou ekonomických ztrát a selhání plodin po celém světě (Hopkins & Hüner 2008).

Celkový obsah vody v rostlinách je velmi variabilní a závisí na druhu rostliny. Existuje též rozdíl mezi rostlinami ve stejném druhu. Celkový obsah vody závisí na orgánu, tkáni, ontogenetické fázi a dalších. Řasy obsahují 94–98 % vody, sukulentní listy 95 %, hlízy a oddenky 85 %, listy 80 %, suchá semena 12–14 %. Proto se vodní deficit u každé rostliny projeví v jiné míře a v rozdílný čas. U některých rostlin se příznaky vodního nedostatku objeví ihned, u některých až po delší době tohoto působení (Duca 2015).

Reakce rostlin na nedostatek vody závisí na množství ztracené vody, rychlosti ztráty a trvání stresového stavu. K nedostatku vody u rostlin dochází, když rychlost transpirace

překračuje absorpci vody. Nedostatek vody je součástí několika různých stresových činitelů včetně sucha, slanosti a nízké teploty. U většiny vyšších rostlin je vodní deficit normální součástí některých vývojových procesů, jako je například vývoj semen (Jones 2007). Změna objemu buněk a tvar membrány, narušení gradientů vodního potenciálu, ztráta turgoru, narušení integrity membrány a denaturace proteinu mohou být výsledkem nedostatku vody v buňce. Úplná ztráta vody má za následek vysušení nebo dehydrataci. Schopnost rostliny reagovat a přežít deficit vody závisí na mechanismech celé rostliny. Reakce na nedostatek vody se může vyskytnout během několika sekund, například změnou ve fosforylaci, nebo během několika minut či hodin změnou v genové expresy (Bray 1997).

Za nedostatkem vody stojí nejčastěji klimatické poměry a vývoj počasí. Příjem vody rostlinou také závisí na obsahu živin, obsahu solí v půdě a na průběhu půdních reakcí. Způsobený vodní stres je často spojen se zasolením půdy. Přítomná voda v rostlinách udržuje turgor, který je důležitý při růstu buněk a otevírání průduchů. Při jejím nedostatku trpí nejdříve prodlužovací růst listů a následně fotosyntéza (Kumar et al. 2018).

Vyhnutí se vodnímu stresu nastává, když je rostlina schopna udržet si vysoký vodní potenciál pod vlivem stresu. Dosáhne se toho tak, že rostlina zvýší příjem vody a zamezí její ztrátě i při klesajícím vodním potenciálu (Blum 2005). Mezi další opatření je možné zařadit zkrácení vegetační doby nebo zdokonalení využití vody rostlinou, tzv. WUE (water use efficiency) (Long & Ort 2010). Kořenový systém se váže ke zvýšené schopnosti přijímat vodu. Při nedostatku vody ve svém okolí se aktivní plocha povrchu kořenů zvětšuje a celý systém se neustále pohybuje. Postupné vysychání půdy způsobuje, že některé části kořenového systému usychají, ale zároveň na jiném místě statně narůstají (Jackson et al. 1999).

Rostliny se s nedostatkem vody setkávají během jejich života velmi často, například v zimním období, kdy nejsou schopny přijímat vodu v pevném skupenství, jako je sníh. Následkem těchto dějů si rostliny byly nuceny vytvořit různé adaptace na nedostatek vody (Hnilička & Středa 2016). Organismy, které mají schopnost přizpůsobit se vodnímu deficitu vyschnutím, se nazývají poikilohydrické. Takovéto rostliny snášejí velké ztráty vody a mohou bez ní vydržet celé měsíce i roky, dokud nedojde k jejich obnově metabolických aktivit pomocí opětovného kontaktu s vodou. Rostliny homoiohydrické, které jsou citlivé k nedostatku vody, jsou opakem rostlinám poikilohydrickým. Po vyschnutí ztrácejí schopnost znovuoživení a jejich protoplazma je velmi citlivá ke ztrátě vody a to tak, že odumírá už při slabém poklesu (Larcher 2003).

Různé reakce na vodní deficit se také projevují u rostlin světlomilných a stínomilných. Světlomilné rostliny snášejí lépe sucho a při jeho přítomnosti jen dočasně zastaví vegetační procesy. Stínomilné rostliny při delším období sucha umírají. Rostliny polopouštního charakteru mají rozdílný habitus a metabolismus a dokážou tak přežít dlouhotrvající sucho. Nachází se u nich speciální pletiva, která mají schopnost uchovávat vodu, a proto nemusí často vyvíjet opatření pro snížení transpirace (Procházka et al. 1998).

### 3.4.1 Vliv vodního stresu na klíčení

Odolávat stresu ve stejné úrovni se u rostlin během jejího vývoje liší. Nejnáchylnější jsou rostliny v počátečním období vývojové fáze. Dochází zde k diferenciaci pohlavních orgánů a také nastává nejintenzivnější růst vegetativních orgánů. Největší odolnost proti suchu mají rostliny na přelomu konci fáze rychlého růstu a počátku tvorby květů (Slafer & Whitechurch 2001).

Dojde-li k poklesu turgoru během vývoje květenství, nastane snížení počtu květů, a tím se sníží schopnost rozmnožovat se. Působení vodního deficitu omezí tvorbu semen, ale je stále zajištěno, aby rostlina dosahovala určitého reprodukčního potenciálu. Ovlivnění vodním stresem způsobí to, že semena nabývají jen menších velikostí, mají nižší klíčivost a jejich zásobní látky jsou v omezeném množství. Reakce na vodní deficit se projeví i v embryonální části (Grzesiak et al. 2013).

Odolnost vůči suchu u vzcházejících rostlin se liší na základě složení jejich genotypu. K identifikaci odolnosti druhů vůči suchu se používají různé metody, které se aplikují na semena v různých koncentracích (Yigit et al. 2016). Projevení tolerance proti suchu může nastat v jakémkoliv procesu, který probíhá při klíčení rostlin. V procesech, jako je bobtnání semen, aktivace enzymů, použití zásobních látek, vzcházení samotného klíčku, může organismus vykazovat reakci na vodní stres (Larcher 2003).

Některé rostliny překonávají období sucha v podobě semen odolných vůči vyschnutí, ale pro své klíčení potřebují vydatné množství srážek. Vodní stres způsobí nevyklíčení těchto rostlin, ale přežijí pomocí vytvořené adaptace v podobě semen odolných vůči suchu (Miransari & Smith 2014).

### 3.4.2 Vliv vodního stresu na růst

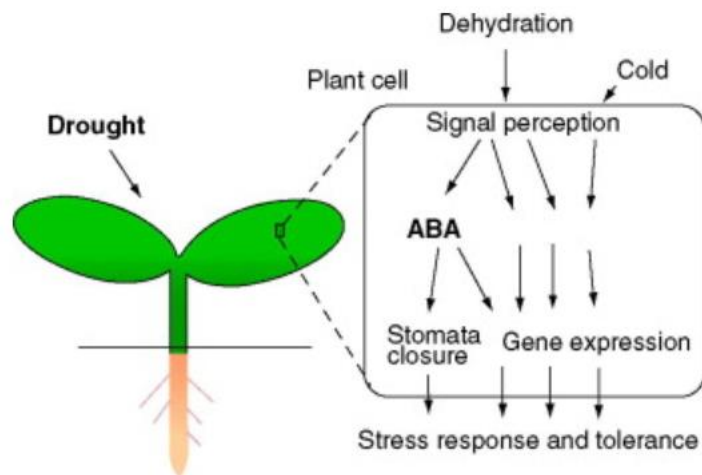
Růst je jedním z fyziologicky nejcitlivějších procesů na suchu. Je důležitým nástrojem pro hodnocení produktivity plodin určitých druhů. Růst rostlin, kromě genetického složení, také ovlivňují vnitřní a vnější faktory (Shao et al. 2008). Vliv vodního stresu na růst rostlin má mnoho podob. Dají se rozdělit na vnější a vnitřní projevy způsobené vlivem vodního stresu.

Vnější projevem působení vodního stresu je vadnutí rostliny. Pokles tlakového potenciálu způsobuje ztrátu pevnosti a pružnosti rostliny. Mezi další projevy nedostatku vody patří změna barevnosti listů, jejich velikost a opad, ale i celková velikost rostliny, která je zpravidla menšího vzrůstu. Pokud dojde při vodním stresu k vytvoření květů a plodů, jsou velmi malé a křehké. Působením stresu v podobě nedostatku vody dochází k postupnému usychání rostliny a k jejímu úhynu. Nedostatek vody u starších rostlin se projeví v podobě krátkých přírůstků, malými listy, na kterých jsou pozorovatelné skvrnky, a opadem listů. Rostlina postupně usychá, až dojde k její smrti. Takto oslabené rostliny v důsledku působení vodního stresu jsou častěji napadány chorobami a škůdci (Agrios 2005). Některé rostliny mohou pohybovat svými listy tak, aby zabránili úplnému vystavení se slunečnímu záření, čímž minimalizují ztrátu vody (Taiz & Zeiger 2002).

Mezi vnitřní projevy patří spuštění signalizačních mechanismů. Obrázek č. 8 znázorňuje fyziologické a molekulární reakce na stres ze sucha v rostlinných buňkách. Molekulární a buněčné reakce na stres ze sucha zahrnují vnímání dehydratačního signálu, přenos signálu do cytoplazmy a jádra, genovou expresi a odpovědi a toleranci vůči stresu

ze sucha, jako je například uzavření průduchů (Thomas et al. 2016). Po rozpoznání nedostatku vody rostlina reaguje rezistencí, kdy se rostlina vyrovnala s působícím stresem, tolerancí, nebo vyvine mechanismy, které umožní, aby se rostlina s působícím stresem nestřetla. Začne-li rostlina pociťovat nedostatek vody, zapne signalizační mechanismy. Kyselina abscisová (ABA) je jedním z nejčastěji přítomných signalizačních mechanismů při působení vodního stresu. S počátkem vodního stresu je ABA syntetizována v kořenech a dostává se do listů dříve, než nízký vodní potenciál půdy způsobí jakoukoli měřitelnou změnu stavu vody v listech. Předpokládá se, že ABA je tzv. kořenový signál, který pomáhá snížit rychlost transpirace uzavřením průduchu v listech (Kathpalia & Bhatla 2018).

Zvýšení odolnosti proti nedostatku vody nastane, když rostlina vydrží vynucený stres díky toleranci nebo mechanismus, který umožňuje vyhnout se tomuto stresu. Stupeň tolerance závisí na druhu rostliny, jejím genotypu, na délce a míře závažnosti, věku a stadiu vývoje rostliny. Příkladem překonání nedostatku vody je osmotický proces, kde je snížena osmóza, aby se zvýhodnil gradient vodního potenciálu příjmu vody a údržba turgoru (Bray 1997).



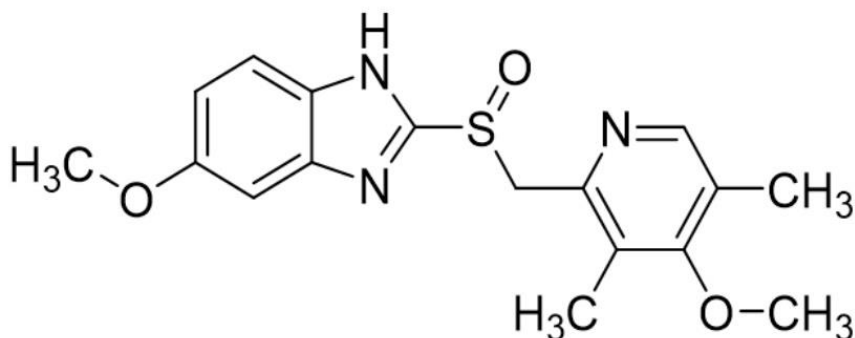
Obrázek č. 8: Fyziologické a molekulární reakce na stres ze sucha v rostlinných buňkách (Science Direct 2010).

## 4 Metodika

Cílem práce je vyhodnotit efekt primingu semen omeprazolem na růstu hrachu setého vystaveného vodnímu stresu. Omeprazol je humánní léčivo s efektem inhibice protonových pump, který je používán při poruchách trávení. Jako modelovou rostlinou byl zvolen již zmíněný hrách setý (*Pisum sativum* L.).

Experiment byl členěn na dvě etapy:

- 1) Testování fytotoxicity omeprazolu u zvolené koncentrační řady v porovnání s kontrolou (destilovaná voda) a pozitivní kontrolou (peroxid vodíku). Testovanými kritérii byla: klíčivost semen, délka a hmotnost (FW a DW) radikuly a hypokotylu. Na základě výsledků byla zvolena koncentrace pro priming semen.
- 2) Ošetřená semena hrachu byla vyseta v nádobových pokusech a vystavena postupnému vodnímu stresu přerušením závlivky. V opakovaných odběrech byl sledován růst nadzemní a podzemní biomasy (FW a DW).



Obrázek č. 9: Chemický vzorec omeprazolu.

### 4.1 Rostlinný materiál

Jako pokusný materiál byl vybrán hrách setý (*Pisum sativum* L.), který se řadí mezi významné a prastaré kulturní plodiny. Jedná se o jednoletou bylinu s poléhavými nebo plazivými lodyhami, které se řídce větví a jejich výška se pohybuje v rozmezí 10-250 cm. List je sudozpeřeného typu s 1 až 3 jařmy ukončené úponkem. Pravé listy jsou složeny ze široce vejčitých lístků. Palisty jsou z pravidla srdčité vejčité, ojínné, případně skvrnitě. Květenství se u hrachu nazývá hrozen, které obsahuje 1-3 květy. Barva květu je závislá na zbarvení semen. Bílá barva semen odpovídá barvě květu žlutých a zelených. Za červenou barvu květů jsou zodpovědná barevná semena. Plodem hrachu je lusk, který se otevírá dvěma chlopněmi. Tvar lusku je rovný nebo prohnutý zakončený tupě nebo šikmo a barva lusku je většinou zelená nebo červenofialová. Počet semen v jednom lusku se pohybuje okolo 4-10 semen. Hrách je rostlina samosprašná a dlouhodobě.

Nároky na prostředí se liší podle odrůd. Některé odrůdové skupiny (konvariety): *Pisum sativum* conv. *speciosum*, *Pisum sativum* conv. *vulgare*, *Pisum sativum* conv. *medullare*, *Pisum sativum* conv. *axiphium*, *Pisum sativum* conv. *medulloccharatum* (Atanasová 1996).

## 4.2 Laboratorní pokus

Při tomto pokusu se testovala fytotoxicita omeprazolu u zvolené koncentrační řady v porovnání s kontrolou (destilovaná voda) a pozitivní kontrolou (peroxid vodíku). Zvolená koncentrační řada omeprazolu se skládala z pěti zvolených koncentrací:

- 1) 0.001 mM
- 2) 0.01 mM
- 3) 0.1 mM
- 4) 0.5 mM
- 5) 1 mM

Před samotným primingem byla semínka hrachu dezinfikována pomocí 5% roztoku chlornanu sodného po dobu deseti minut a poté byla semínka důkladně propláchnuta destilovanou vodou. Priming semenem byl prováděn po dobu 12 h pomocí zvolených roztoků. Pro každou variantu bylo připraveno pět Petriho misek (PM), každá s dvaceti semeny hrachu, s filtračním papírem a 5 ml destilované vody (obrázek č. 9). Při plnění PM byly dodrženy všechny hygienické postupy, aby v dalších dnech probíhajícího pokusu nedošlo ke kontaminaci primingovaných semen (obrázek č. 10).



Obrázek č. 10: Příprava Petriho misek pro laboratorní pokus.

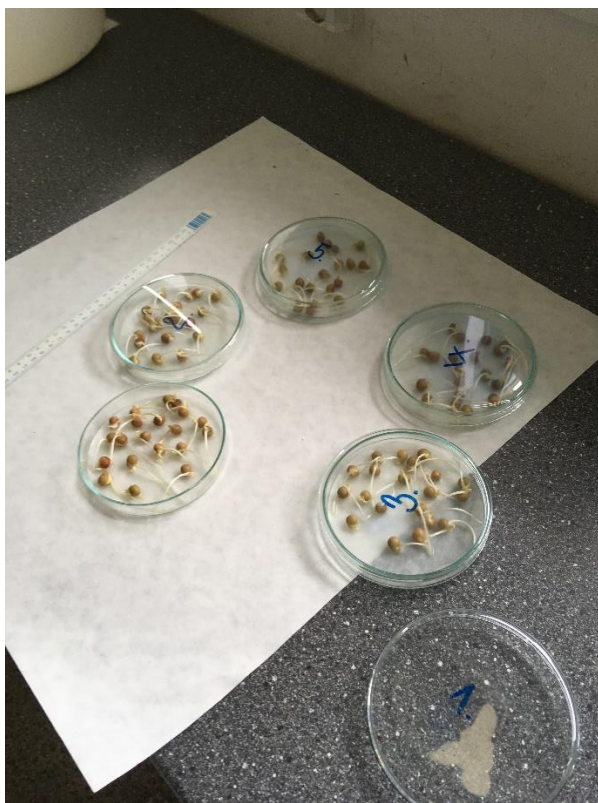




Obrázek č. 11: Vložení primovaných semen do Petriho misek.

Další den byla změřena délka kořene u všech semen ve všech pěti PM pomocí třiceticentimetrového pravítka s nejmenším dílkem 1 mm a získané výsledky byly zaznamenány do tabulky (obrázek č. 11). PM se po měření opět zalily 5 ml destilované vody. Tento postup se opakoval každý den, u všech semínek se změřily délky kořenů a stonků a zalily se (obrázek č. 12 a 13). U každé varianty trval pokus pět dní, kdy začal založením pokusu a skončil posledním pátým dnem, kdy se po změření délky kořenů a stonků vážením stanovila hmotnost čerstvé biomasy (FW). Kořeny a stonky byly pomocí nože odděleny od semene a poté zváženy (obrázek č. 14). Oddělené části rostlinky byly vloženy do sáčků, zvláště kořeny a zvláště stonky, které se poté daly sušit při teplotě 60 °C. Po usušení kořenů a stonků se opět stanovila hmotnost suché biomasy (DW) zvážením. Na základě všech dílčích výsledků byla zvolena koncentrace pro priming semen OMP 1 mM.





Obrázek č. 12: Naklíčená semena hrachu první den po založení pokusu.



Obrázek č. 13: Měření délky kořene a stonku třetí den po založení pokusu.



Obrázek č. 14: Měření délky kořene a stonků pátý den od založení pokusu.



Obrázek č. 15: Oddělení kořenů a stonků od semene pro zvažení hmotnosti čerstvé biomasy (FW).

### 4.3 Skleníkový pokus

Ošetřená semena hrachu byla vyseta do nádob a vystavena postupnému vodnímu stresu přerušením záливky. V opakovaných odběrech byl sledován růst nadzemní a podzemní biomasy (FW a DW). Nádoby se zvolenými variantami byly označeny podle vytvořeného klíče (obrázek č. 15), aby nedošlo k jejich pomíchání. Vytvořený klíč byl pro lepší použití rozdělen barevně (tabulka č. 2).

Tabulka č. 2: Vytvořený klíč pro rozdělení variant.

A (voda-kontrola)	A1 (bez vody)
	A3 (voda)
B (omeprazol)	B1 (bez vody)
	B3 (voda)
C (peroxid vodíku-pozitivní kontrola)	C1 (bez vody)
	C3 (voda)



Obrázek č. 16: Označení rostliny podle vytvořeného klíče.

Před výsevem byla semena vydezinfikována stejným způsobem jako tomu bylo u laboratorních pokusů. Priming semenem byl proveden po dobu 20 h pomocí zvolených roztoků podle variant. Samotný výsev byl proveden další den do 225 nádob s připravenou zemínou. Celkový počet nádob byl rozdělen do tří skupin podle variant (voda-kontrola, omeprazol, peroxid vodíku-pozitivní kontrola). Do každé nádoby bylo vyseto po pěti semenech (obrázek č. 16) a pro lepší vzcházení rostliny byla u semen provedena záливka. První kontrolní odběr byl proveden po 11 dnech, kdy se odebralo pět rostlin od každé varianty (obrázek č. 17).





Obrázek č. 17: Vysetí semen do nádob.

Kořeny rostlin bylo třeba důkladně proprat z každého květináče zvlášť a oddělit je podle variant. Zbylé rostliny ve skleníku se podle rozdělených variant zalily 100 ml destilované vody nebo nezalily. Pro získání hmotnosti čerstvé (FW) a suché (DW) biomasy se ze třech nádob vybraly tři rostlinky (obrázek č. 18), u kterých byly odděleny kořeny od stonků. Kořeny a stonky se zvlášť zvážily a vložily se do připravených a popsaných sáčků podle variant. Sáčky se pak sušily při teplotě 60 °C. Takovýto postup se opakoval při každém odběru a jednotlivé odběry byly provedeny ve čtyřdenním rozestupu. Před posledním odběrem bylo nutné zalít stresové varianty 10 ml destilované vody, aby rostlinný porost do posledního oděru neuhynul (obrázek č. 19 a 20).



Obrázek č. 18: Rostlinný porost při prvním odběru.



Obrázek č. 19: Varianta OMP bez zálivky při třetím odběru.



Obrázek č. 20: Rostlinný porost při posledním odběru.



Obrázek č. 21: Varianta OMP bez zálivky při posledním odběru.

#### 4.4 Statistické vyhodnocení a zpracování dat

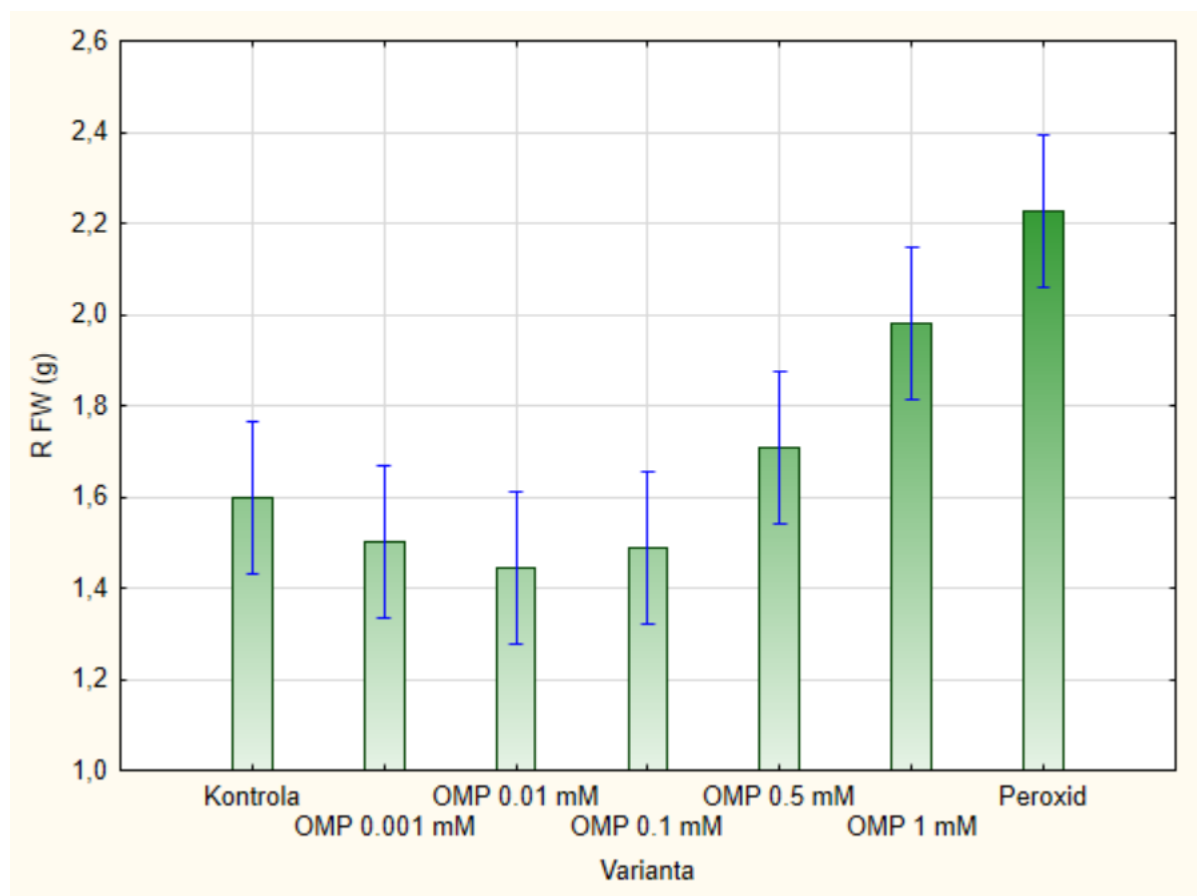
Získané hmotnosti z experimentů byly zpracovány v programu Statistika 12. S použitím LSD testů a ANOVY (dvoufaktorová analýza rozptylu) bylo zjištěno, zda existují nebo neexistují významné rozdíly mezi průměry jednotlivých variant. Pro vyhodnocení experimentu byly vytvořeny grafy s pomocí použitých LSD testů a ANOVY.



## 5 Výsledky

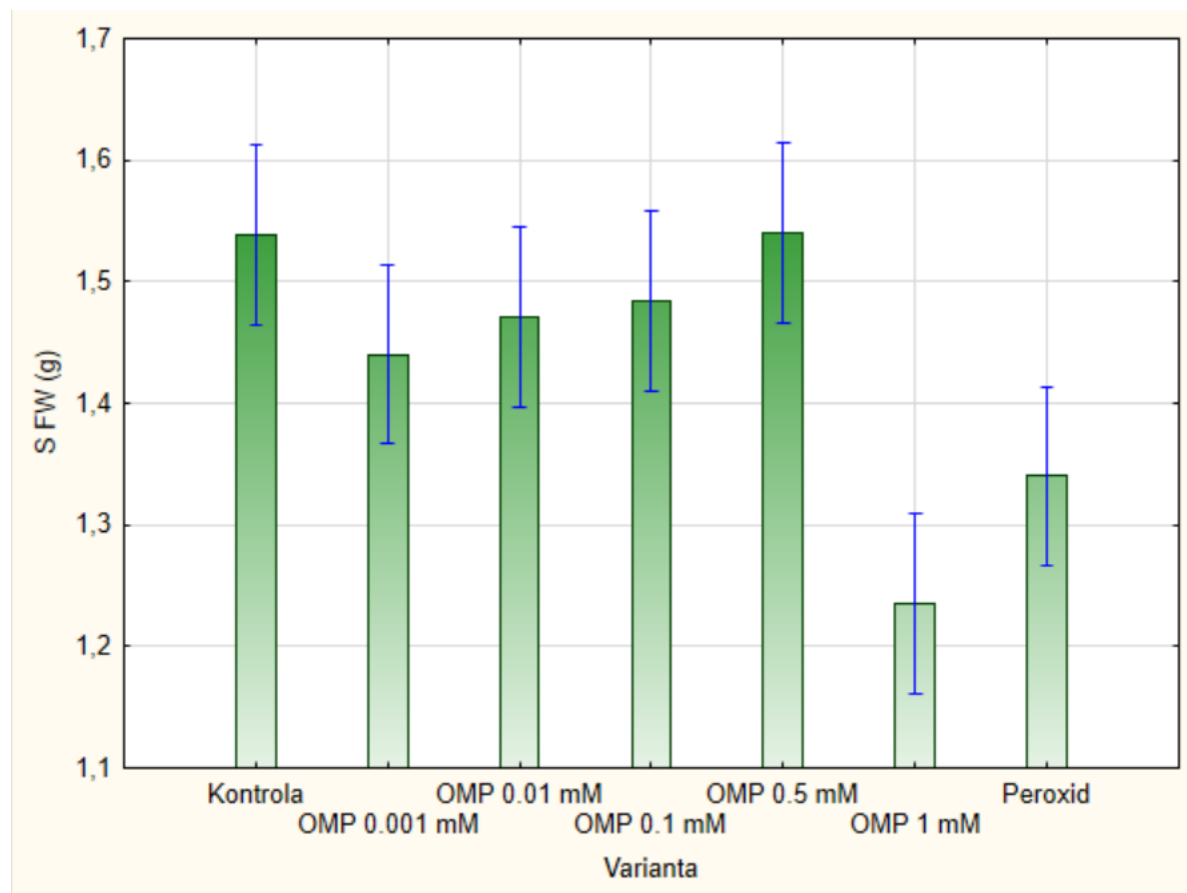
### 5.1 Laboratorní pokus

Obrázek č. 22 představuje naměřené hmotnosti kořene v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací pro priming semen. U varianty peroxid byla naměřena nejvyšší hmotnost kořene 2,228 g. Rozdíl mezi variantou peroxid a kontrola, která měla hmotnost 1,597 g, byl statisticky významný. U varianty OMP 1 mM byla naměřena hmotnost 1,982 g, avšak tento rozdíl nebyl oproti variantě kontrola statisticky významný. Příloha č. 1 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti pro testované kritérium kořen v čerstvé hmotě (FW).



Obrázek č. 22: Naměřené hmotnosti kořene v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací (*Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)*).

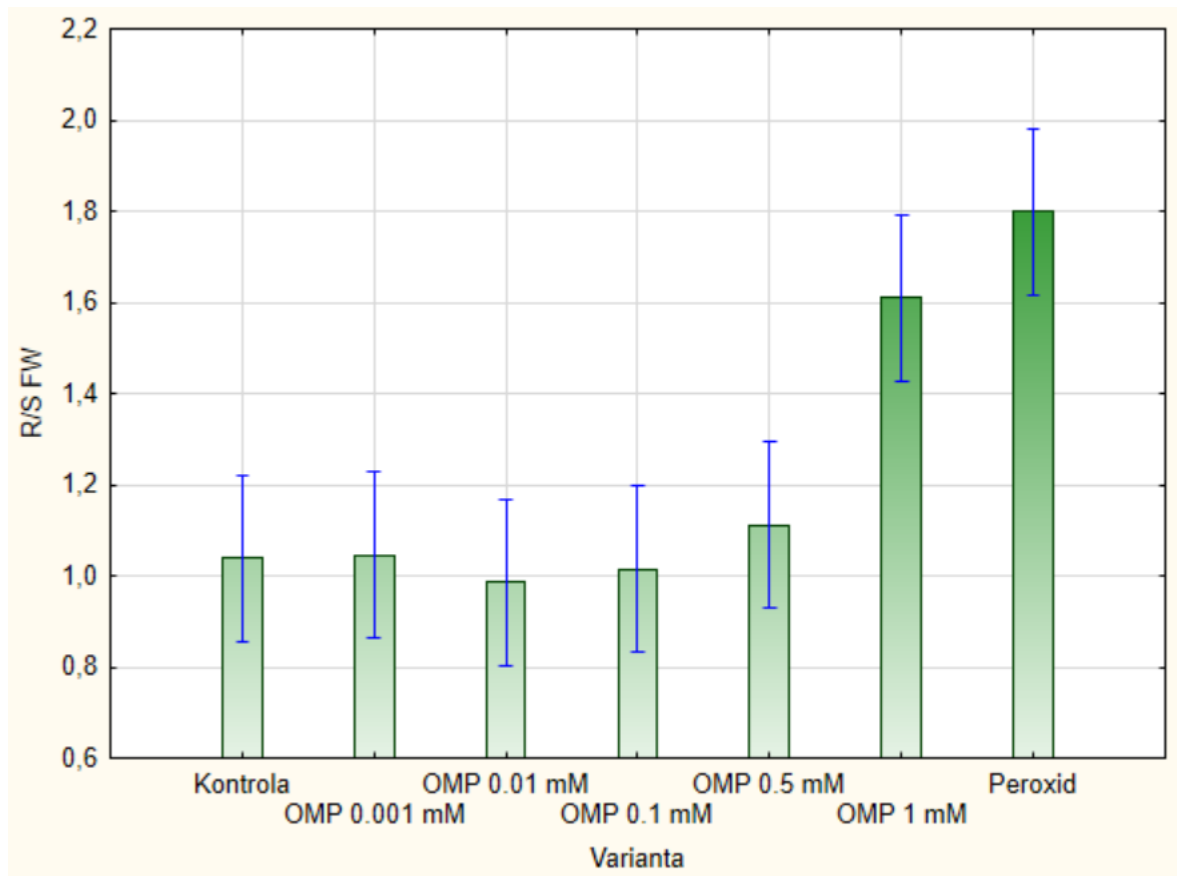
Naměřená hmotnost stonků v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací priming semen je zobrazena na obrázku č. 23. U varianty OMP 1 mM byla naměřena nejnižší hmotnost stonku 1,235 g. Oproti variantě kontrola byl tento rozdíl statisticky významný. Mezi ostatními variantami koncentrací nebyl žádný statisticky významný rozdíl. Příloha č. 2 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti pro testované kritérium stonků v čerstvé hmotě (FW).



Obrázek č. 23: Naměřené hmotnosti stonků v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací (*Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)*).

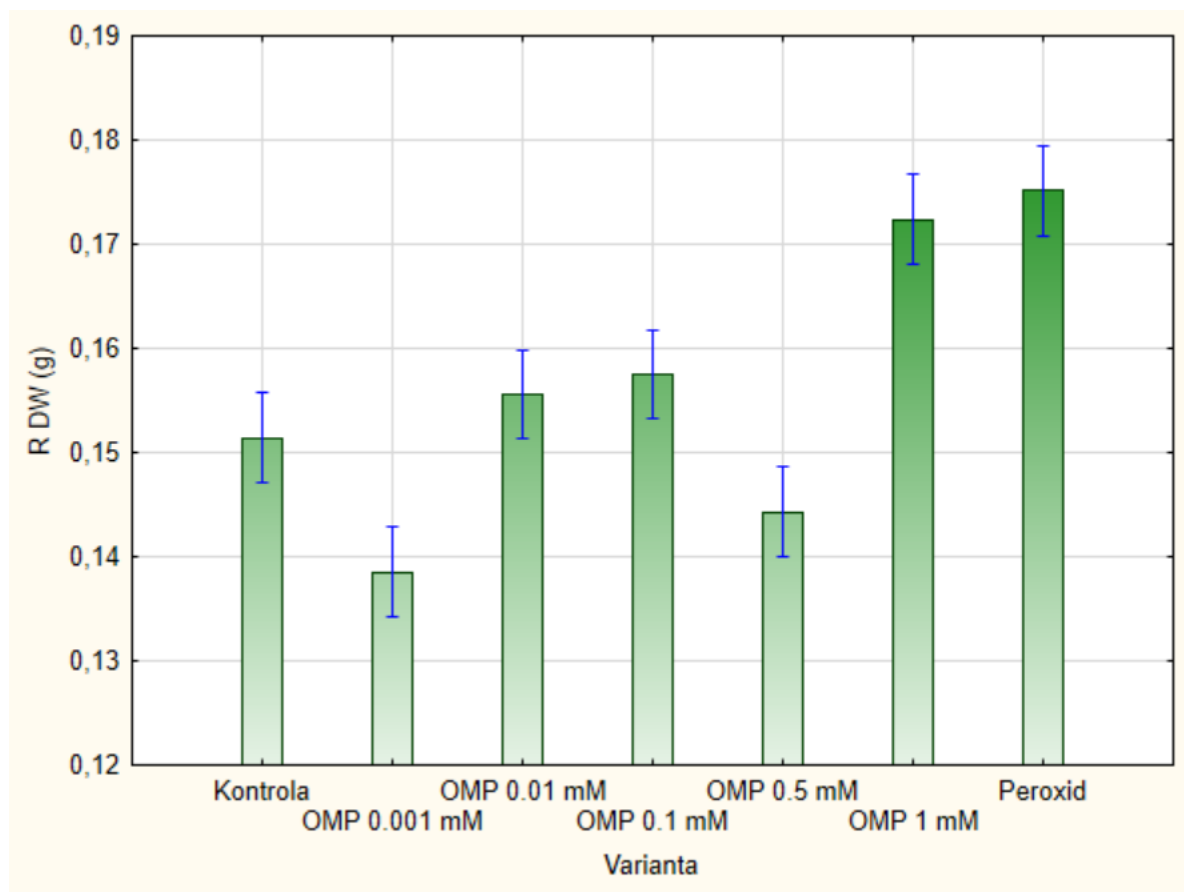


Poměr naměřené hmotnosti kořene a stonku v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací je na obrázku č. 24. Graf je brán z pohledu hmotnosti kořene oproti hmotnosti stonku. Pouze u variant OMP 1 mM a peroxid byl poměr vyšší než u varianty kontrola. Tento rozdíl byl statisticky významný. Ostatní varianty koncentrací neměly oproti variantě kontrola statisticky významné rozdíly. Příloha č. 3 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti pro testované kritérium poměr kořene a stonku v čerstvé hmotě (FW).



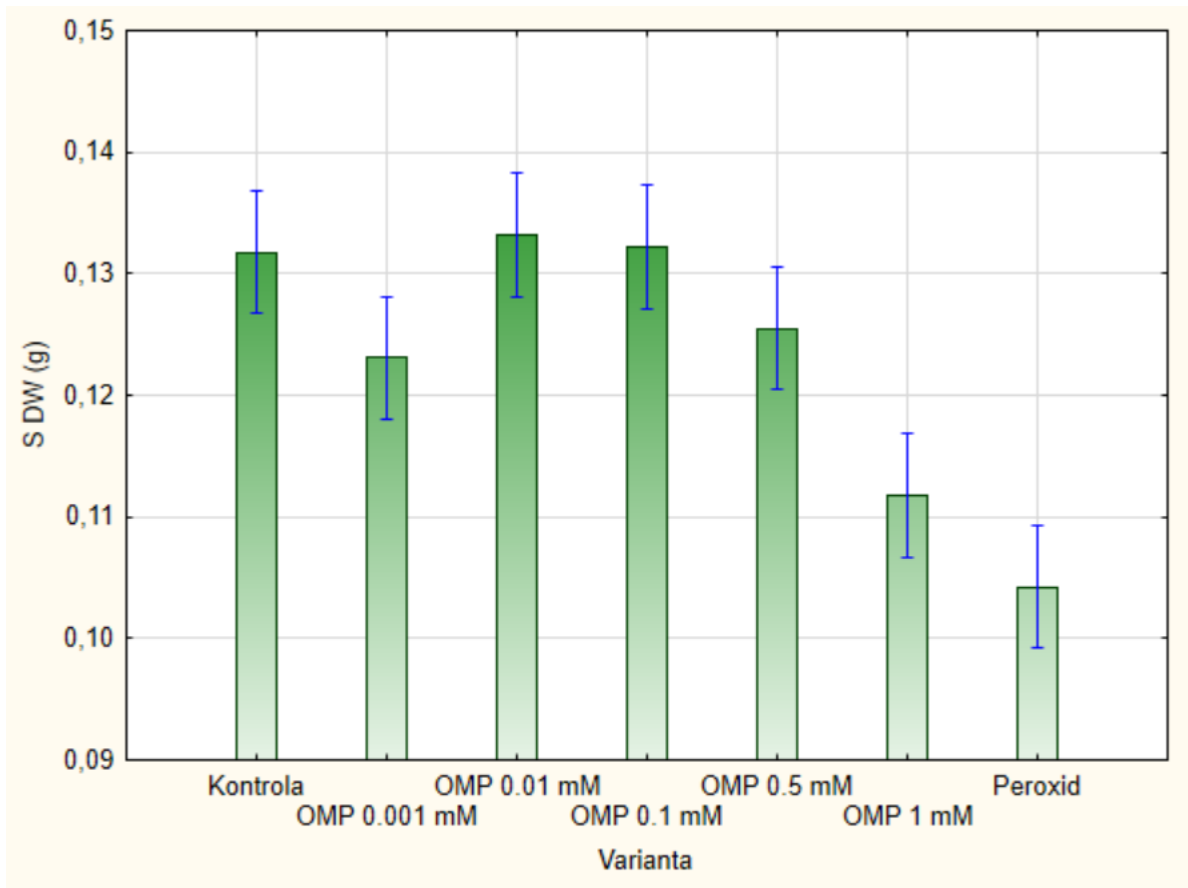
Obrázek č. 24: Poměry naměřené hmotnosti kořene a stonku v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací (*Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)*).

Na obrázku č. 25 je zobrazena naměřená hmotnost sušiny kořene podle použitých variant koncentrací. U varianty OMP 1 mM a peroxid byly naměřené vyšší hmotnosti (0,172 g a 0,175 g) než u varianty kontrola (0,151 g), rozdíly těchto hmotností oproti variantě kontrola jsou statisticky významné. Příloha č. 4 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti pro testované kritérium sušina kořene (DW).



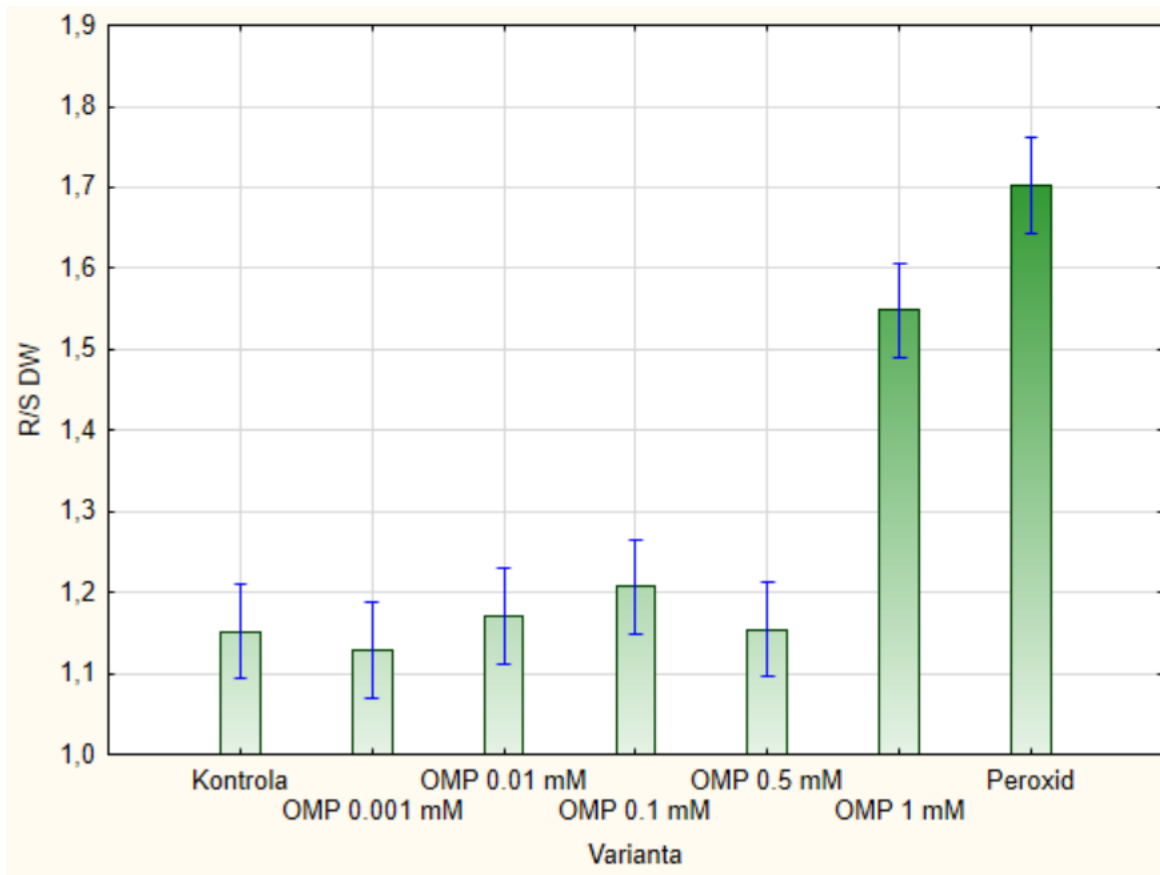
Obrázek č. 25: Naměřená hmotnost sušiny kořene podle použitých variant koncentrací (Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)).

Na obrázku č. 26 jsou naměřené hmotnosti sušiny stonku podle použitých variant koncentrací. Pouze u variant OMP 1 mM (0,112 g) a peroxid (0,104 g) byla hmotnost nižší než u varianty kontrola (0,132 g). Tento rozdíl byl statisticky významný. Ostatní varianty koncentrací neměly oproti variantě kontrola statisticky významné rozdíly. Příloha č. 5 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti pro testované kritérium sušina stonku (DW).



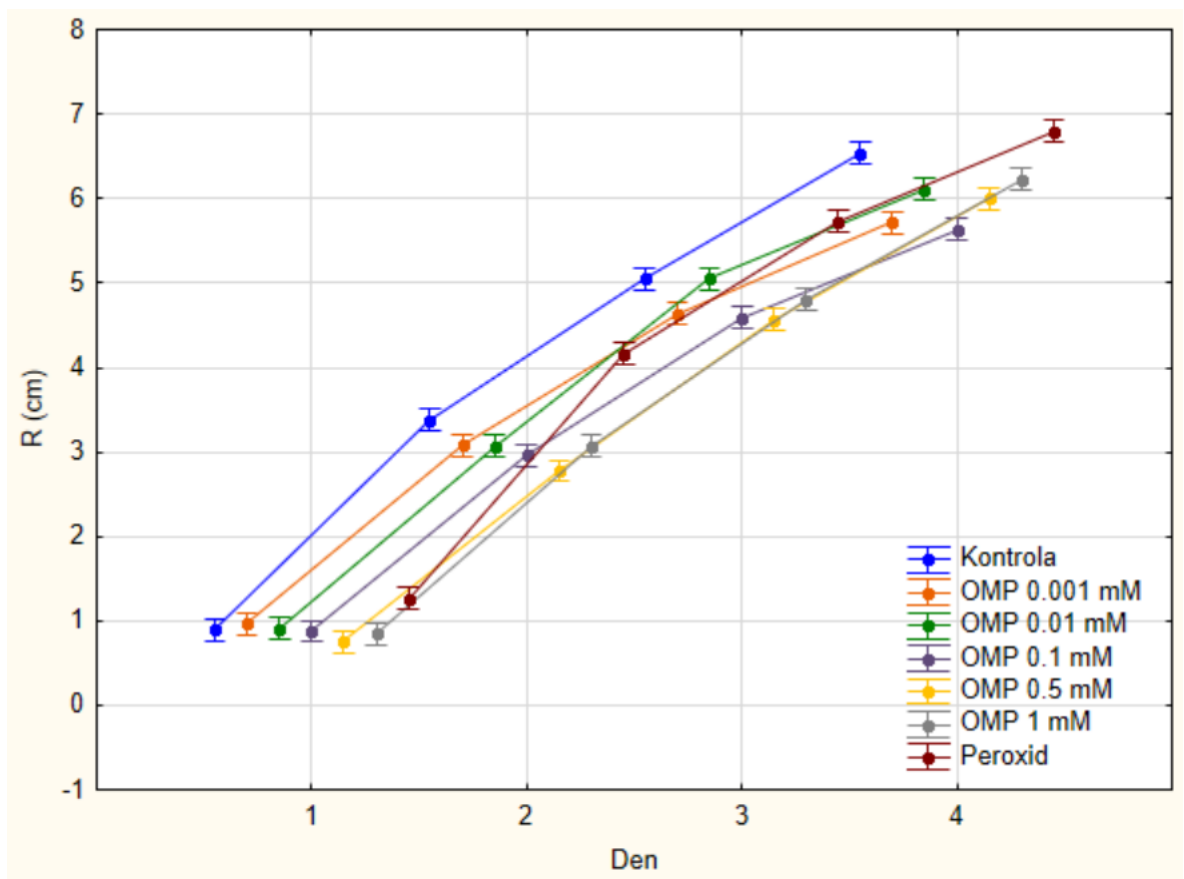
Obrázek č. 26: Naměřená hmotnost sušiny stonku podle použitých variant koncentrací (*Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)*).

Poměry naměřené hmotnosti sušiny kořene a stonku podle použitých variant koncentrací jsou na obrázku č. 27. Pouze u variant OMP 1 mM a peroxid byl R/S vyšší než u varianty kontrola. Tento rozdíl byl statisticky významný. Ostatní varianty koncentrací neměly oproti variantě kontrola statisticky významné rozdíly. Příloha č. 6 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti pro testované kritérium sušina poměru kořene a stonku (DW).



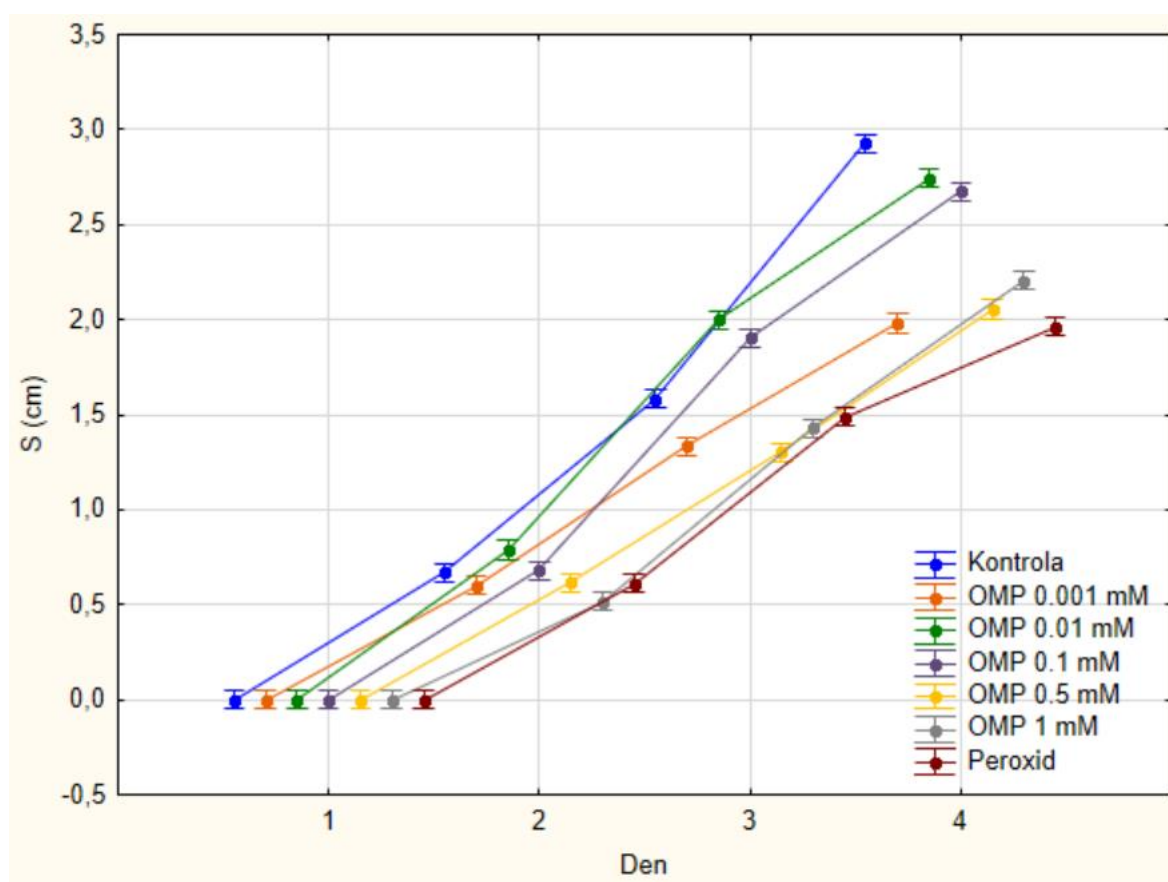
Obrázek č. 27: Poměry naměřené hmotnosti sušiny kořene a stonku podle použitých variant koncentrací (*Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)*).

Na obrázku č. 28 je průběh růstu kořene podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období. Celkový pohled na grafické znázornění průběhu růstu ukazuje, že kořeny s přibývajícím časem přirůstaly. Rozdíly délek mezi jednotlivými termíny odběrů byly statisticky významné. Nejdelší kořeny měly po čtvrtém odběru varianty OMP 1 mM, peroxid a kontrola. Oproti variantě kontrole nebyly rozdíly délek variant OMP 1 mM a peroxid statisticky významné. Příloha č. 7 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti průběh růstu kořene podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období.



Obrázek č. 28: Průběh růstu kořene podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období (*Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)*).

Průběh růstu stonku podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období je na obrázku č. 29. Celkový pohled na grafické znázornění průběhu růstu ukazuje, že stonky s přibývajícím časem přirůstaly. Rozdíly délek mezi jednotlivými termíny odběrů byly statisticky významné. Největší délku stonku po čtvrtém odběru měla variant kontrola (2,926 cm), rozdíl oproti ostatním variantám byl statisticky významný. Příloha č. 8 ukazuje statisticky zpracované hmotnosti průběh růstu kořene podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období.



Obrázek č. 29: Průběh růstu stonku podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období (*Legenda: neošetřená semena (kontrola), priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v různých koncentracích, priming semen pomocí peroxidu vodíku (peroxid)*).

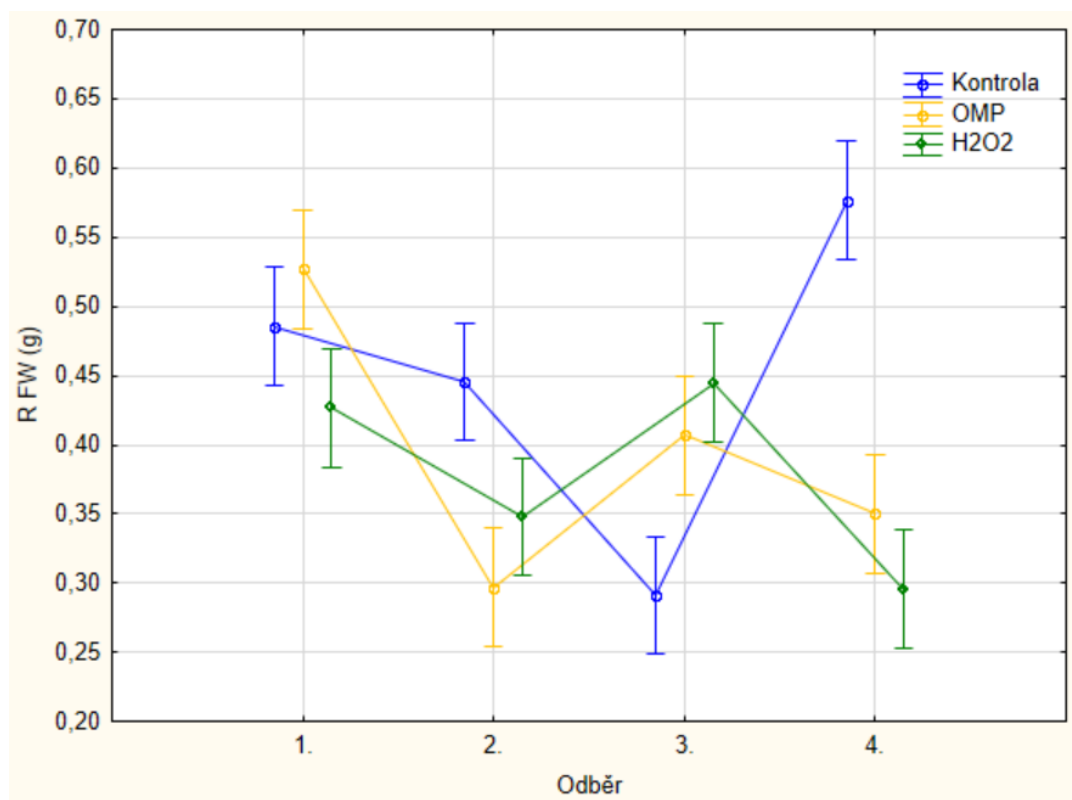
## 5.2 Skleníkový pokus

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

Na obrázku č. 30 je zobrazena čerstvá hmotnost (FW) kořene u variant kontrola, OMP a  $H_2O_2$  v podmínkách se závlahou. Při prvním odběru nebyl zřetelný statisticky významný rozdíl hmotností mezi variantami. Významný rozdíl byl při druhém odběru mezi variantami kontrola a OMP, kdy hmotnost varianty kontrola byla prokazatelně vyšší než hmotnost varianty OMP. Mezi variantami kontrola a  $H_2O_2$  nebyly statisticky významné rozdíly. Stejná situace byla i mezi variantou  $H_2O_2$  a OMP, kdy rozdíly nebyly statisticky významné.

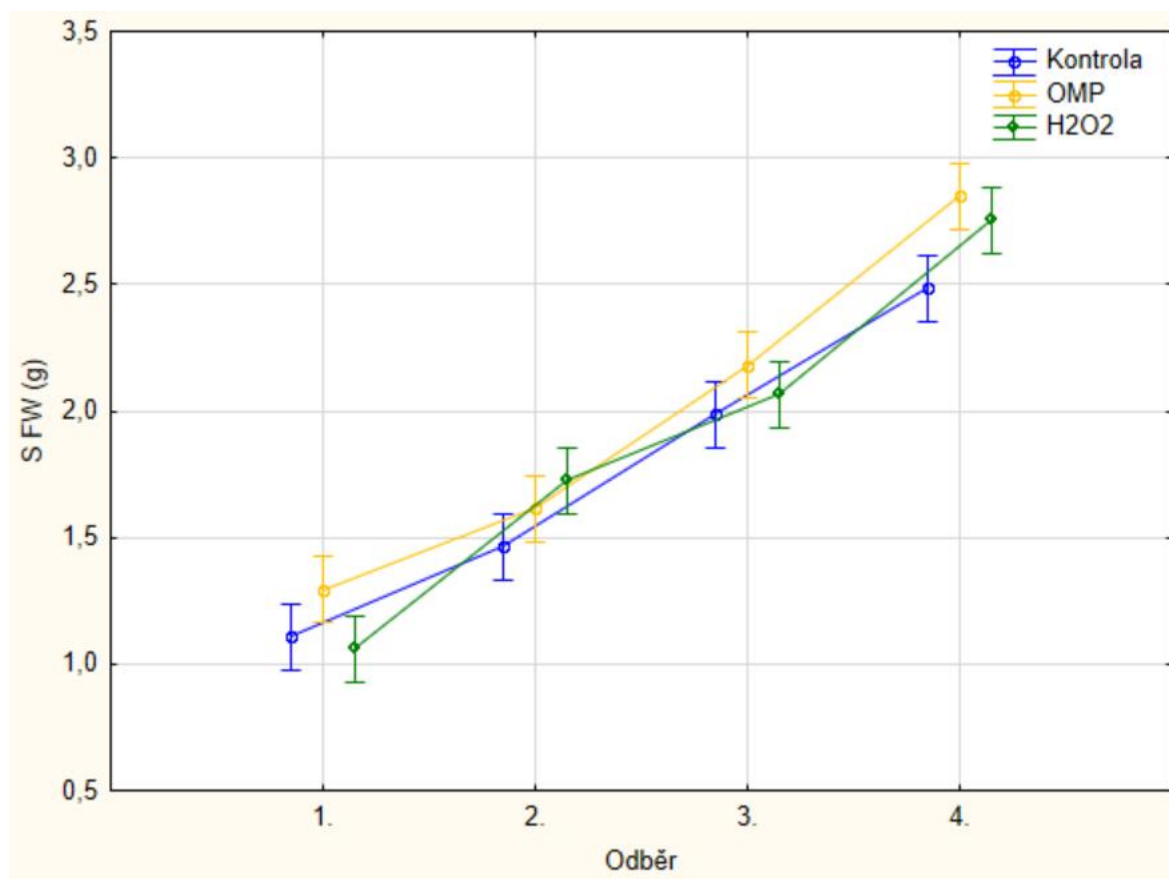
Při třetím odběru byl zaznamenán významný rozdíl mezi hmotnostmi variant kontrola a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Mezi hmotnostmi varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a OMP a mezi hmotnostmi varianty OMP a kontrola statisticky významný rozdíl již nebyl. Při čtvrtém odběru byla hmotnost varianty kontrola (0,577 g) větší. Varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,291 g) a OMP (0,350 g) měla oproti kontrole prokazatelně hmotnost nižší. Mezi hmotnostmi variant H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a OMP žádný statisticky významný rozdíl nebyl, ale čerstvá hmotnost u varianty OMP byla statisticky významně menší než u varianty kontrola.

Mezi prvním a druhým odběrem nebyl v průběhu pokusu mezi hmotnostmi varianty kontrola statisticky významný rozdíl. Ten nastal až při třetím odběru, kdy se hmotnost snížila. Při čtvrtém odběru naopak hmotnost výrazně narostla. Hmotnost varianty OMP se v průběhu pokusu mezi prvním a druhým odběrem snížila, tento rozdíl byl statisticky významný. Mezi druhým, třetím a čtvrtým odběrem již statisticky významný rozdíl hmotností nenastal. Hmotnost varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se v průběhu pokusu mezi prvním, druhým ani třetím odběrem statisticky významně nezměnila. Statisticky významný rozdíl hmotnosti oproti třetímu odběru nastal při odběru čtvrtém, kdy se hmotnost varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> snížila. Příloha č. 9 ukazuje LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) kořene u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.



Obrázek č. 30: Čerstvá hmotnost (FW) kořene u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou.*)

Čerstvá hmotnost (FW) stonku u variant kontrola, OMP a  $H_2O_2$  v podmínkách se závlahou je na obrázku č. 31. Mezi variantami v žádném odběru neexistoval statisticky významný rozdíl. U všech variant s přibývajícím počty odběrů se čerstvá hmotnost postupně zvětšovala a byly na velmi vyrovnané úrovni. Při prvním odběru se hmotnosti u jednotlivých variant pohybovala shodně okolo 1,250 g, při posledním odběru se hmotnosti variant OMP a  $H_2O_2$  pohybovala kolem 2,750 g, což znamenalo nárůst o 120 %, hmotnost varianty kontrola se od prvního odběru po poslední zdvojnásobila. Omeprazol neměl žádný vliv na růst rostlin v podmínkách se závlahou. Příloha č. 10 ukazuje LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) stonku u variant kontrola, OMP a  $H_2O_2$  v podmínkách se závlahou.

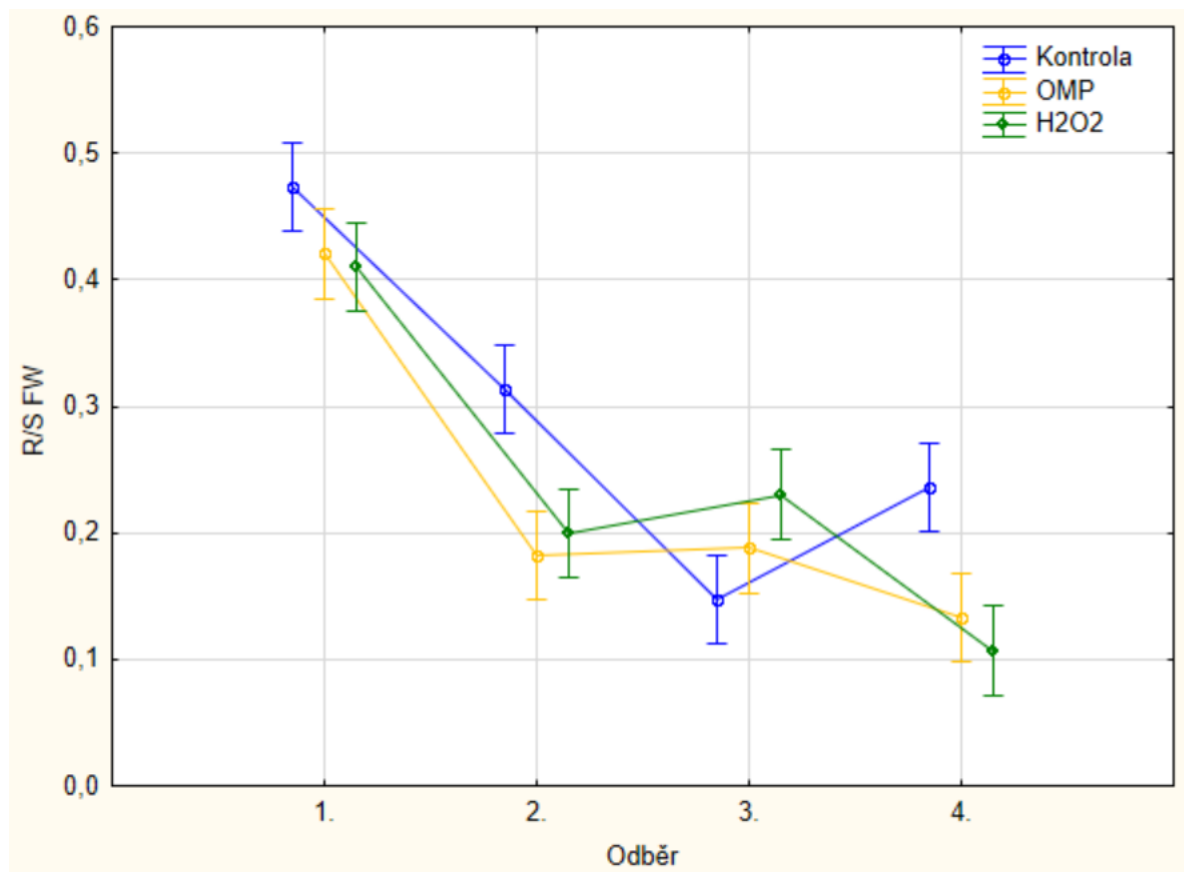


Obrázek č. 31: Čerstvá hmotnost (FW) stonku u variant kontrola, OMP a  $H_2O_2$  v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ) v podmínkách se závlahou*).



Obrázek č. 32 zobrazuje změny poměru čerstvé hmotnosti (FW) kořínku a stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou. Graf je brán z pohledu hmotnosti kořínku oproti hmotnosti stonku. Při prvním odběru nebyl rozdíl poměrů hmotnosti kořínku oproti hmotnosti stonku (R/S) mezi variantami statisticky významný. Při druhém odběru byl R/S u varianty kontrola vyšší než u zbylých dvou variant. Tento rozdíl byl statisticky významný, u R/S mezi variantami OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> rozdíl statisticky významný nebyl. Rozdíly R/S při třetím odběru nebyly mezi variantami statisticky významné. Při odběru čtvrtém byl R/S u varianty kontrola vyšší než u variant OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, rozdíl R/S varianty kontrola a R/S zbylých variant byl statisticky významný. Mezi nimi statisticky významný rozdíl nebyl.

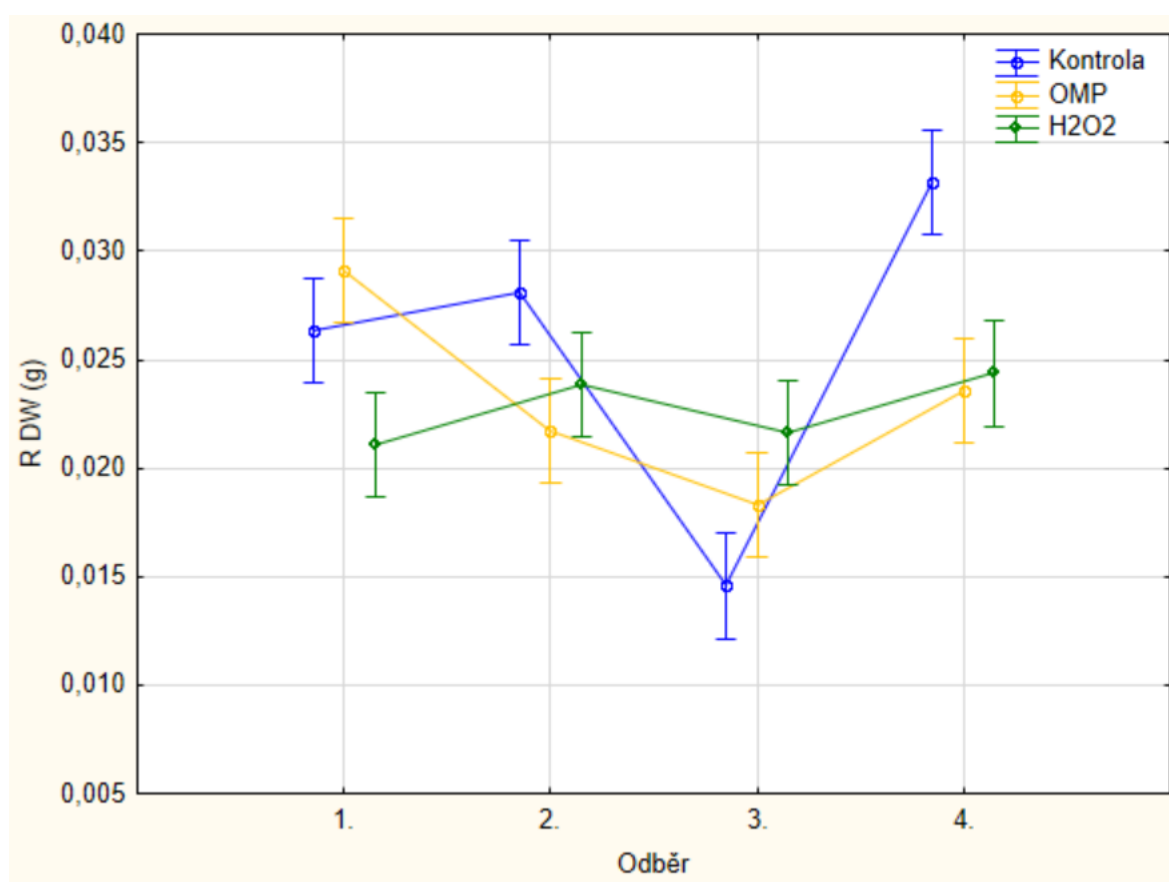
U všech variant se v průběhu pokusu R/S snížil. Rozdíl R/S při prvním a druhém odběru byl u každé varianty statisticky významný. U varianty OMP nebyl mezi R/S od druhého odběru statisticky významný rozdíl. Příloha č. 11 ukazuje LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) poměru kořene a stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.



Obrázek č. 32: Změna poměru čerstvé hmotnosti (FW) kořínku a stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou (Legenda: neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou).

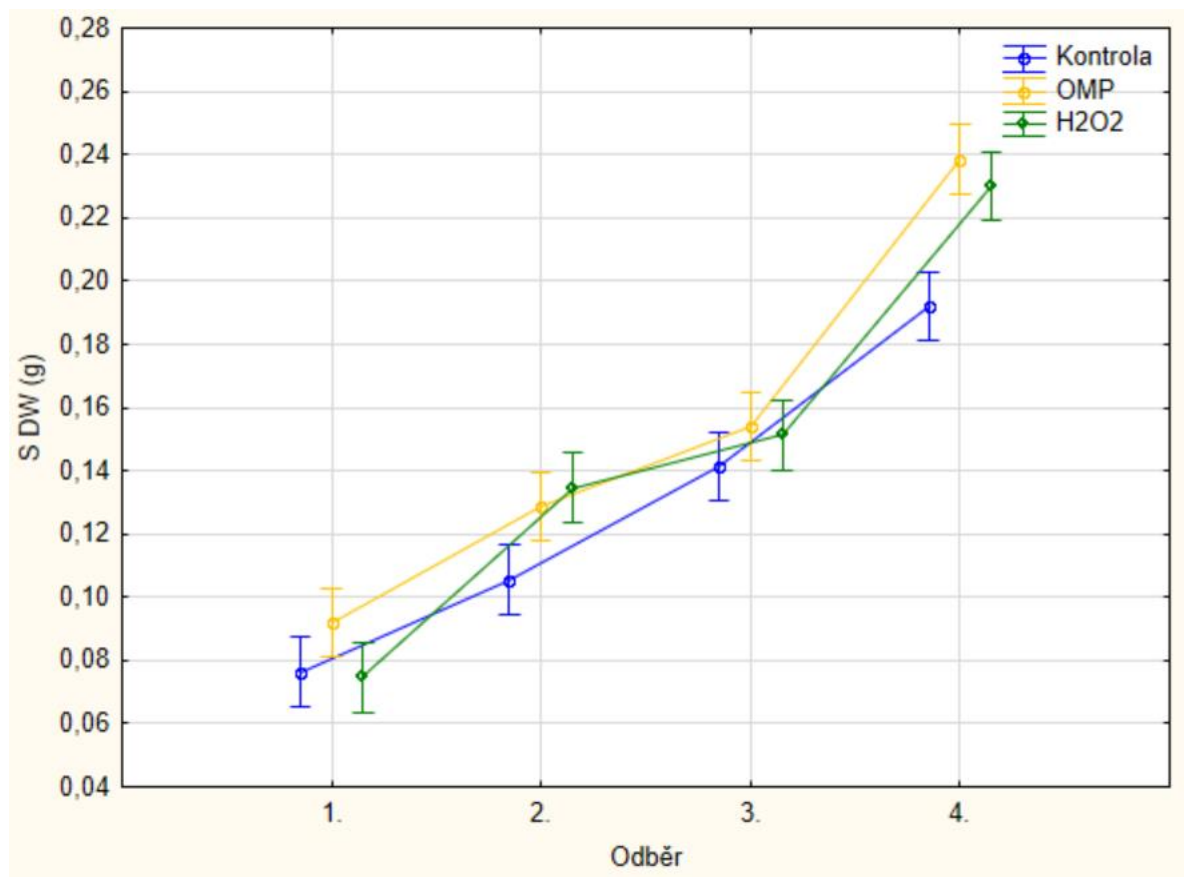
Hmotnost sušiny (DW) kořene u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou je zobrazena na obrázku č. 33. U prvního až třetího odběru nebyly statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Při čtvrtém odběru byla hmotnost u varianty kontrola vyšší oproti variantám OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,033 g oproti 0,024 a 0,023 g), u které existoval statisticky významný rozdíl. Naopak mezi varianty OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nebyl statisticky významný rozdíl.

U varianty kontrola byl v průběhu pokusu statisticky významný rozdíl oproti ostatním hmotnostem při třetím odběru, kdy se hmotnost snížila. U varianty OMP se mezi prvním a druhým odběrem hmotnost snížila, tento rozdíl byl statisticky významný. Mezi dalšími odběry již statisticky významný rozdíl nebyl. U varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nebyly v průběhu pokusu mezi odběry statisticky významné rozdíly. Příloha č. 12 ukazuje LSD test u sušiny (DW) kořene u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.



Obrázek č. 33: Hmotnost sušiny (DW) kořene u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou*).

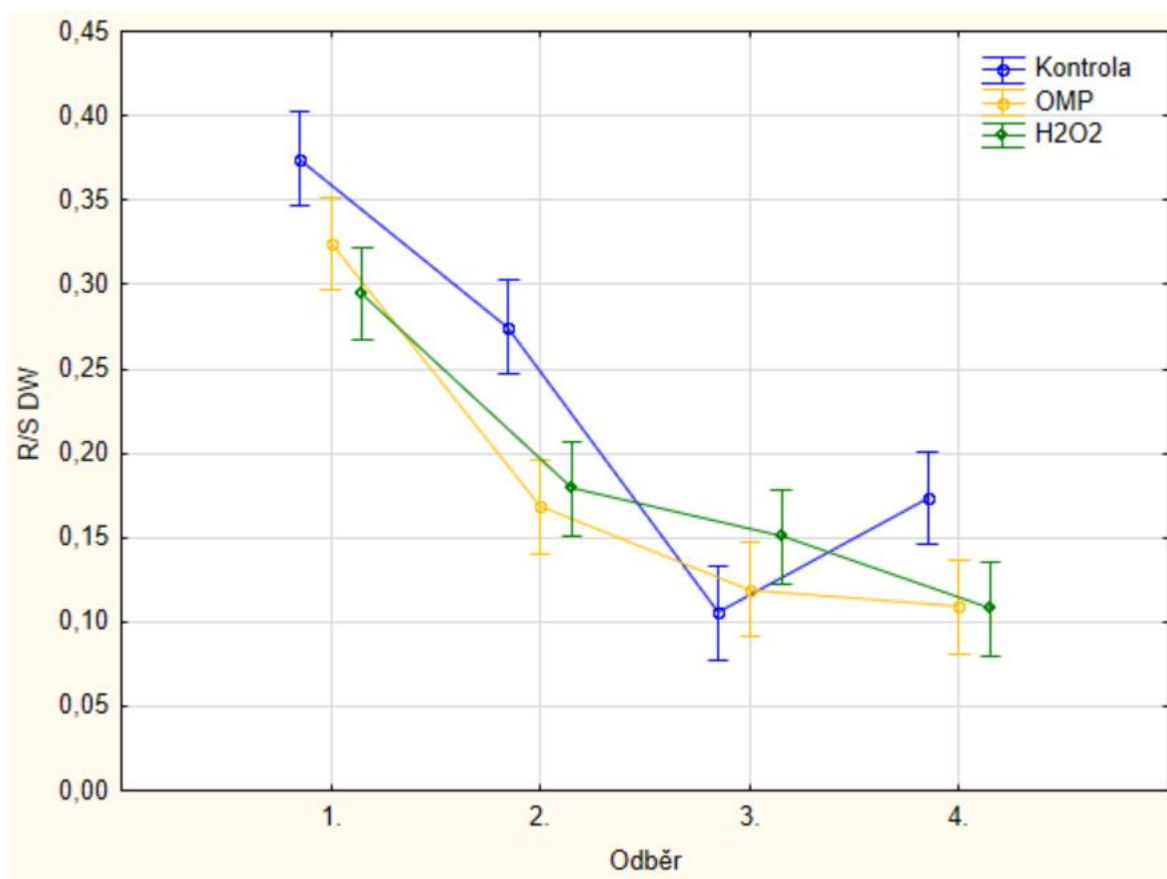
Obrázek č. 34 znázorňuje hmotnost sušiny (DW) stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou. Při prvním, druhém ani třetím odběru nebyl statisticky významný rozdíl mezi hmotnostmi u jednotlivých variant, až při odběru č. 4 byl statisticky významný rozdíl u varianty kontrola s nižší hmotností 0,191 g oproti variantám OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,238 g a 0,230 g). Mezi variantou OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> neexistoval statisticky významný rozdíl. U každé varianty byl v průběhu pokusu statisticky významný rozdíl mezi hmotnostmi při prvním a posledním odběru. Hmotnost sušiny se u každé varianty mezi těmito termíny odběrů zvýšila. Příloha č. 13 ukazuje LSD test u sušiny (DW) stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.



Obrázek č. 34: Hmotnost sušiny (DW) stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou*).

Změny poměru hmotnosti sušiny (DW) kořínku a stonku (R/S) u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou jsou na obrázku č. 35. Graf je brán opět z pohledu hmotnosti kořínku oproti hmotnosti stonku. Při prvním odběru byl R/S u varianty kontrola vyšší než u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tento rozdíl byl statisticky významný. Rozdíl R/S obou variant s variantou OMP nebyl statisticky významný. Při druhém odběru byl statisticky významný rozdíl mezi variantou kontrola a zbylými variantami OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Při třetím ani čtvrtém odběru nebyl mezi variantami statisticky významný rozdíl. Celkově se všechny R/S od prvního odběru po poslední snížily.

V průběhu pokusu byl u varianty kontrola R/S mezi prvním a druhým odběrem nižší, tento rozdíl byl statisticky významný. Ke stejné situaci došlo i mezi druhým a třetím odběrem. Mezi třetím a čtvrtým odběrem již statisticky významný rozdíl nebyl. U varianty OMP byl statisticky významný rozdíl pouze mezi prvním a druhým odběrem, kdy došlo ke snížení R/S. Mezi dalšími odběry již statisticky významný rozdíl nebyl. U varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> byl v průběhu pokusu stejný vývoj, jako u varianty OMP, tedy statisticky významný rozdíl byl jen mezi prvním a druhým odběrem, u ostatních odběrů nikoliv. Příloha č. 14 ukazuje LSD test u sušiny (DW) poměru kořene a stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.

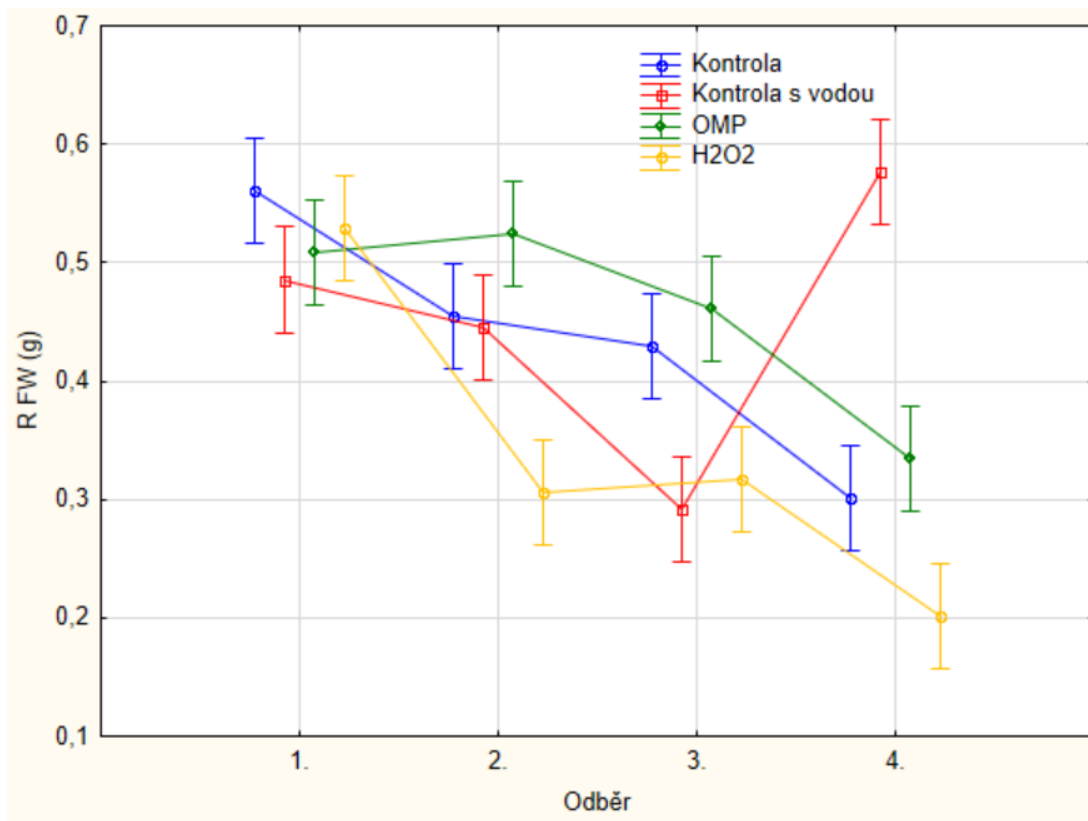


Obrázek č. 35: Změna poměru hmotnosti sušiny (DW) kořínku a stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) v podmínkách se závlahou*).

### 5.2.2 Vliv aplikace omeprazolu a peroxidu vodíku na rostliny v podmínkách deficitu vody

Na obrázku č. 36 je zobrazena čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou. Hmotnost u stresované varianty OMP se délkou působení deficitu vody postupně snižovala. Stejně je tomu u stresovaných variant kontrola a  $H_2O_2$ , které měly také klesající tendenci. Při prvním odběru neexistoval mezi variantami statisticky významný rozdíl. U nestresované varianty kontrola s vodou, která slouží ke srovnání, bylo možné pozorovat postupné snížení hmotnosti až do třetího odběru, kde rozdíl hmotnosti byl statisticky významný u variant kontrola a OMP oproti již zmiňované nestresované variantě kontrola s vodou. Naopak žádný statisticky významný rozdíl nebyl mezi variantou  $H_2O_2$  a kontrola s vodou. Stejně tomu bylo mezi variantami kontrola a  $H_2O_2$ . Při čtvrtém odběru se hmotnosti výrazně zvětšily. Statisticky významný rozdíl byl u varianty kontrola s vodou oproti ostatním variantám s nejvyšší hmotností 0,577 g. Statisticky nevýznamný byl rozdíl mezi varianty kontrola (0,301 g) a OMP (0,334 g), také u varianty kontrola a  $H_2O_2$  (0,201 g), ale významný rozdíl byl u varianty OMP a  $H_2O_2$ . Podle hmotností kořene všech stresovaných variant se statisticky neprokázal pozitivní vliv primingu semen při vodním stresu.

Hmotnosti se u všech stresovaných variant v průběhu pokusu snižovaly. Rozdíl hmotností u všech stresovaných variant byl při prvním a posledním odběru statisticky významný. Nestresovaná varianta kontrola s vodou neměla statisticky významný rozdíl mezi prvním a posledním odběrem. Příloha č. 15 ukazuje LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a  $H_2O_2$  s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

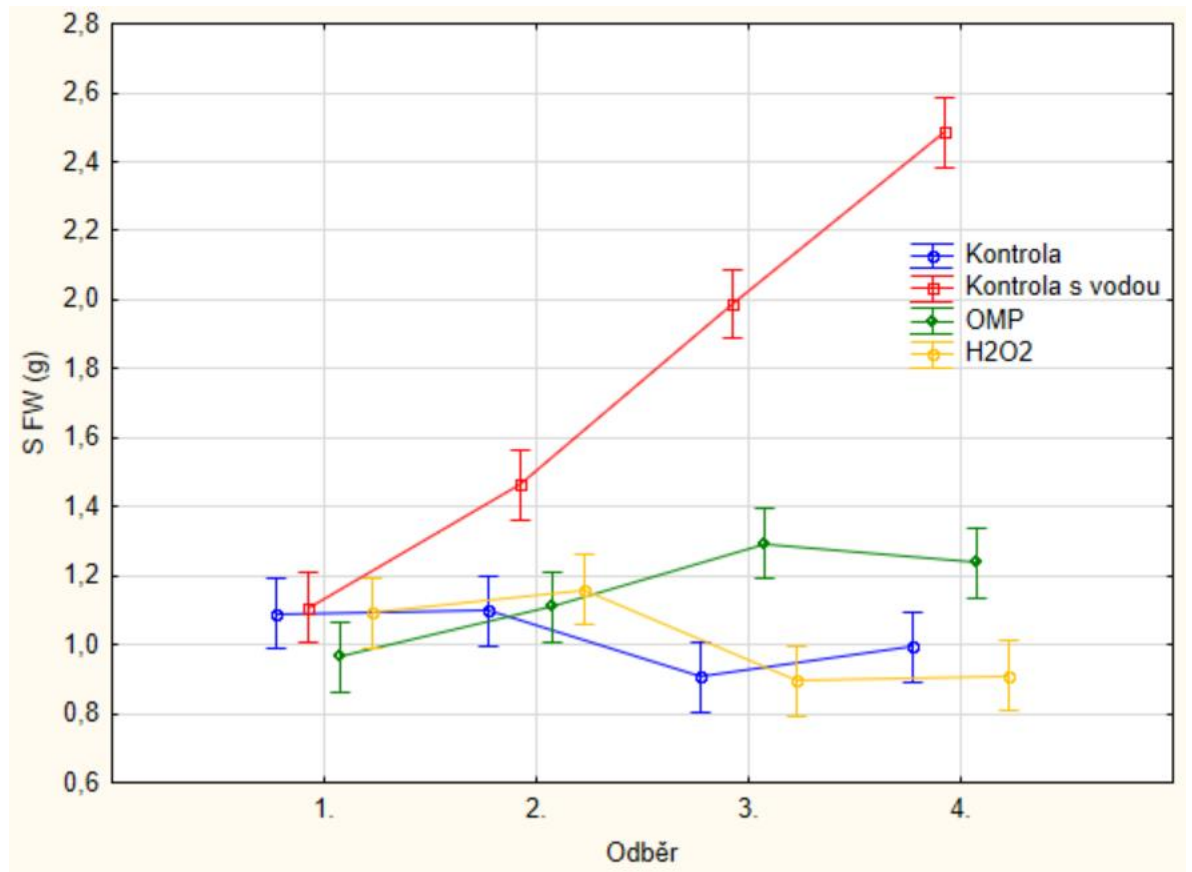


Obrázek č. 36: Čerstvá hmotnost (FW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou (Legenda: neošetřená semena (kontrola) při působení vodního stresu, neošetřená semena v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) při působení vodního stresu, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) při působení vodního stresu).

Čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou je zobrazena na obrázku č. 37. Při prvním odběru neexistoval mezi variantami statisticky významný rozdíl. Významný rozdíl nastal při druhém odběru, kdy hmotnost u varianty kontrola s vodou byla oproti ostatním variantám významně vyšší. Při třetím odběru byl již významný rozdíl mezi variantou OMP a variantami kontrola a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, které byly na stejné úrovni bez prokazatelného rozdílu. Hmotnost varianty OMP byla statisticky prokazatelně vyšší než hmotnosti zmíněných variant. Hmotnost varianty kontrola s vodou byla při třetím odběru stále nejvyšší. Při čtvrtém odběru nebyl statisticky významný rozdíl mezi variantou H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,910 g) a kontrola a variantami kontrola (0,993 g) a OMP (1,238 g). Rozdíl mezi variantami OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> již však statisticky významný byl. A to takový, že varianta OMP měla významně vyšší hmotnost než varianta H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Oproti všem variantám měla varianta kontrola s vodou při posledním odběru nejvyšší hmotnost (2,487 g).

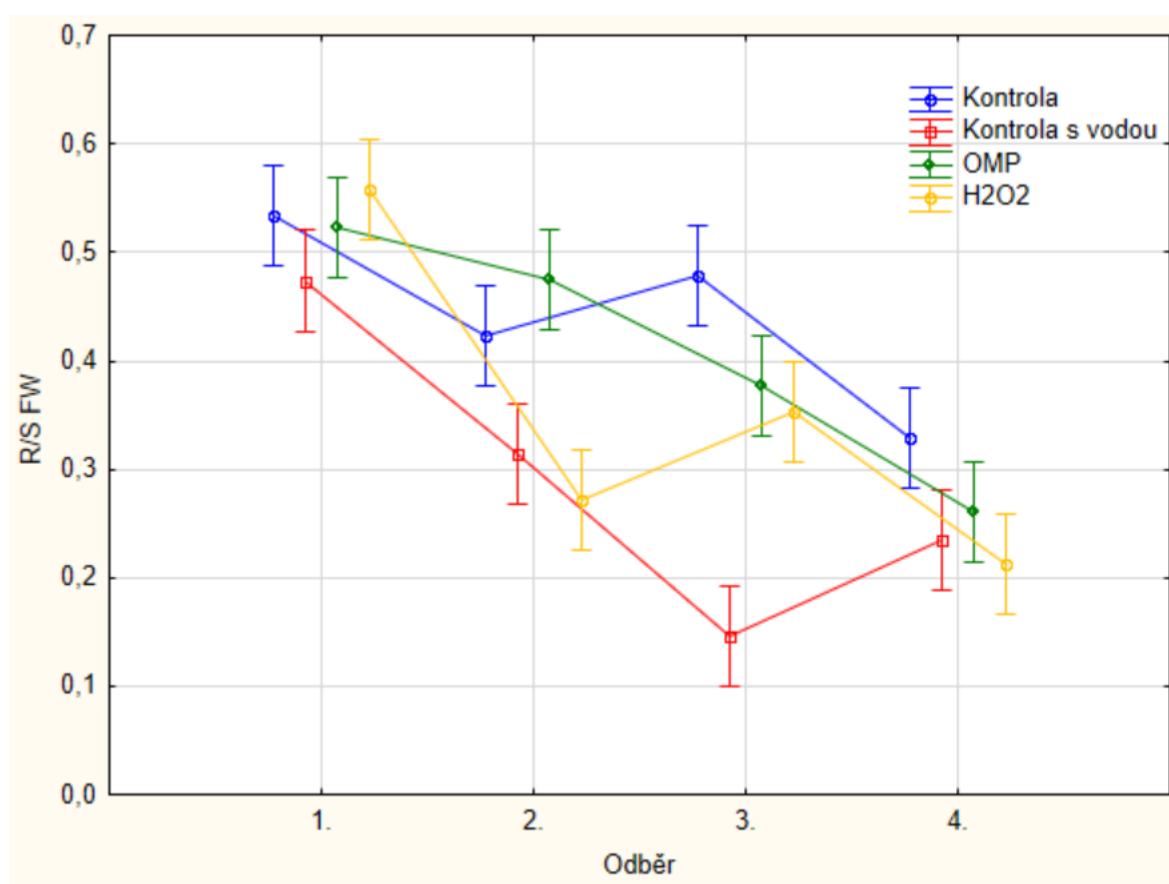
Podle naměřených hmotností stonků všech variant byl při třetím odběru prokazatelně zřejmý pozitivní vliv primingu semen pomocí omeprazolu u varianty OMP při vodním stresu. Při čtvrtém odběru byla hmotnost stonku u varianty OMP ze stresovaných variant nejvyšší, rozdíl oproti hmotnosti u varianty kontrola však nebyl statisticky významný. Hmotnosti u jednotlivých stresovaných variant se v průběhu pokusu statisticky významně neměnily naopak hmotnost stonku varianty kontrola s vodou se výrazně zvýšila.

Příloha č. 16 ukazuje LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.



Obrázek č. 37: Čerstvá hmotnost (FW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) při působení vodního stresu, neošetřená semena v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) při působení vodního stresu, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) při působení vodního stresu*).

Obrázek č. 38 představuje změny poměru čerstvé hmotnosti (FW) kořínku a stonku (R/S) v průběhu experimentu při působení vodního stresu s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou. Graf je brán z pohledu hmotnosti kořínku oproti hmotnosti stonku. U varianty kontrola nedošlo mezi prvním a třetím odběrem ke statisticky významným rozdílům v průběhu pokusu. Varianta kontrola s vodou neměla statisticky významné rozdíly mezi druhým a čtvrtým odběrem a mezi třetím a čtvrtým odběrem. OMP varianta v průběhu pokusu neměla mezi jednotlivými odběry statisticky významné rozdíly. Významný statistický rozdíl u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> byl jen u prvního odběru. V průběhu pokusu došlo mezi prvním a posledním odběrem u všech variant ke statisticky významnému snížení R/S, to znamená, že stonky rostly rychleji než kořeny. Příloha č. 17 ukazuje LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) poměru kořene a stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

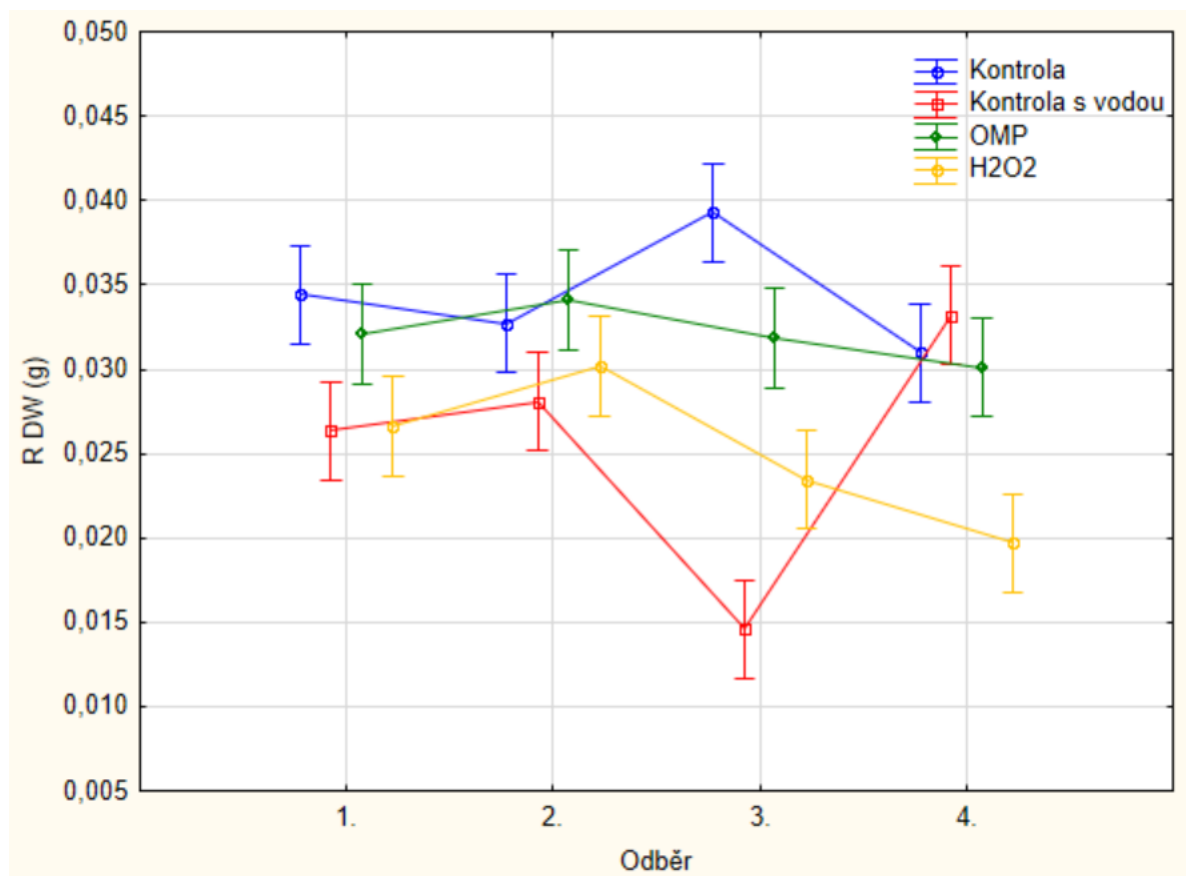


Obrázek č. 38: Změna poměru čerstvé hmotnosti (FW) kořínku a stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) při působení vodního stresu, neošetřená semena v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) při působení vodního stresu, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) při působení vodního stresu*).



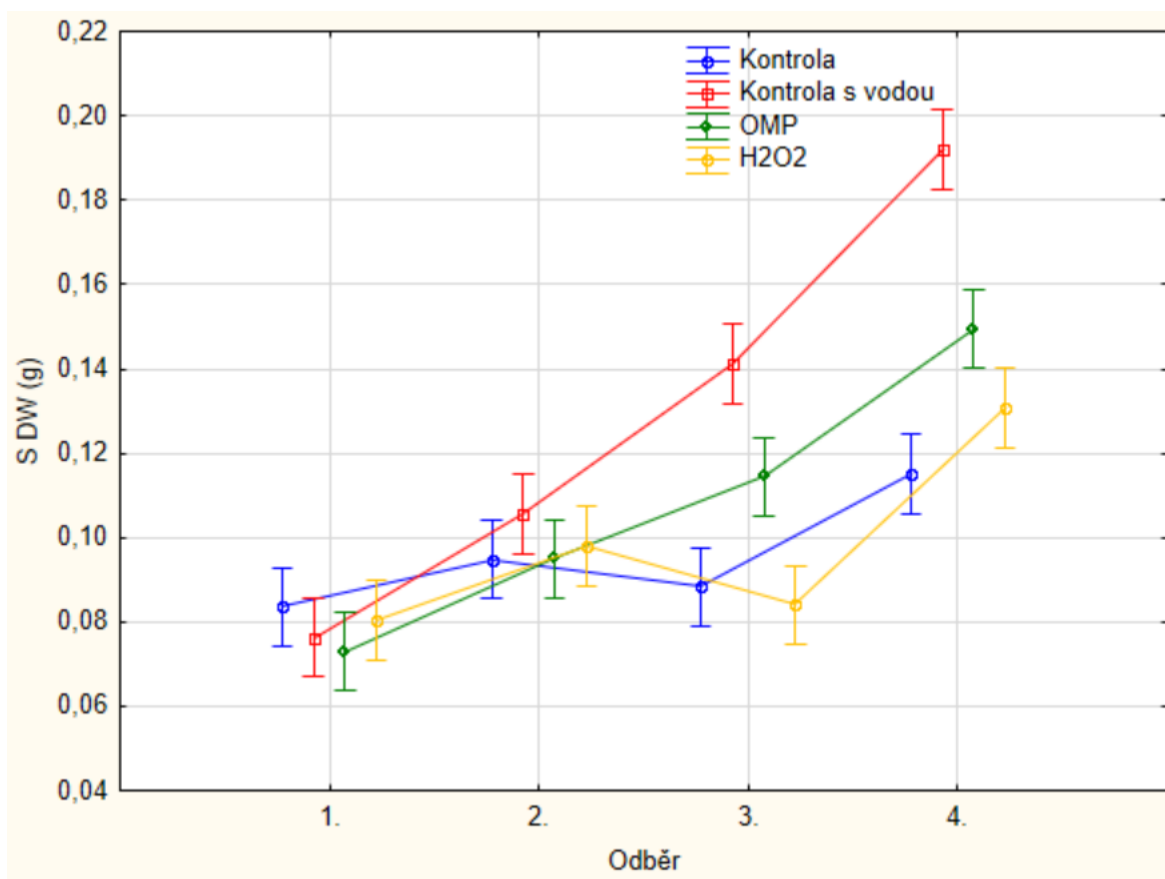
Hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou je zobrazena na obrázku č. 39. Při prvním a druhém odběru neexistoval mezi varianty statisticky významný rozdíl. U třetího odběru nebyl významný rozdíl u varianty kontrola a OMP, ale významné statistické rozdíly byly mezi ostatními variantami. Tyto rozdíly bylo možné vidět i grafickém znázornění hmotností, kdy třetí odběr ukázal výrazné rozdíly mezi variantami. U čtvrtého odběru byla nejnižší hmotnosti 0,019 g u varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, u které byl rozdíl od ostatních variant statisticky významný. Hmotnosti při čtvrtém odběru u variant kontrola 0,031 g, kontrola s vodou 0,033 g a OMP 0,030 g neměly mezi sebou statisticky významný rozdíl.

U varianty kontrola a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nedošlo mezi prvním a třetím odběrem ke statisticky významným rozdílům jednotlivých hmotností v průběhu pokusu, u hmotností varianty kontrola s vodou nebyl statisticky významný rozdíl mezi prvním a druhým odběrem. Pouze u varianty OMP nebyly v průběhu pokusu žádné statisticky významné rozdíly hmotností při jednotlivých odběrech. Příloha č. 18 ukazuje LSD test u sušiny (DW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.



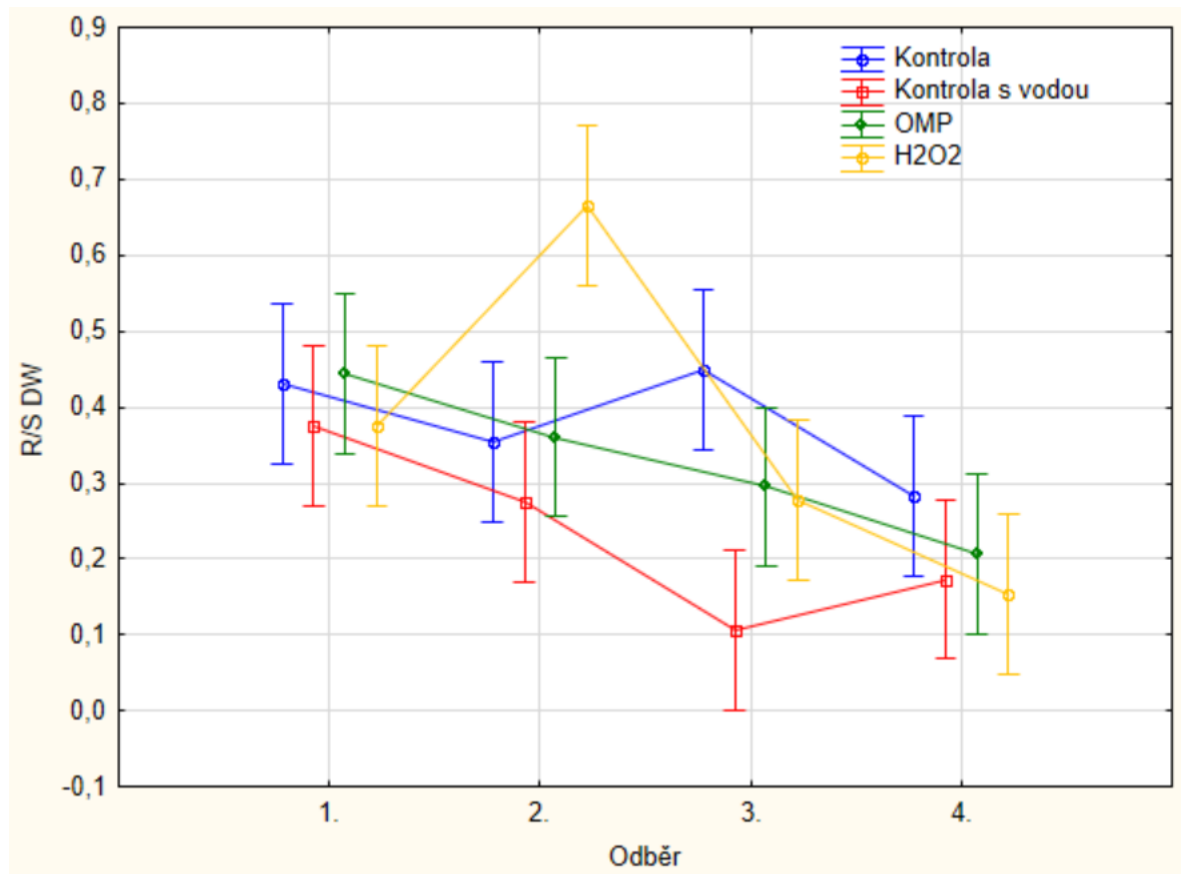
Obrázek č. 39: Hmotnost sušiny (DW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou (Legenda: neošetřená semena (kontrola) při působení vodního stresu, neošetřená semena v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) při působení vodního stresu, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) při působení vodního stresu).

Na obrázku č. 40 je hmotnost sušiny (DW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou. Při prvním a druhém odběru nebyl mezi variantami statisticky významný rozdíl. U třetího odběru byly hmotnosti u všech variant vyšší ale jen varianta kontrola s vodou vykazovala statisticky významný rozdíl oproti ostatním variantám. Významný statistický rozdíl byl také mezi variantou OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Čtvrtý odběr u varianty kontrola s vodou byla nejvyšší hmotnost 0,192 g, která prokázala statistický rozdíl. Zároveň byly významné rozdíly mezi stresovanými variantami u varianty kontrola a OMP. Mezi variantami OMP (0,149 g) a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,131 g) neexistovaly statistické významné rozdíly a stejně tomu bylo tak u variant kontrola (0,115 g) a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,131 g). Tyto prokazatelné rozdíly byly znatelné i v grafickém zpracování průměrných hmotností, kdy ale jen varianta kontrola s vodou měla s každým postupným odběrem statisticky významné rozdíly hmotností. Podle hmotností stonků všech variant nebyl prokazatelně zřejmý pozitivní vliv primingu semen u varianty OMP při vodním stresu. Příloha č. 19 ukazuje LSD test u sušiny (DW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.



Obrázek č. 40: Suchá hmotnost (DW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou (Legenda: neošetřená semena (kontrola) při působení vodního stresu, neošetřená semena v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) při působení vodního stresu, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) při působení vodního stresu).

Obrázek č. 41 představuje změny poměru suché hmotnosti (DW) kořínku a stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou. Graf je brán z pohledu hmotnosti kořínku oproti hmotnosti stonku. V průběhu pokusu u jednotlivých variant nebyly statisticky významné rozdíly poměrů mezi prvním a čtvrtým odběrem, pouze varianty H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> měla v průběhu pokusu statisticky významný rozdíl při druhém odběru. Příloha č. 20 ukazuje LSD test u sušiny (DW) poměru kořene a stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.



Obrázek č. 41: Změny poměru suché hmotnosti (DW) kořínku a stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách se závlahou (*Legenda: neošetřená semena (kontrola) při působení vodního stresu, neošetřená semena v podmínkách se závlahou, priming semen pomocí omeprazolu (OMP) při působení vodního stresu, priming semen pomocí peroxidu vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) při působení vodního stresu*).

## 6 Diskuze

Nedostatek vody je vážným environmentálním problémem, který omezuje produktivitu rostlin. Sucho, které způsobuje ztráty úrody, pravděpodobně převyšuje ostatní faktory, které mohou způsobit nízkou produktivitu rostlin, protože jak závažnost, tak trvání vodního deficitu je kritické (Farooq et al. 2009). Dopady sucha jsou nepředvídatelné, protože závisí na mnoha faktorech, jako je výskyt a úhrn srážek, schopnost půdy zadržovat vlhkost, zasolení půdy a působení vysokých nebo nízkých teplot a vysoké intenzity světla (Wery et al. 1994). I když jsou reakce rostliny na sucho relativně dobře známy, jejich reakci a výkonnost můžou ovlivnit i jiné stresové faktory. Rostliny reagují současně při působení např. sucha a nadměrného osvětlení, které se mohou na poli projevit v jeden okamžik (Zhou et al. 2007).

Nedostatek vody u rostlin způsobuje ztrátu turgoru uvnitř buněk, tím rostliny vadnou, růst se zpomalí nebo úplně zastaví a dochází ke změně barvy listů na světle zelenou až žlutou. Rostlina vytvoří méně listů menší velikosti, které mohou předčasně opadávat (Kúdela et al. 2013). Podle tohoto tvrzení lze říct, že průběh u vzcházejících rostlinek hrachu setého byl obdobný. U varianty, kde semena hrachu nebyla ničím ošetřena a byly v podmínkách vodního deficitu, bylo vidět s přibývajícím dnem postupné vadnutí a zpomalení růstu. Kvalita semen hrachu (*Pisum sativum* L.) závisí na různých faktorech ovlivňujících růst rostliny, včetně dostatečnému přísunu vody. Předchozí výzkumy odhalily, že hrách setý vykazuje snížený vegetativní růst při působení vodního stresu (Fougereux 1997). Znovu lze souhlasit a potvrdit, že v tomto experimentu bylo zaznamenáno snížení hmotnosti kořenů a stonků v čerstvé hmotě i v sušině při působení vodního stresu, což naznačuje, že hrách setý je citlivý na vodní stres.

Stres ze sucha je vícerozměrný stres a způsobuje také změny ve fyziologických, morfologických, biochemických a molekulárních vlastnostech rostlin. Působením stresu se postupně u rostlin vyvinuly mechanismy rezistence, které se liší v závislosti na rostlinných druzích. Mechanismy podílející se na toleranci rostlin vůči suchu se obvykle snaží udržet stejnou hladinu vody v buňkách při působení vodního nedostatku. Vyhýbání se suchu je další běžný mechanismus, kterým se rostliny brání (Salehi-Lisar & Bakhshaveshan-Agdamm 2016). Existují mnohé studie, které se snaží zlepšit odolnost plodin při působení vodního deficitu za měnících se okolností.

Hrách setý (*Pisum sativum*) je důležitá luštěnina pro výživu lidstva, která má široké využití. Pěstuje se v Turecku a dalších zemích středomořského regionu jako levný zdroj bílkovin (Okcu et al. 2005). Její semena obsahují 18 až 20 % sušiny, z toho 10 až 12 % je uhlohydrát a 5 až 8 % je protein. Na trh se dodává v čerstvém, zmraženém nebo konzervovaném stavu (Duzdemir et al. 2009). Luštěniny patří obecně mezi druhy citlivé na vodní stres. Projev vodního stresu se však může lišit podle kultivarů, které vykazují různé nároky na vodu. Potřeba vody se v průběhu vývoje rostliny mění. Rostliny hrachu jsou nejvíce citlivé na vodní deficit při klíčení semen a v období intenzivního růstu. Bylo zjištěno, že hrách je citlivější na vodní stres během květu a výplně tobolek než během vegetativního stádia (Martin & Jamieson 1996). Jednou z výhod hrachu je schopnost symbiotické fixace dusíku, což umožňuje snížení používání hnojiv při střídání plodin. Tento proces je však vysoce citlivý na působení abiotických stresorů, jako jsou sucho nebo slanost (Zahran 1999). Vliv vodního

deficitu je jednou z hlavních příčin omezující produkci a výnosovou stabilitu hrachu (Doré et al. 1998).

Vodní stres způsobuje u rostlin hrachu řadu fyziologických a biochemických procesů. Dehydratace v rostlinných tkáních vyvolává změny ve stabilitě a propustnosti buněčné membrány, což nakonec vede ke změnám funkcí v buňce. Dochází ke snížení obsah vody, ke ztrátě turgoru, snižuje se vodní potenciál a nastává uzavření průduchů (Jaleel et al. 2008). Tyto reakce na vodní stres mohou vyvolat adaptabilní procesy nebo dokonce způsobit poškození buněk (Araújo et al. 2015). Ve všech stresujících podmínkách je dostupnost vody pro rostlinné buňky omezená. Proto se buňky snaží zachránit dostupnou vodu tím, že se vyhnou aktivnímu růstu. Významné snížení velikosti a počtu listů souvisí také se snížením akumulace biomasy. Zmenšená plocha listů snižuje konečný výnos v důsledku omezené fotosyntézy (Ge et al., 2012). V důsledku nedostatku vody rostlina uzavře průduchy, což vede k omezení přístupu CO<sub>2</sub> a snížení aktivity enzymů, které se účastní fotosyntézy. Tím je celý proces fotosyntézy narušen. Současný výzkum ukázal, že rostliny hrachu pěstované při nedostatku vody během kvetení reagovaly se sníženou intenzitou fotosyntézy (Pszczółkowska et al. 2003).

Podle těchto všech tvrzení je možné potvrdit, že hrách je citlivý na nedostatek vody. Růst rostlin při nedostatečném množství vody byl výrazně zpomalen, došlo ke zmenšení listové plochy a omezení dlouhivého růstu rostlin. Zmenšením listové plochy došlo k ovlivnění všech fyziologických a biochemických procesů v rostlině jako je třeba fotosyntéza. Rostlinky hrachu by při takovýchto podmínkách rozhodně nedosáhli určitého požadovaného výnosu.

Mezi způsoby, jak ochránit a zvýšit odolnost rostlin vůči působení vodního stresu v podobě vodního nedostatku, patří tzv. priming semen. Priming semen je jednou z technik široce používaných k zajištění vysokého procenta klíčivosti semen s optimální populací rostlin. O primingu semen existují výzkumné studie, které vykazují pozitivní výsledky klíčení za nepříznivých podmínek (Peyvast et al., 2010). Klíčivost je složitý proces mnoho metabolických, buněčných a molekulárních systémů uvnitř semene. Klíčivost semen je obvykle nejkritičtější stádium, kdy může dojít k největšímu poškození při působení nepříznivých podmínek (Almansouri et al., 2001). Pokrok v technologii osiva, jakým je i priming semen, vedl k lepší klíčivosti semen. Jedná se o ošetření semen různými stimulatory růstu, kde základním cílem je zlepšit klíčivost za specifických podmínek prostředí, jako je například vodní deficit. Aplikace v praxi vykazuje zvýšené procento klíčení, zvýšenou rychlost klíčení, zlepšenou vitalitu růstu semen (McDonald 2000). Použitý priming semen zahrnuje omezené nasávání vody pro dostatečnou hydrataci a rozvoj metabolických procesů (Black & Bewley, 2000).

Byl proveden experiment s cílem posoudit vhodnost primingu semen pomocí omeprazolu se správnou koncentrací pro vyšší procento klíčivosti a odolnosti vůči vodnímu stresu u hrachu setého. Chemické sloučeniny, které podporují toleranci vůči vodnímu stresu, jako je omeprazol, vykazaly v poslední době slibné výsledky. Omeprazol prokázal, že může být prostředkem, který zvyšuje odolnost rostliny vůči vodnímu stresu.

Omeprazol je lék, který inhibuje sekreci žaludku změnou aktivity H<sup>+</sup> / K<sup>+</sup> -ATPázy. Objev omeprazolu vedl k novým pohledům na mechanismus sekrece žaludku, znalost geneze některých gastrointestinálních nádorů a vývoj nových způsobů léčby kyselých peptických chorob (Maton 1991). Homology rostlinných protonových pump jsou žaludeční H<sup>+</sup> / K<sup>+</sup> -

ATPázy, členové skupiny ATPáz P2 typu, zodpovědné za sekreci žaludeční kyseliny. Zavedení a použití substituovaných benzimidazolů jako inhibitorů protonové pumpy zaměřených na žaludeční  $H^+ / K^+$ -ATPázy bylo zásadní pro léčbu peptických vředů a gastroezofageální refluxní choroby (Rouphael et al. 2018).

Protonová pumpa je definována jako biochemický mechanismus, který zprostředkovává povinnou vazbu vnějšího chemického procesu až k vnitřnímu transportu protonů přes biologickou membránu, celkovou termodynamiku celý proces vede ke snížení volné energie. Aktivita protonové pumpy je nepřetržitě modulována všemi důležitými faktory regulujícími fyziologii rostlin, přičemž aktivace/deaktivace se projevuje především v reakci na abiotické stresy (Marre & Ballarin-Denti 1985).

Některé nedávné studie prokázaly prospěšnou roli omeprazolu při působení abiotických stresů na rostliny. Van Oosten et al. (2017) pozorovali, že míra prospěšnosti omeprazolu na růst rostlin závisí na jeho použité koncentraci. Nízké dávky (0,001 mM) stimulovaly významné zvýšení růstu, zatímco vyšší dávka neměla žádný stimulační účinek (0,01 mM), koncentrace 0,045 mM inhibovala růst úplně. Aplikace omeprazolu při koncentraci 0,001 mM způsobila skoro 50% zvýšení čerstvé hmoty (FW) a sušiny (DW) stonku. Nejvyšší dávka (0,045 mM) inhibovala růst stonků a snížila čerstvou hmotu (FW) a sušinu (DW) o 32 %. Stimulační účinek omeprazolu nebyl omezen pouze na výhonky, ale stimuloval též růst kořenů. U koncentrace 0,001 mM se čerstvá hmotnost (FW) a sušina (DW) kořene zvýšila o 55 %. Vyšší koncentrace (0,01 mM a 0,045 mM) nijak významně neovlivnily růst kořene.

U laboratorního pokusu, který se zaměřil na zjištění vhodné koncentrace omeprazolu pro ošetření semen hrachu setého, jsou výsledky podle podobných použitých koncentrací (0,001 mM; 0,01 mM; 0,1 mM; 0,5 mM; 1 mM) rozdílné. Hmotnost kořene v čerstvé hmotě (FW) a v sušině (DW) vykazuje největší nárůst u koncentrace 1 mM. Největší hmotnost stonku v čerstvé hmotě (FW) je u koncentrace 0,5 mM a v sušině (DW) vykazuje stoněk největší nárůst hmotnosti u koncentrace 0,01 mM. Podle výsledných hmotností byla pro další pokusy zvolena koncentrace 1 mM pro priming semen hrachu setého. Tyto výsledky lze porovnat s Van Oosten et al. (2017), kde byly pozorovány stejná kritéria po ošetření rostlin omeprazolem, ale výsledky jsou naprosto rozdílné.

Vliv aplikace omeprazolu na rostliny v nestresovém prostředí prokázal zvýšení kořenové biomasy a tím zvýšení příjmu živin a vody (Carillo et al. 2019). Toto tvrzení lze porovnat s naměřenými hodnotami u vlivu aplikace omeprazolu a na rostliny hrachu setého v podmínkách se závlahou. Podle všech hodnocených kritérií (průměrná váha kořene a stonku v čerstvé hmotě (FW) a v sušině (DW)) neměl omeprazol žádný významný vliv na růst rostlin hrachu setého v podmínkách se závlahou. Přestože stoněk v čerstvé hmotě (FW) i v sušině (DW) vykazuje mírný nárůst hmoty, ze statistického pohledu není tento rozdíl významný.

Jedním z vybraných kritérií je poměr R/S v čerstvé hmotě (FW) a v sušině (DW). Poměr „root:shoot“, který bývá značen R/S, patří mezi nejčastěji měřené růstové charakteristiky z hlediska produkční biologie rostlin. Poměr mezi podzemní a nadzemní částí se musí nacházet ve vyváženém stavu. Mění se podle různých životních forem, ale i podle rostlinných druhů. Platí, že poměr R/S se zvyšuje, čím jsou pěstované rostliny víceleté. Většina pěstovaných rostlin v zemědělství jsou v našich podmínkách jednoleté a mají vysoký poměr mezi podzemní a nadzemní částí rostliny. Kořeny zabírají velké množství z celkové biomasy (Šerá 2013).

Podle naměřených hodnot u provedeného experimentu se kořeny za určité časové období naopak snižovaly. Poměr R/S se tak zvyšoval ve prospěch stonku. Tento jev se projevil u všech variant v podmínkách se závlahou i u variant, na které působil vodní stres. Ani zde omeprazol neměl významný pozitivní vliv na růst rostlin.

Omeprazol se začal používat jako jeden ze stimulátorů zasolení půdy a stimulátorů vegetativního růstu u rajčat (Rouphael et al. 2018; Van Oosten et al. 2017). Nedávné práce, které se zaměřily na toleranci zasolení u bazalky (*Ocimum basilicum*) naznačily, že aplikace omeprazolu mohou mít různé účinky na různé genotypy (Cirillo et al. 2019). Doposud existuje jen málo studií, které by se přímo zaměřovaly na zkoumání účinků omeprazolu jako látky, která zmírňuje vodní stres u rostlin.

Molekuly omeprazolu i při velmi nízkých koncentracích mohou potenciálně zvýšit toleranci a odolnost rostlin vůči abiotickým stresům (Carillo et al. 2019). Omeprazol, který je známý jako inhibitor protonové pumpy, významně zlepšil růstu kořenů při mechanickém poškození. Okamoto et al. (2018) zjistili optimální koncentraci omeprazolu (mezi 0,001 a 0,01 mM), která omezila snižování růstu kořenů při mechanickém poškození. Tato studie také potvrzuje, že ošetření rostlin omeprazolem má pozitivní účinky při působení stresorů. V jiné studii, která se zaměřovala na luční louky ošetřené omeprazolem, kde byl poté navozen vodní stres, vykazovaly tyto louky zvýšený vodní potenciál, což je důkaz tolerance vůči vodnímu stresu (Stanton & Mickelbart 2014). Snížená ztráta vody a udržení vodního potenciálu po ošetření omeprazolem dokazuje zvýšený příjem vody v důsledku zvýšeného růstu kořenů a celkového vegetativního růstu rostliny (Elansary & El-Abedin 2019).

Vliv aplikace omeprazolu na rostliny hrachu setého v podmínkách vodního deficitu byl pozorován v několika kritériích. U varianty, která byla ošetřena omeprazolem, byly v průběhu pokusu hmotnosti kořene v čerstvé hmotě (FW) vyšší oproti ostatním stresovaným variantám. Podle statistického vyhodnocení se ale neprokázal pozitivní vliv primingu semen při vodním stresu. Ani hmotnost sušiny (DW) kořene u varianty ošetřené omeprazolem nevykazuje významný pozitivní vliv na rostliny hrachu setého v podmínkách vodního deficitu. Hmotnost sušiny (DW) stonku vykazuje vyšší nárůst hmoty oproti ostatním stresovaným variantám, ale podle statistického vyhodnocení opět neexistuje významný. Pouze u čerstvé hmotnosti (FW) stonku se při třetím a čtvrtém odběru ukazuje prokazatelně zřejmý pozitivní vliv primingu semen pomocí omeprazolu při vodním stresu podle naměřených hmotností stonků, které jsou vyšší než u ostatních variant.

Elansary & El-Abedin (2019) určili, že rostliny ošetřené omeprazolem vykazovaly vyšší poměry složení mentolu ve srovnání s kontrolními rostlinami. Tato zjištění ukazují, že omeprazol může zmírnit vodní stres u máty peprné zvýšením vegetativního a kořenového růstu. Rostliny máty peprné vystavené omeprazolu byly při srovnání s kontrolními variantami ve všech podmínkách vyšší. Zdá se, že tento výsledek potvrzuje, že omeprazol zmírnil vodní stres a zvýšil růst ošetřených rostlin, což slouží jako mechanismus přizpůsobení vůči vodnímu stresu. Účinek omeprazolu na suchou hmotnost kořenů během stresových podmínek podporuje závěr, že omeprazol interaguje s ABA a auxiny.

Podle všech získaných tvrzení a vyhodnocení experimentu vlivu aplikace omeprazolu na rostliny při působení vodního stresu lze říct, že možná záleží nejen na druhu ošetřené rostliny, ale i na velikosti dávky omeprazolu. Hrách setý má semena větší než máta, bazalka nebo rajče, možná proto vyšla při experimentu vyšší koncentrace omeprazolu

s pozitivním účinkem. Také lze potvrdit, že rostliny ošetřené omeprazolem vykazují větší nárůst hmoty oproti stresovaným jinak ošetřeným nebo neošetřeným variantám, i když ze statistického vyhodnocení hmotností mnohokrát nebyl potvrzen prokazatelný pozitivní vliv omeprazolu na rostliny. Pozitivní vliv byl potvrzen pouze u hmotností stonku v čerstvé hmotě (FW), kde je nárůst hmoty velmi výrazný. Omeprazol má tedy částečný pozitivní vliv na rostliny při působení vodního deficitu.

Ačkoli účinnost omeprazolu při vyvolávání tolerance vůči působení stresu je částečně objasněna, je důležité zjistit molekulární podstatu zlepšené tolerance vůči stresu. Nejsou vysvětlené fyziologické a biochemické mechanismy, které při ošetření omeprazolem působí, což by se podpořilo využívání omeprazolu v zemědělství (Nakabayashi & Saito 2015).



## 7 Závěr

U experimentu bylo pozorováno, jaký efekt má priming pomocí omeprazolu na semena u hrachu setého v podmínkách vodního deficitu. Experiment se rozdělil na dvě části. Nejprve byla testována fytotoxicita omeprazolu u zvolené koncentrační řady (0,001 mM; 0,01 mM; 0,1 mM; 0,5 mM; 1 mM). Testovanými kritérii byla klíčivost semen, délka a hmotnost (FW a DW) kořenu a stonku. Na základě výsledků byla zvolena koncentrace pro priming semen. Poté se ošetřená semena hrachu vysela do nádobových pokusů a byla vystavena postupnému vodnímu stresu přerušením závlivky. V opakovaných odběrech byl sledován růst nadzemní a podzemní biomasy (FW a DW) v podmínkách se závlahou a v podmínkách vodního deficitu.

- U laboratorního pokusu, který testoval fytotoxicitu omeprazolu u zvolené koncentrační řady pro priming semen hrachu setého, byly výsledky rozdílné. Hmotnost kořene v čerstvé hmotě (FW) a v sušině (DW) vykazovala největší nárůst u koncentrace 1 mM. Největší hmotnost stonku v čerstvé hmotě (FW) byla u koncentrace 0,5 mM a v sušině (DW) vykazoval stonek největší nárůst hmotnosti u koncentrace 0,01 mM.
- Podle výsledných hmotností u testovaných kritériích byla pro další pokusy zvolena koncentrace 1mM pro priming semen hrachu setého.
- Aplikace omeprazolu v podmínkách vodního deficitu ukázala u kořene v čerstvé hmotě (FW) a hmotnosti sušiny (DW) vyšší hmotnosti oproti ostatním variantám. Ze statistického pohledu se ale neprokázal pozitivní vliv primingu semen při vodním stresu.
- U čerstvé hmotnosti (FW) stonku se při třetím a čtvrtém odběru ukázal prokazatelně zřejmý pozitivní vliv primingu semen při vodním stresu. Naopak hmotnost sušiny (DW) stonku vykazovala vyšší nárůst hmoty, ale podle statistického vyhodnocení opět neexistoval významný rozdíl.
- Podle získaných hmotností se poměr R/S zvyšoval ve prospěch stonku u všech variant v podmínkách se závlahou i u variant, na které působil vodní stres. Omeprazol, zde ale neměl statisticky významný pozitivní vliv na růst rostlin.
- Celkové zhodnocení může potvrdit, že rostliny ošetřené omeprazolem vykazují větší nárůst hmoty oproti ostatním variantám, rozdíly hmotností nebyly statisticky významné. Pozitivní vliv byl potvrzen pouze u hmotností stonku v čerstvé hmotě (FW).
- Byla potvrzena cílená hypotéza, že priming semen omeprazolem zlepšil růst rostlin v podmínkách vodního deficitu. Omeprazol tak má určitý pozitivní vliv na rostliny při působení vodního deficitu.

## 8 Literatura

- Agrios GN. 2005. Plant pathology. Elsevier Academic Press, 5th ed. Boston.
- Almansouri M, Kinet JM, Lutts S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum*). *Plant and Soil* **231**: 243-254.
- Araújo SS, Beebe S, Crespi M, Delbreil B, González EM, Gruber V, Lejeune-Henaut I, Link W, Monteros MJ, Prats E, Rao I, Vadez V, Vaz Patto MC. 2015. Abiotic stress responses in legumes: strategies used to cope with environmental challenges. *Crit Rev Plant Sci* **34**: 237–280.
- Atanasová H. 1996. *Zahradnický slovník naučný*, 2 sv. Č-H. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha.
- Athar HR, Ashraf M. 2008. Strategies for Crop Improvement Against Salinity and Drought Stress: An Overview. Pages 1-18 in Ashfar M, Ozturk M, editors. *Salinity and water stress: improving crop efficiency*. Springer Science & Business Media. Dordrecht.
- Bewley JD, Bradford K, Hilhorst H. 2012. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science & Business Media. New York.
- Bewley JD. 1997 Seed germination and dormancy. *The plant cell* **9.7**: 1055.
- Black M, Bewley JD. 2000. *Seed technology and its biological basis*. Sheffield Academic Press Ltd. Sheffield.
- Blum A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research* **56.11**: 1159-1168.
- Bray EA. 1997. Plant responses to water deficit. *Trends in plant science* **2.2**: 48-54.
- Carillo P, Woodrow P, Raimondi G, El-Nakhel C, Pannico A, Kyriacou MC, Rouphael Y. 2019. Omeprazole promotes chloride exclusion and induces salt tolerance in greenhouse basil. *Agronomy* **9.7**: 355.
- Cirillo V, Van Oosten MJ, Izzo M, Maggio A. 2019. Omeprazole treatment elicits contrasting responses to salt stress in two basil genotypes. *Annals of Applied Biology* **174.3**: 329-338.
- Cramer GR, Urano K, Delrot S, Pezzotti M, Shinozaki K. 2011. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC plant biology* **11.1**: 163.
- Doré T, Meynard MJ, Sebillotte M. 1998. The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea crop (*Pisum sativum*) yield under agricultural conditions. *Eur J Agron* **8**:29–37.
- Duzdemir O, Kurunc AHMET, Unlukara A. 2009. Response of pea (*Pisum sativum*) to salinity and irrigation water regime. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **15.5**: 400-409.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita DBSMA, Basra SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture*. Springer, Dordrecht 153-188.

- Fougereux JA, Doré T, Ladonne F, Fleury A. 1997. Water stress during reproductive stages affects seed quality and yield of pea (*Pisum sativum* L.). *Crop Science* **37.4**: 1247-1252.
- Ge T, Sui F, Bai L, Tong C, Sun N. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. *Acta Physiologiae Plantarum* **34**: 1043-1053.
- Grzesiak MT, Waligórski P, Janowiak F, Marcińska I, Hura K, Szczyrek P, Głąb T. 2013. The relations between drought susceptibility index based on grain yield (DSI GY) and key physiological seedling traits in maize and triticale genotypes. *Acta physiologiae plantarum* **35.2**: 549-565.
- Hnilička F, Středa T. 2016. Rostliny v podmínkách stresu-abiotické stresory. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Hopkins WG, Hüner N. 2008. Introduction to Plant Physiology fourth edi. The University of Western Ontario, London.
- Chapekar SS, Jaiswal V, Ahmad I, Gaur R, Ramchiary N. 2018. Progress and Prospects in Capsicum Breeding for Biotic and Abiotic Stresses. Pages 279-322 in Vats S, editors. Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants. Springer. Singapore.
- Chavarria G, Dos Santos HP. 2012. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro científico (ALICE).
- Chory J, Chatterjee M, Cook RK, Elich T, Fankhauser C, Li J, Reed J. 1996. From seed germination to flowering, light controls plant development via the pigment phytochrome. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **93.22**: 12066-12071.
- Jackson RB, Pockman WT, Hoffmann WA. 1999. The structure and function of root systems. *Handbook of functional plant ecology*, 195-220.
- Jaleel CA, Manivannan P, Lakshmanan GMA, Gomathinayagam M, Panneerselvam R. 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids Surf. B: Biointerfaces* **61**: 298-303.
- Jones HG. 2007. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *Journal of experimental botany* **58.2**: 119-130.
- Kathpalia R, Bhatla SC. 2008. Plant Water Relations. Pages 3-37 in Bhatla SC, Lal MA, editors. *Plant physiology, development and metabolism*. Springer. Singapore.
- Kathpalia R, Bhatla SC. 2008. Seed Dormancy and Germination. Pages 885-906 in Bhatla SC, Lal MA, editors. *Plant physiology, development and metabolism*. Springer. Singapore.
- Kúdela, V. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia Živá příroda. Praha.
- Kumar S, Sachdeva S, Bhat KV, Vats S. 2018. Plant Responses to Drought Stress: Physiological, Biochemical and Molecular Basis. Pages 1-26 in Vats S, editors. Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants. Springer. Singapore.
- Lal MA, Kathpalia R, Sisodia R, Shakya R. 2008. Biotic stress. Pages 1028-1095 in Bhatla SC, Lal MA, editors. *Plant physiology, development and metabolism*. Springer. Singapore.

- Lambers H, Chapin III FS, Pons TL. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer. New York.
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology, Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, Fourth Edition. Springer. New York.
- Lichtenthaler HK. 1998. The stress concept in plants: an introduction. *Annals of the New York Academy of Sciences* **851.1**: 187-198.
- Long SP, Ort DR. 2010. More than taking the heat: crops and global change. *Current opinion in plant biology* **13.3**: 240-247.
- Maffei M, Bossi S, Spiteller D, Mithöfer A, Boland W. 2004. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves. I. Membrane potentials, intracellular calcium variations, oral secretions, and regurgitate components. *Plant Physiology* **134.4**: 1752-1762.
- Maria Duca M. 2015. *Plant Physiology*. Springer International Publishing. University of Academy of Sciences of Moldova.
- Marre E, Ballarin-Denti A. 1985. The proton pumps of the plasmalemma and the tonoplast of higher plants. *Journal of bioenergetics and biomembranes* **17.1**: 1-21.
- Martin RJ, Jamieson PD. 1996. Effect of timing and intensity of drought on the growth and yield of field peas (*Pisum sativum* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **24.2**: 167-174.
- Maton PN. 1991. Omeprazole. *New England Journal of Medicine* **324.14**: 965-975.
- McDonald MB. 2000. Seed priming. *Seed technology and its biological basis*. Sheffield Academic Press, Sheffield 287-325.
- Miransari M, Smith DL. 2014. Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany* **99**: 110-121.
- Nakabayashi R, Saito K. 2015. Integrated metabolomics for abiotic stress responses in plants. *Current opinion in plant biology* **24**: 10-16.
- Nobel PS. 2009. *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press is an imprint of Elsevier. Canada.
- Nonogaki H, Bassel GW, Bewley JD. 2010. Germination—still a mystery. *Plant Science* **179.6**: 574-581.
- Okamoto T, Takatani S, Noutoshi Y, Motose H, Takahashi T. 2018. Omeprazole enhances mechanical stress-induced root growth reduction in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology* **59.8**: 1581-1591.
- Okcu G, Kaya MD, 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* **29.4**: 237-242.
- Peyvast GH, Olfati JA, Piri M, Mahdieh MB. 2010. Priming effect on cucumber germination at low temperatures. *Acta Hort.* **871**: 615-616.
- Procházka S, Macháčková I, Krekule J, Šebánek J, Gloser J, Havel L, Nátr L, Prášil I, Sladký Z, Šantrůček J, Tesařová M, Vyskot B. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha.

- Pszczółkowska A, Olszewski J, Płodzień K, Kulik T, Fordoński G, Żuk-Gołaszewska K. 2003. Effect of the water stress on the productivity of selected genotypes of pea (*Pisum sativum* L.) and yellow lupin (*Lupinus luteus* L.). *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* **6.1**: 2.
- Rouphael Y et al. 2018. Physiological and metabolic responses triggered by omeprazole improve tomato plant tolerance to NaCl stress. *Frontiers in plant science* **9**: 249.
- Ruelland E. 2017. Plant responses to chilling temperatures. *Plant Stress Physiology*. CABI, Wallingford, Oxfordshire. UK 97-137.
- Salehi-Lisar SY, Bakhshayeshan-Agdam H. 2016. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. In *Drought Stress Tolerance in Plants*. Springer, Cham. Vol 1 (pp. 1-16).
- Shao HB, Chu LY, Jaleel CA, Zhao CX. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologiques* **331.3**: 215-225.
- Singh J, Thakur JK. 2018. *Photosynthesis and Abiotic Stress in Plants*. Springer. Singapore.
- Singh J, Thakur JK. 2018. *Photosynthesis and Abiotic Stress in Plants*. Pages 27-46 in Vats S, editors. *Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants*. Springer. Singapore.
- Slafer GA, Whitechurch EM. 2001. Manipulating wheat development to improve adaptation. *Application of physiology in wheat breeding* 160-170.
- Song Y, Chen Q, Ci D, Shao X, Zhang D. 2014. Effects of high temperature on photosynthesis and related gene expression in poplar. *BMC plant biology* **14.1**: 111.
- Stanton KM, Mickelbrat MV. 2014. Maintenance of water uptake and reduced water loss contribute to water stress tolerance of *Spiraea alba* Du Roi and *Spiraea tomentosa* L. *Horticulture research* **1.1**: 1-7.
- Taiz L, Zeiger E. 2006. *Plant physiology*. Sinauer Associates. Sunderland MA. US.
- Thomas B, Murphy DJ, Murray BG. 2016. *Encyclopedia of applied plant sciences*. Academic Press.
- Van Oosten MJ, Silletti S, Guida G, Cirillo V, Di Stasio E, Carillo P, Raimondi G. 2017. A benzimidazole proton pump inhibitor increases growth and tolerance to salt stress in tomato. *Frontiers in plant science* **8**: 1220.
- Wery J, Silim SN, Knights EJ, Malhotra RS, Cousin R. 1994. Screening techniques and sources and tolerance to extremes of moisture and air temperature in cool season food legumes, *Euphytica* **73**: 73–83.
- Yigit N, Sevik H, Cetin M, Kaya N. 2016. Determination of the Effect of Drought Stress on the Seed Germination in Some Plant Species. Pages 43-62 in Rahman IMM, Begum ZA, Hasegawa H, editors. *Water Stress in Plants*. BoD–Books on Demand.
- Zahran HH. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiol Mol Biol Rev* **63**:968–989.
- Zhou Y, Lam HM, Zhang J. 2007. Inhibition of photosynthesis and energy dissipation induced by water and high light stresses in rice, *J. Exp. Bot.* **58**: 1207–1217.

### **Internetové zdroje**

- Biology Discussion. 2012. Seed Germination Types (With Diagram). Available from <http://www.biologydiscussion.com/seed/germination/seed-germination-types-with-diagram/15789> (accessed February 2020).
- Blox Grow. 2017. Plant Stresses and Biostimulants. Available from <https://www.bloxbloom.co.uk/plant-stresses-and-biostimulants> (accessed February 2020).
- Free Encyclopedia for Students-Learn with Ease. 2014. Transverse Section of Root Diagram Transport. Human Anatomy Charts. Available from [https://psychicraft.com/61618\\_transverse\\_section\\_of\\_root\\_diagram\\_transport/](https://psychicraft.com/61618_transverse_section_of_root_diagram_transport/) (accessed February 2020).
- Goosen-Aurecon J. 2015. Opening and Closing of Stomata Source. Available from [https://www.researchgate.net/figure/Opening-and-closing-of-stomata-source-everythingsciencecoza-1\\_fig1\\_282030802](https://www.researchgate.net/figure/Opening-and-closing-of-stomata-source-everythingsciencecoza-1_fig1_282030802) (accessed February 2020).
- Science Direct. 2010. Biochemistry Genetics and Molecular Biology. Decision Making in Medicine (Third Edition). Available from <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/water-deficit> (accessed February 2020).

## 9 Samostatné přílohy

Příloha č. 1: Naměřené hmotnosti kořene v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací.

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	****	****	
<b>Kontrola</b>	1,596600	****	****	
OMP 0.5 mM	1,709000	****	****	
OMP 1 mM	1,981400		****	****
Peroxid	2,227800			****

Příloha č. 2: Naměřené hmotnosti stonků v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací.

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	****	
<b>Kontrola</b>	1,538800	****	
OMP 0.5 mM	1,540400	****	

Příloha č. 3: Poměry naměřené hmotnosti kořene a stonku v čerstvé hmotě podle použitých variant koncentrací.

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

Příloha č. 4: Naměřená hmotnost sušiny kořene podle použitých variant koncentrací.

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	****		****	
<b>Kontrola</b>	0,151440	****	****		
OMP 0.01 mM	0,155580	****	****		
OMP 0.1 mM	0,157540		****		
OMP 1 mM	0,172360				****
Peroxid	0,175160				****

Příloha č. 5: Naměřená hmotnost sušiny stonku podle použitých variant koncentrací.

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	****	****	
<b>Kontrola</b>	0,131800	****		
OMP 0.1 mM	0,132180	****		
OMP 0.01 mM	0,133220	****		

Příloha č. 6: Poměry naměřené hmotnosti sušiny kořene a stonku podle použitých variant koncentrací.

LSD test; proměnná R/S DW (tab koncentrace omp) Homogenní skupiny, alfa = .05000 Chyba: meziskup. PČ = .01728, sv = 28.000			
Varianta	R/S DW Průměr	1	2
OMP 0.001 mM	1,128356	****	
<b>Kontrola</b>	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		****



Příloha č. 7: Průběh růstu kořene podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období.

"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	0,74800	****											
OMP 1 mM	1	0,84500	****											
OMP 0.1 mM	1	0,87800	****											
Kontrola	1	0,89100	****											
OMP 0.01 mM	1	0,90300	****	****										
OMP 0.001 mM	1	0,96400	****	****										
Peroxid	1	1,26400		****										
OMP 0.5 mM	2	2,77800			****									
OMP 0.1 mM	2	2,95800			****									
OMP 0.01 mM	2	3,07000			****	****								
OMP 1 mM	2	3,07460			****	****								
OMP 0.001 mM	2	3,08400			****	****								
Kontrola	2	3,38100				****								
Peroxid	2	4,16300					****							
OMP 0.5 mM	3	4,56000						****						
OMP 0.1 mM	3	4,58400						****						
OMP 0.001 mM	3	4,64200						****						
OMP 1 mM	3	4,80800						****	****					
Kontrola	3	5,04600							****					
OMP 0.01 mM	3	5,05000							****					
OMP 0.1 mM	4	5,63600								****				
OMP 0.001 mM	4	5,71100								****	****			
Peroxid	3	5,73200								****	****			
OMP 0.5 mM	4	6,00200									****	****		
OMP 0.01 mM	4	6,11300										****		
OMP 1 mM	4	6,22800										****	****	
Kontrola	4	6,53900											****	****
Peroxid	4	6,79300												****

Příloha č. 8: Průběh růstu stonku podle jednotlivých variant koncentrací za určité časové období.

"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	0,00000	****											
OMP 0.5 mM	1	0,00000	****											
OMP 0.1 mM	1	0,00000	****											
Peroxid	1	0,00000	****											
OMP 0.001 mM	1	0,00000	****											
OMP 0.01 mM	1	0,00000	****											
OMP 1 mM	1	0,00000	****											
OMP 1 mM	2	0,51800		****										
OMP 0.001 mM	2	0,60200		****	****									
Peroxid	2	0,61400		****	****									
OMP 0.5 mM	2	0,61500		****	****									
Kontrola	2	0,67100			****	****								
OMP 0.1 mM	2	0,67900			****	****								
OMP 0.01 mM	2	0,78800				****								
OMP 0.5 mM	3	1,30300					****							
OMP 0.001 mM	3	1,33400					****							
OMP 1 mM	3	1,43000					****	****						
Peroxid	3	1,48800						****	****					
Kontrola	3	1,58300							****					
OMP 0.1 mM	3	1,90200								****				
Peroxid	4	1,96300								****	****			
OMP 0.001 mM	4	1,98000								****	****			
OMP 0.01 mM	3	1,99700								****	****			
OMP 0.5 mM	4	2,05600									****			
OMP 1 mM	4	2,20500										****		
OMP 0.1 mM	4	2,67300											****	
OMP 0.01 mM	4	2,74300											****	
Kontrola	4	2,92600												****

Příloha č. 9: LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) kořene u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.

LSD test; proměnná R FW (skleník omp)							
Homogenní skupiny, alfa = ,05000							
Chyba: meziskup. PČ = ,01642, sv = 96,000							
termín	Varianta	R FW (g) Průměr	1	2	3	4	5
4.11.	Kontrola	0,291111	****				
8.11.	H2O2	0,295556	****				
30.10.	OMP	0,296667	****				
30.10.	H2O2	0,347778	****	****			
8.11.	OMP	0,350000	****	****			
4.11.	OMP	0,406667	****	****	****		
25.10.	H2O2	0,426667		****	****	****	
4.11.	H2O2	0,444444		****	****	****	
30.10.	Kontrola	0,445556		****	****	****	
25.10.	Kontrola	0,485556			****	****	****
25.10.	OMP	0,526667				****	****
8.11.	Kontrola	0,576667					****

Příloha č. 10: LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.

LSD test; proměnná S FW (skleník omp)										
Homogenní skupiny, alfa = ,05000										
Chyba: meziskup. PČ = ,15339, sv = 96,000										
termín	Varianta	S FW (g) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8
25.10.	H2O2	1,060000	****							
25.10.	Kontrola	1,107778	****	****						
25.10.	OMP	1,294444	****	****	****					
30.10.	Kontrola	1,464444		****	****	****				
30.10.	OMP	1,614444			****	****				
30.10.	H2O2	1,726667				****	****			
4.11.	Kontrola	1,987778					****	****		
4.11.	H2O2	2,064444					****	****		
4.11.	OMP	2,181111						****		****
8.11.	Kontrola	2,486667							****	****
8.11.	H2O2	2,753333							****	
8.11.	OMP	2,851111							****	

Příloha č. 11: LSD test u poměru čerstvé hmotnosti (FW) kořene a stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.

LSD test; proměnná R/S FW (skleník omp)								
Homogenní skupiny, alfa = ,05000								
Chyba: meziskup. PČ = ,01111, sv = 96,000								
termín	Varianta	R/S FW Průměr	1	2	3	4	5	6
8.11.	H2O2	0,106954	****					
8.11.	OMP	0,132751	****	****				
4.11.	Kontrola	0,146917	****	****	****			
30.10.	OMP	0,182370	****	****	****			
4.11.	OMP	0,187871	****	****	****			
30.10.	H2O2	0,199355	****	****	****			
4.11.	H2O2	0,230481		****	****	****		
8.11.	Kontrola	0,235641			****	****		
30.10.	Kontrola	0,313988				****		****
25.10.	H2O2	0,409677					****	****
25.10.	OMP	0,420798					****	
25.10.	Kontrola	0,473936					****	

Příloha č. 12: LSD test u hmotnosti sušiny (DW) kořene u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.

LSD test; proměnná R DW (skleník omp)								
Homogenní skupiny, alfa = ,05000								
Chyba: meziskup. PČ = ,00005, sv = 96,000								
termín	Varianta	R DW (g) Průměr	1	2	3	4	5	6
4.11.	Kontrola	0,014578					****	
4.11.	OMP	0,018311	****				****	
25.10.	H2O2	0,021100	****	****			****	
4.11.	H2O2	0,021644	****	****	****			
30.10.	OMP	0,021711	****	****	****			
8.11.	OMP	0,023544	****	****	****	****		
30.10.	H2O2	0,023867	****	****	****	****		
8.11.	H2O2	0,024367	****	****	****	****		
25.10.	Kontrola	0,026344		****	****	****		
30.10.	Kontrola	0,028078			****	****		****
25.10.	OMP	0,029133				****		****
8.11.	Kontrola	0,033200						****

Příloha č. 13: LSD test u hmotnosti sušiny (DW) stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.

LSD test; proměnná S DW (sklenik omp)								
Homogenní skupiny, alfa = ,05000								
Chyba: meziskup. PČ = ,00108, sv = 96,000								
termín	Varianta	S DW (g) Průměr	1	2	3	4	5	6
25.10.	H2O2	0,074733		****				
25.10.	Kontrola	0,076289		****	****			
25.10.	OMP	0,091878		****	****			
30.10.	Kontrola	0,105489			****	****		
30.10.	OMP	0,128800	****			****		
30.10.	H2O2	0,134556	****			****		
4.11.	Kontrola	0,141322	****					
4.11.	H2O2	0,151289	****					
4.11.	OMP	0,154122	****					
8.11.	Kontrola	0,191944						****
8.11.	H2O2	0,230111					****	
8.11.	OMP	0,238411					****	

Příloha č. 14: LSD test u poměru hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v podmínkách se závlahou.

LSD test; proměnná R/S DW (sklenik omp)					
Homogenní skupiny, alfa = ,05000					
Chyba: meziskup. PČ = ,00693, sv = 96,000					
termín	Varianta	R/S DW Průměr	1	2	3
4.11.	Kontrola	0,105377	****		
8.11.	H2O2	0,107655	****		
8.11.	OMP	0,108970	****		
4.11.	OMP	0,119152	****		
4.11.	H2O2	0,150494	****		
30.10.	OMP	0,168292	****		
8.11.	Kontrola	0,173311	****		
30.10.	H2O2	0,178838	****		
30.10.	Kontrola	0,274857		****	
25.10.	H2O2	0,294564		****	
25.10.	OMP	0,324235		****	****
25.10.	Kontrola	0,374617			****

Příloha č. 15: LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

LSD test; proměnná R FW (skleník omp)									
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)									
Chyba: meziskup. PČ = ,01784, sv = 128,00									
termín	Varianta	R FW (g) Průměr	1	2	3	4	5	6	7
8.11.	H2O2	0,201111	****						
4.11.	Kontrola s vodou	0,291111	****	****					
8.11.	Kontrola	0,301111	****	****					
30.10.	H2O2	0,305556	****	****	****				
4.11.	H2O2	0,316667	****	****	****				
8.11.	OMP	0,334444		****	****	****			
4.11.	Kontrola	0,428889			****	****	****		
30.10.	Kontrola s vodou	0,445556				****	****	****	
30.10.	Kontrola	0,454444				****	****	****	****
4.11.	OMP	0,461111					****	****	****
25.10.	Kontrola s vodou	0,485556					****	****	****
25.10.	OMP	0,508889					****	****	****
30.10.	OMP	0,524444					****	****	****
25.10.	H2O2	0,528889					****	****	****
25.10.	Kontrola	0,561111						****	****
8.11.	Kontrola s vodou	0,576667							****

Příloha č. 16: LSD test u čerstvé hmotnosti (FW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

LSD test; proměnná S FW (skleník omp)								
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)								
Chyba: meziskup. PČ = ,09283, sv = 128,00								
termín	Varianta	S FW (g) Průměr	1	2	3	4	5	6
4.11.	H2O2	0,894444	****					
4.11.	Kontrola	0,907778	****					
8.11.	H2O2	0,910000	****					
25.10.	OMP	0,964444	****	****				
8.11.	Kontrola	0,993333	****	****				
25.10.	Kontrola	1,090000	****	****	****			
25.10.	H2O2	1,092222	****	****	****			
30.10.	Kontrola	1,098889	****	****	****			
25.10.	Kontrola s vodou	1,107778	****	****	****			
30.10.	OMP	1,108889	****	****	****			
30.10.	H2O2	1,158889	****	****	****			
8.11.	OMP	1,237778		****	****	****		
4.11.	OMP	1,293333			****	****		
30.10.	Kontrola s vodou	1,464444				****		
4.11.	Kontrola s vodou	1,987778					****	
8.11.	Kontrola s vodou	2,486667						****

Příloha č.17: LSD test u poměru čerstvé hmotnosti (FW) kořínku a stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

LSD test; proměnná R/S FW (skleník omp)										
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)										
Chyba: meziskup. PČ = ,01922, sv = 128,00										
termín	Varianta	R/S FW Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8
4.11.	Kontrola s vodou	0,146917	****							
8.11.	H2O2	0,212216	****	****						
8.11.	Kontrola s vodou	0,235641	****	****	****					
8.11.	OMP	0,261027	****	****	****	****				
30.10.	H2O2	0,271075	****	****	****	****				
30.10.	Kontrola s vodou	0,313988		****	****	****	****			
8.11.	Kontrola	0,328761		****	****	****	****			
4.11.	H2O2	0,352622			****	****	****	****		
4.11.	OMP	0,376922				****	****	****		
30.10.	Kontrola	0,422407					****	****	****	
25.10.	Kontrola s vodou	0,473936						****	****	****
30.10.	OMP	0,475525						****	****	****
4.11.	Kontrola	0,478964						****	****	****
25.10.	OMP	0,523762							****	****
25.10.	Kontrola	0,534700							****	****
25.10.	H2O2	0,558762								****

Příloha č. 18: LSD test u hmotnosti sušiny (DW) kořene v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

LSD test; proměnná R DW (skleník omp)							
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)							
Chyba: meziskup. PČ = ,00008, sv = 128,00							
termín	Varianta	R DW (g) Průměr	1	2	3	4	5
4.11.	Kontrola s vodou	0,014578	****				
8.11.	H2O2	0,019700	****	****			
4.11.	H2O2	0,023444		****	****		
25.10.	Kontrola s vodou	0,026344		****	****	****	
25.10.	H2O2	0,026644		****	****	****	
30.10.	Kontrola s vodou	0,028078			****	****	
8.11.	OMP	0,030100			****	****	
30.10.	H2O2	0,030178			****	****	
8.11.	Kontrola	0,030967			****	****	
4.11.	OMP	0,031867				****	****
25.10.	OMP	0,032067				****	****
30.10.	Kontrola	0,032711				****	****
8.11.	Kontrola s vodou	0,033200				****	****
30.10.	OMP	0,034089				****	****
25.10.	Kontrola	0,034411				****	****
4.11.	Kontrola	0,039300					****

Příloha č. 19: LSD test u hmotnosti sušiny (DW) stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

LSD test; proměnná S DW (skleník omp)										
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)										
Chyba: meziskup. PČ = ,00080, sv = 128,00										
termín	Varianta	S DW (g) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8
25.10.	OMP	0,073056	****							
25.10.	Kontrola s vodou	0,076289	****							
25.10.	H2O2	0,080433	****	****						
25.10.	Kontrola	0,083544	****	****						
4.11.	H2O2	0,083989	****	****						
4.11.	Kontrola	0,088289	****	****	****					
30.10.	Kontrola	0,094878	****	****	****	****				
30.10.	OMP	0,094922	****	****	****	****				
30.10.	H2O2	0,098039	****	****	****	****				
30.10.	Kontrola s vodou	0,105489		****	****	****	****			
4.11.	OMP	0,114433			****	****	****			
8.11.	Kontrola	0,115133				****	****	****		
8.11.	H2O2	0,130911					****	****	****	
4.11.	Kontrola s vodou	0,141322						****	****	
8.11.	OMP	0,149478							****	
8.11.	Kontrola s vodou	0,191944								****

Příloha č. 20: LSD test u poměru hmotnosti sušiny (DW) kořene a stonku v průběhu experimentu při působení vodního stresu u variant kontrola, OMP a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s kontrolní variantou v podmínkách deficitu vody.

LSD test; proměnná R/S DW (skleník omp)						
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)						
Chyba: meziskup. PČ = ,09989, sv = 128,00						
termín	Varianta	R/S DW Průměr	1	2	3	4
4.11.	Kontrola s vodou	0,105377	****			
8.11.	H2O2	0,152385	****	****		
8.11.	Kontrola s vodou	0,173311	****	****	****	
8.11.	OMP	0,207366	****	****	****	
30.10.	Kontrola s vodou	0,274857	****	****	****	
4.11.	H2O2	0,277933	****	****	****	
8.11.	Kontrola	0,282402	****	****	****	
4.11.	OMP	0,294779	****	****	****	
30.10.	Kontrola	0,353624	****	****	****	
30.10.	OMP	0,360636	****	****	****	
25.10.	Kontrola s vodou	0,374617	****	****	****	****
25.10.	H2O2	0,376187	****	****	****	****
25.10.	Kontrola	0,430109		****	****	****
25.10.	OMP	0,442790		****	****	****
4.11.	Kontrola	0,449340			****	****
30.10.	H2O2	0,664382				****