

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Využití současného měření výměny plynů a fluorescence
pro stanovení detekce odpovědi rostlin na vodní stres**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Marie Soudná

Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití současného měření výměny plynů a fluorescence pro stanovení detekce odpovědi rostlin na vodní stres" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu doc. Ing. Františkovi Hniličkovi, PhD. za vedení diplomové práce a za pomoc při jejím zpracování. Dále děkuji rodině a příteli za podporu.

Využití současného měření výměny plynů a fluorescence pro stanovení detekce odpovědi rostlin na vodní stres

Souhrn

Práce se zabývá studiem vlivu vodního deficitu na rostliny řepky olejky (*Brassica napus* L.) a slunečnice roční (*Helianthus annuus*).

Do pokusu byla zařazena odrůda řepky olejky *Bonanza* a slunečnice roční *PR63E82*. Rostliny byly pěstovány v částečně řízených podmínkách skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin, FAPPZ, České zemědělské univerzity v Praze, kdy světelný režim byl nastaven na 14 hodin světla a 10 hodin tmy. Schéma pokusu zahrnovalo 2 varianty. Varianta kontrolní byla zavlažována po celou dobu pokusu na úroveň 70 % PVK (polní vodní kapacity). U stresované varianty byl vodní deficit navozen metodou přirozeného vysychání substrátu po dobu 14 dnů a poté následovalo 7 dní rehydratace na úroveň závlahy kontrolních rostlin. U juvenilních pokusných rostlin řepky a slunečnice byl sledován vliv vodního deficitu na rychlost výměny plynů, rychlost fotosyntézy, rychlost transpirace, efektivitu využití vody, fluorescence chlorofylů. Rychlost výměny plynů byla sledována pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro SD (ADC, Bio Scientific Ltd, VB). Fluorescence chlorofylů byla měřena pomocí pulzního fluorometru OS5p (ADC, Bio Scientific Ltd, VB). Na základě hodnot fotosyntézy a transpirace byla vypočtena hodnota efektivitu využití vody (WUE). Uvedené fyziologické charakteristiky byly měřeny ve dvoudenních intervalech.

Jedním z cílů práce je stanovit a vyhodnotit mezidruhovou odlišnost v rychlosti výměny plynů, schopnosti využití vody (WUE) v závislosti na působení vodního deficitu a rehydratace.

Na základě získaných výsledků na sucho citlivěji reagovaly rostliny řepky olejky, u kterých byla naměřena nižší průměrná hodnota WUE než u slunečnice roční 11,8 (10^{-3}), ale zároveň hodnota rychlosti fotosyntézy měla menší rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou 0,81 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Slunečnice roční se jevila jako odolnější rostlina vůči suchu. Průměrná hodnota efektivitu využití vody byla u této rostliny výrazně vyšší 14,6 (10^{-3}) než u řepky olejky. U slunečnice byl naměřen vyšší průměrný rozdíl rychlosti fotosyntézy (0,92 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), než u řepky. V rámci měření fotosyntézy, ani jedna ze zkoumaných rostlin po navození rehydratace v posledním měření nedosáhla hodnot kontrolních rostlin. Rychlost transpirace byla naopak vyšší u řepky olejky, průměrná hodnota stresovaných rostlin měla hodnotu 2,02 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U obou pokusných rostlin, byl zaznamenán kolísavý průběh rychlosti transpirace po celou dobu pokusu v obou variantách. Fluorescence chlorofylů byla vyšší u stresované varianty řepky 0,796 než u slunečnice stejné varianty 0,791.

Ze získaných výsledků, které byly naměřeny pomocí vhodných přístrojů na tuto problematiku, je patrná genotypová odlišnost rostlin, v reakci na působící vodní deficit.

Klíčová slova: slunečnice; řepka; sucho; rehydratace; výměna plynů; fluorescence

Use of simultaneous gas exchange and fluorescence measurements detections for the plant responses to drought

Summary

The thesis deals with the study of water deficit effect on oilseed rape plants (*Brassica napus* L.) and sunflower (*Helianthus annuus*).

The rape variety *Bonanza* and sunflower *PR63E82* were performed in the experiment. The plants were grown under partially controlled greenhouse conditions at the Department of Botany and Plant Physiology, FAPPZ, where the light regime was set to 14 hours of light and 10 hours of darkness. The trial scheme included 2 variants. The control variant was irrigated throughout the experiment to 70% field water capacity. In the stressed variant, water deficiency was induced by the method of natural drying of the substrate for 14 days followed by 7 days of rehydration to the level of irrigation of the control plants. The influence of water deficit on gas exchange rate, stomatal conductivity, water utilization efficiency, chlorophyll fluorescence was observed in juvenile experimental rape and sunflower plants. The gas exchange rate was monitored using an LCpro SD infrared gas analyzer (ADC, Bio Scientific Ltd, UK). Chlorophyll fluorescence was measured using an OS5p pulse fluorometer (ADC, Bio Scientific Ltd, UK). WUE was calculated based on photosynthesis and transpiration values. These physiological characteristics were measured at two-day intervals.

One of the aims of the thesis is to determine and evaluate the interspecific difference in gas exchange rate, water utilization (WUE), depending on water deficiency and rehydration.

Based on the results obtained, the oilseed rape plants, which had a lower average WUE than the sunflower of $11,8 (10^{-3})$, reacted more sensitively to the dry, but at the same time the photosynthesis rate had a smaller difference between the control and stressed variant $0,81 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Sunflower appeared to be a more resistant plant to drought. The average water efficiency was $14,6 (10^{-3})$ higher than that of oilseed rape. A higher average difference in photosynthesis velocity was measured with the sunflower ($0,92 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) than in rape. In the framework of photosynthesis measurement, none of the plants examined after rehydration in the last measurement reached the values of control plants. On the contrary, the transpiration rate was higher in rape, the average value of stressed plants was $2,02 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. In both experimental plants, there was a fluctuating course of transpiration rate throughout the experiment in both variants. Chlorophyll fluorescence was higher in the stressed rape variant $0,796$ than in the sunflower of the same variant $0,791$. From the obtained results, which were measured using suitable instruments for this issue, the genotypic difference of plants is evident in response to the water deficit.

Keywords: sunflower; rape; dry; rehydration; gas exchange; fluorescence

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Botanická charakteristika brukve řepky olejky (<i>Brassica napus</i> L.)	10
3.1.1 Požadavky řepky olejky na prostředí	10
3.2 Botanická charakteristika slunečnice roční (<i>Helianthus annuus</i> L.)	11
3.2.1 Požadavky slunečnice na prostředí	12
3.3 Historie pěstování a rozšíření řepky na území ČR	12
3.4 Historie a současnost pěstování slunečnice roční (<i>Helianthus annuus</i>)	15
3.5 Obecná charakteristika stresu	18
3.6 Charakteristika vodního stresu	20
3.7 Vliv vodního deficitu na rostliny	20
3.7.1 Fotosyntéza a transpirace při vodním stresu	21
3.8 Adaptace rostlin na vodní stres	23
3.9 Obranné mechanismy rostlin při vodním deficitu	24
3.10 Metody vhodné pro detkování vlivu stresu	25
4 Metodika	28
4.1 Charakteristika pokusného materiálu	28
4.2 Založení pokusu	28
4.3 Metody měření sledovaných charakteristik	29
4.4 Fluorescence chlorofylu	29
4.5 Efektivita využití vody (WUE)	30
4.6 Hodnocení výsledků	30
5 Výsledky.....	30
5.1 Rychlost fotosyntézy	30
5.2 Rychlost transpirace.....	33
5.3 Efektivita využití vody (WUE)	36
5.4 Fluorescence chlorofylu	37
6 Diskuze	41
6.1 Rychlost fotosyntézy	41
6.2 Rychlost transpirace.....	42
6.3 Efektivita využití vody (WUE)	42
6.4 Fluorescence chlorofylů	43
7 Závěr	44

8 Literatura	45
---------------------------	-----------

1 Úvod

V současné době je sucho (vodní deficit) velmi diskutovaným tématem napříč celou společností. Ne jen dlouhodobé sucho ale i rozložení srážek v průběhu roku a kvalita vodních zdrojů na naší planetě představuje aspekt, který ovlivňuje nedostatečné zásobení vodou a vznik rizikových oblastí.

Studium vodního deficitu a jeho vlivu na rostliny je velmi aktuální. Déle trvající nedostatek vody může mít značný vliv na budoucí fungování přírodních procesů a může způsobit nevratné změny v přírodě. Na nedostatek vody, ať už krátkodobého či dlouhodobého rázu reagují také kulturní rostliny, kdy obvykle dochází ke snížení výnosu, kvality a celkové produkce rostlinné biomasy z plochy.

V současné době se v České republice pěstuje téměř 400 000 hektarů řepky olejky (*Brassica napus* L.) a 16 000 hektarů slunečnice roční (*Helianthus annuus*). Území České republiky nepatří k suchým oblastem, ale i přesto se zde objevují regiony s vyšším zastoupením ploch ohrožených suchem. Jedná se zejména o jihovýchodní a severozápadní oblast republiky.

Pěstování řepky je rozšířené na celém našem území. Naopak slunečnice díky svým biologickým požadavkům je na území České republiky rozšířena nerovnoměrně. Klimaticko – půdní podmínky České republiky jsou příčinou regionálních rozdílů v jejím pěstování. Zejména se jí daří v teplomilných oblastech nížinného rázu. Jak uvádějí světové organizace, tak se suchá místa na zemi budou i nadále rozšiřovat do dalších oblastí. To samozřejmě nahrává šlechtitelským zařízením, která reagují na projevy tohoto jevu a zaměřují svůj vývoj na výzkum pěstitelských metod a odrůd, které umí pracovat s omezeným množstvím vodních zdrojů, aniž by došlo ke zhoršení kvalitativních i kvantitativních parametrů plodin.

Při podmínkách s nedostatkem vody v rostlině dochází k významným fyziologickým změnám v jejich těle. Mezi významné změny, které reagují na podmínky sucha, patří rychlost výměny plynů a fluorescence chlorofylů. Měřením a vyhodnocením výše popsaných jevů se zabývá tato diplomová práce.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cíle

Stanovení vlivu vodního deficitu na rostliny je velmi komplikované, neboť se často nejedná pouze o jeden stresující faktor, ale o kombinaci několika stresorů současně. Z tohoto pohledu neexistuje jedna univerzální metoda, která by se dala pro detekci odolnosti nebo citlivosti rostlin na vodní deficit využít. Na základě výše popsaných skutečností byly popsány následující cíle:

1. Stanovit možnost využití současného měření rychlosti výměny plynů a fluorescence pro možné využití stanovení odolnosti nebo citlivosti rostlin vůči vodnímu stresu.
2. Stanovit mezidruhové rozdíly v rychlosti výměny plynů a fluorescence v závislosti na působení vodního stresu.

Hypotézy

V rámci práce byly stanoveny a následně ověřovány dvě následující hypotézy:

1. Existuje možnost využití současného měření rychlosti výměny plynů a fluorescence pro detekci reakce rostlin na vodní stres.
2. Existují genotypové rozdíly mezi sledovanými genotypy rostlin.

V současné době je aktuálním tématem nedostatek vody v půdním prostředí. Je to zejména citelné v zemědělských oblastech, kdy sucho má značný vliv na produkci. Tato práce se zabývá studiem vlivu sucha na primární metabolismus a rychlost přenosu elektronů u řepky olejky (*Brassica napus* L.) a slunečnice roční (*Helianthus annuus*).

3 Literární rešerše

3.1 Botanická charakteristika brukve řepky olejky (*Brassica napus* L.)

Řepka (viz obr. 1) je považována za jednu z nejdůležitějších olejnin v podmínkách mírného pásma, ale můžeme ji najít i v subtropickém pásmu Indie a Číny.

Dle Skoumalové-Hadačové (2002) je řepka jednoletá, nejčastěji ozimá bylina, která na podzim vytváří zárodečný kořen a listovou růžici. Růst a vývoj rostliny je ovlivněn energetickou výkonností zásobních látek, fyzikálním stavem půdy, poměrem vody a vzduchu v půdě a také teplotou (Baranyk 2010). Na jaře pak dochází k prodloužení a k rychlému růstu. Nastává tvorba pupat vrcholového květenství. Tvorba pupat provází intenzivní růst lodyh a větví, který je ukončen fází plného květu. Řepka je pěstována ve dvou formách v ozimé a v jarní. V západní a střední Evropě převládá ozimá forma, která má vyšší výnosnost. Kořenový systém sahá do hloubky od 110 cm do 175 cm. Zhruba 80-90 % kořenové hmoty se vyskytuje v orniční vrstvě, menší část leží v hlubších vrstvách od 22 do 45 cm.

Na utváření kořenového systému řepky má podle Baranyka & Fábryho (2007) vliv řada faktorů, jako je druh půdy a její fyzikální stav. Vodní režim

v půdě má vliv na zakořeňování, při vodní kapacitě nad 70 % intenzita zakořeňování klesá.

Baranyk & Fábry (2007); Baranyk a kol. (2010) dále uvádí, že listy řepky jsou lyrovitě peřenodílné a objímají lodyhu ze dvou třetin. Délka lodyhy řepky sahá do výšky 125 – 200 cm. Intenzita větvení je pro každou odrůdu jiná. Řepka vytváří hroznovité květenství, květy jsou utvářené čtyřmi žlutými nebo bílými korunními plátky. Kvetení rostliny začíná na spodu hroznovitého květenství. Řepka je fakultativně cizosprašná, kdy stavba květu umožňuje uplatnění heterozního efektu. Začátek kvetení nastává dva dny před vlastním otevřením květů, květy následně uvadají třetí den (Alpmann a kol. 2009). Plodem řepky je šešule se dvěma chlopněmi a blanitou přepážkou, která obsahuje v průměru 15 až 20 semen s hmotností tisíce semen (HTS) kolem 4,5 g až 5,5 g (Baranyk & Fábry 2007; Baranyk a kol. 2010).

3.1.1 Požadavky řepky olejky na prostředí

Pro kvalitní vývoj řepky, je důležité dostatečné množství vláhy v letních měsících, při zakládání porostů a vhodný průběh počasí v zimních měsících, které umožňuje přezimování porostů. Ideální půdou pro pěstování řepky je hluboká činná půda, s dostatkem organické hmoty, která je v dobrém strukturním stavu. S vysokou vodní kapacitou a s neutrální až slabě



Obrázek 1: řepka olejka (Commons.wikimedia.org 2019)

alkalickou reakcí. Rostlinám řepky vyhovují stanoviště s průměrnou teplotou 7 – 9 °C se srážkami 450 až 700 mm a s nadmořskou výškou 650 m. n. m. (Baranyk & Fábry 2007). Vašák (2000), (Baranyk & Fábry 2007) uvádí, že řepka má mohutný kořenový systém, a proto odolává suchu. Pouze ve fázi po zasetí a v době tvorby semen vyžaduje zvýšený přísun vody. Zasetí semen probíhá od srpna do listopadu, kdy optimální úhrn srážek je 200 – 210 mm. V srpnu je nejvhodnější úhrn srážek 70 – 80 mm, na lehčích půdách až 100 mm. V období podzimu jsou optimální srážky 60 mm. V zimě řepka vyžaduje srážky kolem 110 mm při teplotě pod -5 °C. V jarním období do fáze kvetení je optimální spad srážek 100 mm a v období od března do dubna 40 mm. Nedostatek vláhy ale i naopak nadměrné množství srážek způsobuje špatný výnos.

3.2 Botanická charakteristika slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.)

Slunečnice roční (obr. 2), je dle Kubáta (2002) jednoletá rostlina, z čeledi hvězdicovité *Asteraceae*. Rod *Helianthus* L. zahrnuje asi 60 převážně severoamerických druhů, z kterých má největší praktický význam slunečnice roční (Baranyk a kol. 2010).

Dle Kubáta (2002) slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) botanicky patří do řádu *Asterales*, čeleď *Asteraceae* – hvězdicovité, oddělení *Annui* (Slavík & Štěpánková 2005). Rod *Helianthus* zastoupen více než 260 druhy, z nichž nejrozšířenější je jednoletý kulturní rod *Helianthus annuus* L. a vytrvalý *Helianthus tuberosus* L. (slunečnice topinambur) (Salunkhe 1992).

Kulturní rostlina *Helianthus annuus* L. ssp. *macrocarpus* byla prošlechtěna do několika forem. Za původ jejího výskytu je považována jihozápadní Amerika, konkrétně Nebraska a Mexiko (Valíček et al. 2002).

V současné době se rozlišují semenné formy

na typ olejný, se zvýšeným obsahem kyseliny linolové a typ se zvýšeným obsahem kyseliny olejové. Olejný typ slunečnice má středně velké nažky, tenkou slupku a zvýšený obsah oleje. Slupka je v nažce svoji váhou zastoupena od 22 do 28 %. Nažka může obsahovat 42 – 70 % oleje, 20 – 30 % bílkovin a 6 – 11 % sacharidů. Další formou je typ cukrářský, který má velké nažky, silnější slupku a vysoký obsah bílkovin a cukrů. Slupka u cukrářského typu slunečnice je váhově zastoupena z 36 až 40 % (Lněničková 2009).

Kubát (2002) popisuje slunečnici, jako vytrvalou bylinu, kdy horní část lodyhy je pokryta chlupy. Listy slunečnice jsou přisedlé s výraznými řapíky. Rostlina má jazykovité žluté květy.



je

Obrázek 2: slunečnice roční *Helianthus annuus* L. (Moziru.com 2019)

Kořenový systém je podle Kováčika (1993) velmi dobře vyvinutý a rozvětvený. Sahá do hloubky 2 - 3 m. Většina tenčích kořenů se vyskytuje v hloubce 20 - 30 cm. Kořeny produkují velké množství kořenových exudátů, které způsobují půdní vyčerpání. Málek a kol. (2013) uvádí, že mohutná lodyha rostliny slunečnice, která je ve vrchní části povrchově z dřevnatělá, nese květní úbor. Průměr úboru může mít velikost od 5 do 75 cm a vytváří dva typy květů. Slunečnice je výrazně hmyzosnubná rostlina.

Rod slunečnice je dle Mála a kol. (2013) celosvětově čtvrtou nejpěstovanější olejninou po sóje, řepce a bavlníku. Mezi nejvýznamnější pěstitele světa se řadí Ukrajina, Rusko a státy Evropské Unie. (Kováčik 1993). Slunečnice je rostlinou mírného pásma, teplé části, upřednostňuje teplo a sucho.

3.2.1 Požadavky slunečnice na prostředí

Pro rostliny slunečnice jsou rozhodujícími faktory dostatek světla, teploty, atmosferických srážek, proudění vzduchu, kvalitní půdní prostředí (Baranyk a kol. 2010).

Jak uvádí Málek a kol. (2013) slunečnice je náročná na dostatek světla, které ovlivňuje její růst, vývoj a produktivitu. Slunečnice má vysoké nároky na zásobení vodou, není závislá pouze na atmosferických srážkách, ale je schopná si vodu zajistit prostřednictvím půdní zásoby. Pokud má slunečnice dostatek vody k dispozici, je v porovnání s ostatními druhy zemědělských plodin organismem, který vodou plýtvá. Naopak, pokud slunečnice trpí nedostatkem vody, je schopná s ní velmi dobře hospodařit (Baranyk a kol. 2010). Dle Mála a kol. (2003) záleží na dané odrůdě slunečnice, do jaké míry a jak vodu využívá.

Uvedený autor dále uvádí, že bez výraznějšího poklesu výnosu nažek je slunečnice schopná snést dlouhotrvající sucho, které je 4 - 6 týdnů dlouhé. Slunečnice je schopna asimilačních procesů i za suchého prostředí. Rostliny slunečnice velmi dobře využívají vodu také tím, že mají střechovitě uspořádané listy na lodyze, po kterých může voda stékat na zem a vsakovat se do půdy.

Nároky slunečnice na srážky jsou nízké 450 - 500 mm. Zvýšený nárok na vláhu má v prvních 30 dnech vegetace, 15 - 20 dnů před obdobím květu a 10 - 15 po odkvětu (Málek a kol. 2003). Naopak déletrvající vydatné deště v období zrání vedou k výskytu a rozvoji houbových chorob, bílé hnilobě a šedé plísňovitosti (Kováčik 1993).

3.3 Historie pěstování a rozšíření řepky na území ČR

Dle Baranyka a Fábryho (2007) je počátek pěstování řepky nejasný. Nejstarší odkazy týkající se původu a pěstování řepky pocházejí z Asie, ale šlechtění této plodiny se uskutečnilo v mnoha zemích po celém světě, včetně Číny, Indie, Švýcarska, Německa, Austrálie, Dánska, Nizozemska, Itálie a Evropy (Grupta & Pratap 2007).

Baranyk a Fábry (2007) dále popisují, že brukvovité rostliny se pěstovaly i ve starém Egyptě a zbytky semen byly nalezeny ve starogermánských hrobech. V minulosti se tyto plodiny pěstovaly ve velkém. Našly se malby a zbytky semen v lisovnách ve městech Pompeje a Herkulaneum. Zmínky o řepce a řepici pocházejí také ze starých herbářů a bylinářů. Další zmínka o výskytu řepky se objevuje v roce 1587 v instrukcích žateckého měšťana Černobyly, který píše: „Ržepný též olej býwa velmi dobrý, když z něho kdo umy hořkost vytahnouti.“

Významný rozmach pěstování řepky nastává v době růstu velkých měst, manufaktur, moderního hutnictví a lehkého průmyslu. Za dob panování Marie Terezie a Josefa II. bylo usilováno o rozšíření pěstování řepky. Do konce 18. století byla řepka, společně s řepicí, chápána jako tatáž rostlina (Baranyk & Fábry 2007).

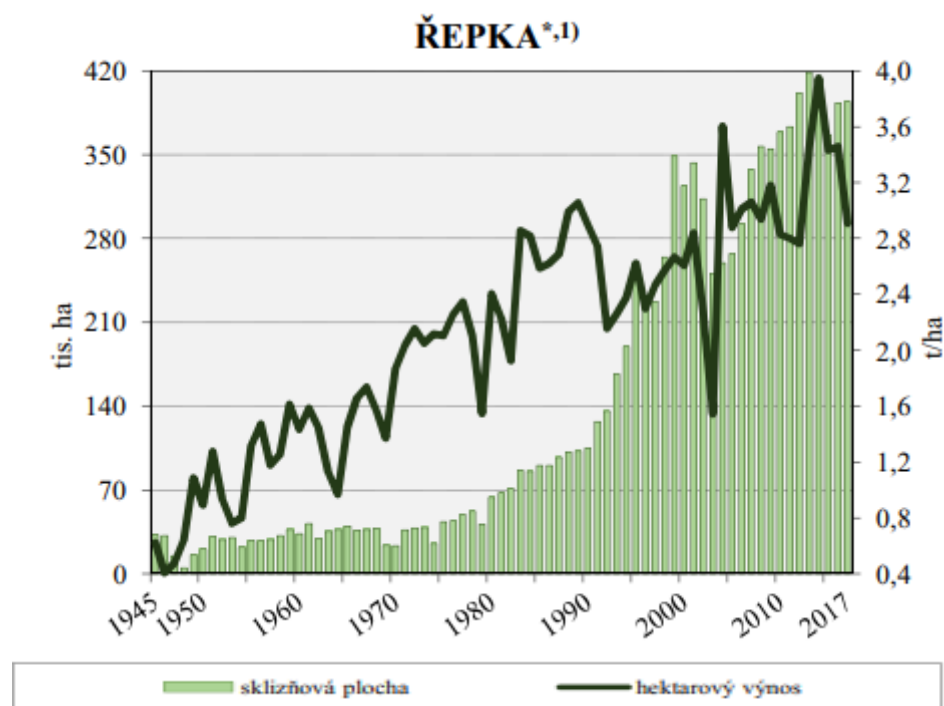
Dle Fábryho (2007) se od roku 1868 zaznamenávají osevňovací plochy, výnosy a sklizeň této rostliny. Řepka se zejména pěstovala po předplodinách s použitím chlévského hnoje. Značné problémy byly s ochranou proti živočišným škůdcům, zejména proti blýskáčku řepkovému (*Meligethes aeneus*). Po vzniku Československé republiky (1918) pokračoval pokles v pěstování řepky, díky poválečnému období, které na našem území probíhalo. V roce 1930 se řepka pěstovala na ploše 1073 ha.

Uvedený autor dále konstatuje, že obrat v pěstování řepky nastal v roce 1935, kdy došlo k cukrovarnické krizi. Příčinou krize byla především neschopnost Československa konkurovat exportním cenám na trhu cukru dováženému z Jáv a Kuby (cukr-listy.cz). Na území Československého státu se v roce 1944 řepka pěstovala na ploše 38 tisíc hektarů.

V 70. letech 20. století se produkce řepky zvyšovala z 37 tisíc hektarů na 100 tisíc hektarů, viz obr. 3. Výnos dosahoval 2 t·ha⁻¹ a začínaly se prosazovat odrůdy z Německa, Francie, Polska a Švédska. V tomto období se uskutečnila změna pěstivelské technologie od meziřádkové kultivace na pěstování řepky v úzkých obilních řádcích (Fábry 2007).

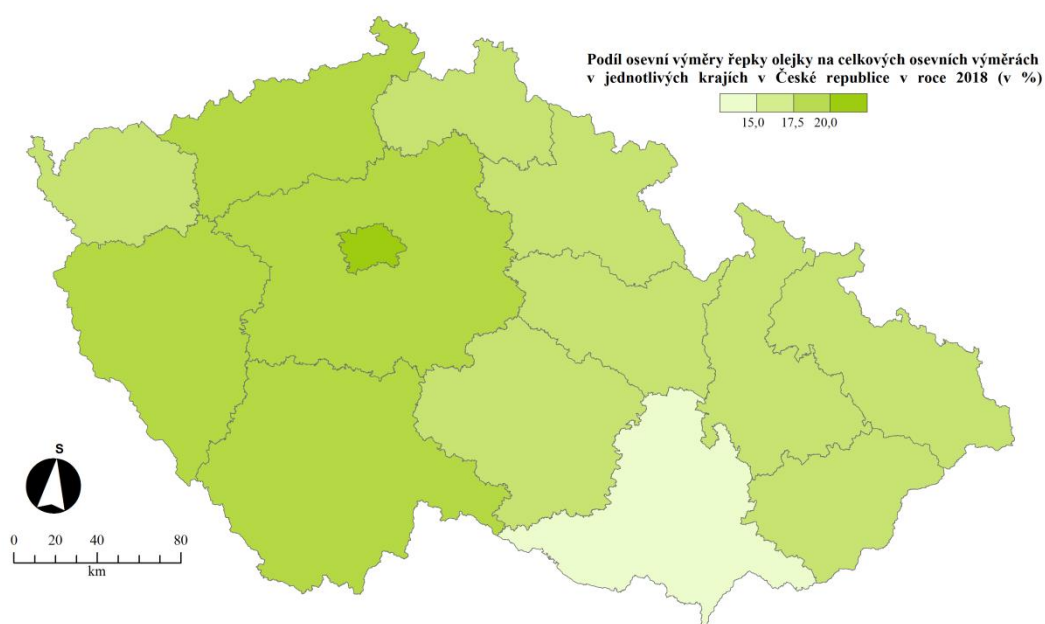
Jak uvedli Baranyk a kol. (2010) zásluhou pokroku v genetice a šlechtění se podařilo snížit obsah kyseliny erukové do té míry, že řepkový olej začal konkurovat co do kvality oleji olivovému, slunečnicovému a dalším olejům.

Na začátku 80. let minulého století se začala pěstovat řepka bez kyseliny erukové, se sníženým obsahem glukosinolátů. Tato změna odrůdové skladby pomohla k produkci domácího zdroje suroviny pro potravinářství, krmivářství a pro zpracovatelský průmysl. Po roce 1990 se změnila koncepce systému výroby řepky. Řepka se začala produkovat jako olej vhodný pro lidskou výživu a pro výrobu bionafty (Fábry 2007).



Obrázek 3 Sklizeňová plocha řepky olejky (*Brassica napus* L.) (ČSÚ 2016)

Řepka se v rámci rajonizace původně pěstovala pouze v úrodných nížinných oblastech, později se její pěstování přesunulo do výše položených oblastí a do podhůří. V těchto oblastech má řepka vhodné ekologické podmínky, dostatečné množství srážek a méně škůdců. V posledních letech dochází k rozšíření pěstování řepky zejména v západních krajích naší republiky. A to v Ústeckém kraji, Plzeňském kraji, Středočeském kraji, Jihočeském kraji (obr. 4 a tabulka 1). Jak vyplývá z uvedeného obrázku, řepka se nejméně pěstuje na Jihomoravském kraji.



Obrázek 4 Osevní výměra řepky olejky (*Brassica napus* L.) v jednotlivých krajích (ČSÚ 2018)

Kraj	řepka		
	Osevní plocha (v ha)	Podíl na celkové osevní ploše	Podíl na osevní ploše olejnin
Hl. m. Praha	2 296	23,1%	78,1%
Středočeský	88 484	18,9%	83,3%
Jihočeský	44 311	18,0%	95,2%
Plzeňský	33 990	17,6%	92,6%
Karlovarský	5 472	16,1%	98,2%
Ústecký	26 492	18,0%	81,2%
Liberecký	5 946	15,8%	87,0%
Královéhradecký	25 868	15,7%	80,3%
Pardubický	28 794	16,5%	83,0%
Vysočina	43 032	15,5%	89,0%
Jihomoravský	42 814	13,5%	72,4%
Olomoucký	27 458	15,7%	84,3%

Zlínský	15 859	16,9%	85,9%
Moravskoslezský	20 987	17,2%	79,4%
Česká republika	411 802	16,7%	84,2%

Tabulka 1: Osevní výměra řepky olejky (*Brassica napus* L.) v jednotlivých krajích (ČSÚ 2018)

3.4 Historie a současnost pěstování slunečnice roční (*Helianthus annuus*)

Dnešní kulturní slunečnice roční (*Helianthus annuus*) pochází z Ameriky resp. ze severního Mexika a Nebrasky. Kulturní typ slunečnice roční zřejmě vznikl hybridizací planých forem *Helianthus annuus* L. a blízkého příbuzného druhu *Helianthus petiolaris*. Nejstarší záznamy o pěstování slunečnice sahají do 15. století (Kováčik 2000).

Autor dále uvádí, že v jihozápadní části severní Ameriky a v jižních oblastech Kanady obyvatelstvo vyrábělo mouku z nažek slunečnice. Obyvatelé používali nažky k přímé konzumaci, nebo jako zdroj oleje. Zásadní vliv na rozšíření slunečnice do Evropy měla španělská expedice do Peru a Mexika v 16. století. Tato expedice přivezla vzorky osiva, ale po dlouhou dobu zůstávala pouze jako okrasná rostlina. Ze Španělska se postupně dostala do Francie, Německa, Bulharska, Rumunska, Jugoslávie a Itálie.

Slunečnice, jako polní plodina byla poprvé vyseta ve Francii a v Německu. Již v roce 1710 byl v Anglii patentován slunečnicový olej pro výrobu laků a pro koželužství v druhé polovině 17. století se slunečnice dostala do Ruska. V oblasti Kaliningradu se slunečnice pěstovala od roku 1654. V letech 1768 – 1769 se její pěstování rozšířilo i do Orenburské oblasti, kde se získával olej z nažek a lodyhy se využívaly jako palivo. Až do roku 1789 se pěstovala především jako okrasná rostlina. Ve 30. letech 19. století, byla slunečnice využívána jako plodina na olej. V roce 1833 byl vybudován první tukový závod v Ústí nad Labem a v následujících 20 letech bylo vybudováno dalších 86 závodů.

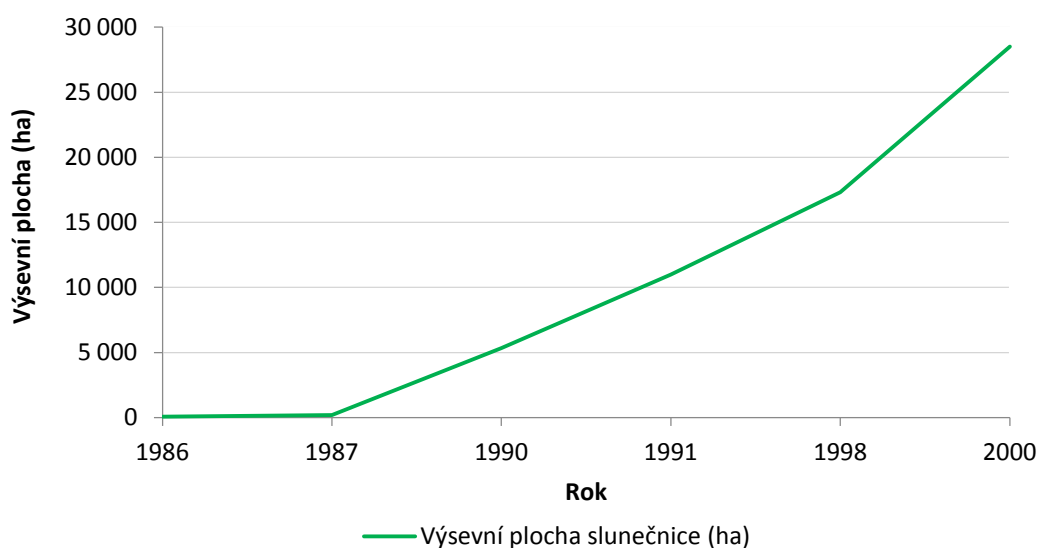
Slunečnice se stávala produkční olejninou od roku 1840, kdy Karzina (1900) zkřížil okrasné plnokvěté kalifornské slunečnice se slunečnicí saratovskou. Takto vniklý kříženec, pojmenovaný jako slunečnice pancéřnatá, byl odolný vůči molu slunečnicovému (*Homomea nebulosus*) (Kováčik 2000).

Dle Málka a kol. (2013) bylo pěstování slunečnice zprvu omezeno pouze na okrasné účely nebo se využívala jako meziplodina. Důvodem tohoto vztahu byla neznalost technologie pěstování, ale také nevhodné odrůdy pro podmínky našeho území. Od roku 1945 se zájem o slunečnici zvyšoval, ne jen jako o plodinu poskytující olej, ale o rostlinu krmnou. Osevní plochy se zvyšovaly především v nížinách jižního a východního Slovenska. Místy i na jižní Moravě.

Uvedení autoři dále uvádí, že zájem o pěstování slunečnice se stále zvyšoval. V roce 1990 bylo zapojeno 52 zemědělských podniků s osetou plochou 5346 ha (graf. 1) Následující rok 1991 byl přelomovým rokem, z hlediska pěstování slunečnice, kdy bylo oseto 54 000 ha slunečnice, z toho 43 tisíc na Slovensku a 11 tisíc v Čechách. Průměrný výnos v ČR dosáhl 2,63 t.ha⁻¹.

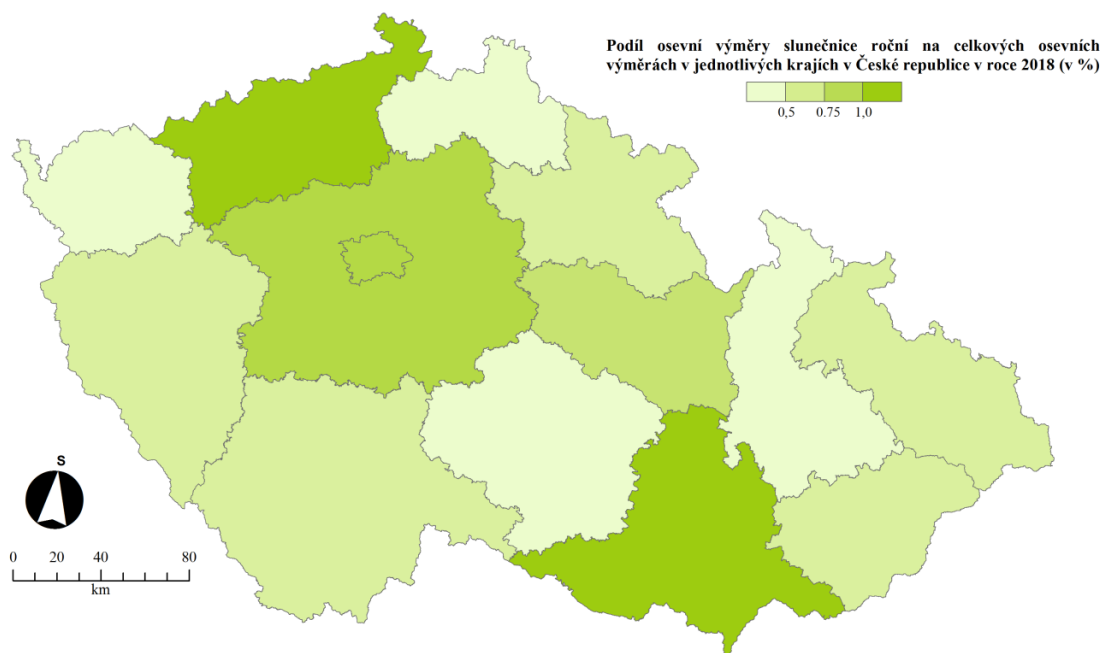
Rok 1997 přinesl výrazný pokles pěstebních ploch, který byl patrně způsoben sblížením cen slunečnice s řepkou (Málek a kol. 2013). V roce 1998 se osevní plocha slunečnice zvýšila na 17 326 ha a v roce 2000 se slunečnice pěstovala v České republice na ploše 28 500 ha (ČSÚ, 2017).

Vývoj výsevní plochy slunečnice v letech 1986 - 2000



Graf 1 Vývoj výsevní plochy slunečnice roční (ČSÚ 2017)

Jak uvedli Málek a kol. (2013) z regionálního pohledu je slunečnice nejvíce pěstována v Jihomoravském kraji, Středočeském kraji a v Ústeckém kraji, jak dokládá obr. 5. Z obrázku vyplývá, že v těchto tradičních oblastech, je slunečnice nejvíce zastoupená ze všech krajů naší země. Dále následuje kraj Pardubický. Naopak v Karlovarském kraji, Libereckém kraji, na Vysočině a v Olomouckém kraji, je pěstování slunečnice omezené, především vlivem klimatických podmínek.



Obrázek 1: Osevní výměra slunečnice roční (*Helianthus annuus*) v jednotlivých krajích ČR v roce 2018 (ČSÚ 2018)

Kraj	slunečnice		
	Osevní plocha (v ha)	Podíl na celkové osevní ploše	Podíl na osevní ploše olejnin
Hl. m. Praha	95	1,0%	3,2%
Středočeský	4 646	1,0%	4,4%
Jihočeský	86	0,0%	0,2%
Plzeňský	590	0,3%	1,6%
Karlovarský	0	0,0%	0,0%
Ústecký	1 788	1,2%	5,5%
Liberecký	4	0,0%	0,1%
Královéhradecký	520	0,3%	1,6%
Pardubický	932	0,5%	2,7%
Vysočina	52	0,0%	0,1%
Jihomoravský	11 041	3,5%	18,7%
Olomoucký	32	0,0%	0,1%
Zlínský	359	0,4%	1,9%
Moravskoslezský	56	0,0%	0,2%
Česká republika	20 202	0,8%	4,1%

Tabulka 2: Osevní výměra slunečnice roční (*Helianthus annuus*) v jednotlivých krajích ČR v roce 2018 (ČSÚ 2018)

3.5 Obecná charakteristika stresu

Stres se označuje jako působení jakýchkoli negativních vlivů na rostlinu. V biologii lze stres popsat ve dvou rovinách. První je stres ve smyslu působící síly na těleso a definuje stres jako faktor vnějšího prostředí, který je určitým způsobem škodlivý pro živý organismus (Levitt 1980). Když je organismus vystaven stresu, indikuje se v něm napětí, které může být reverzibilní, jinými slovy elastické nebo ireverzibilní, plastické, které působí jako stálá zátěž. Pokud je stres dostatečně silný, dochází k poškození organismu (Čiamporová & Mistrík 1991).

Druhá rovina vychází z poznatku Seleye (1966) o stresech v medicíně. Podle něho je stres stav, ve kterém vysoké požadavky kladené na rostlinu směřují k destabilizaci funkcí, po který následuje normalizace a rezistence (Larcher 1987).

Dle Shabal (2017) je stres vnímán jako součást životního cyklu rostlin. Stres je obecně vnímán jako stav vyvolaný vnějším zátěžovým faktorem, stresorem. Stres rostlin je označován jako děj, kdy na organismus rostliny působí přebytek či nedostatek určitého základního, běžného faktoru jako je např. voda, kyslík, světlo.

Podmínky, které jsou pro rostliny nepříznivé, které blokují nebo ovlivňují metabolismus, růst a vývoj jsou podle Lichtenthaler (1998) považovány za stres. Jak popisuje Kůdela a kol. (2013) u rostliny vystavených stresu se projevuje zpomalování životních funkcí, nízké tvorbě biomasy a výskytem vývojových vad a také může docházet k poškození rostlinných orgánů.

Rozlišujeme stresy, které působí krátkodobě nebo dlouhodobě. Dle kvalitativního působení lze stres dělit na pozitivní a negativní. Stres, který se pro jedince jeví, jako prospěšný označujeme jako eustres. Eustres je podle Larcher (1987) začátek působení stresoru. Stresová reakce nemusí vždy vést k zamezení vývoje, ale rovněž může být pro organismus pozitivní a vést k rozvoji vlastností rostliny. Pouze, pokud stresor působí dlouhodobě a intenzivně, může vést ke snížení přirozených vlastností nebo k potlačení vývoje (Blažková & Hladký 2008). Naopak stres, který na organismus působí prostřednictvím dlouhodobějšího trvání stresového faktoru, přináší trvalou zátěž pro organismus a je škodlivý se nazývá distres (Lichtenthaler 1998).

Dle Levit (1980) stresor může působit na každý organismus odlišným způsobem. Je to zejména díky schopnosti rostlin vyvinout různé obranné struktury. Jedná se především o to, jak se vyhnout stresu, přizpůsobit se životnímu cyklu rostliny, ukončení vývojového cyklu a přečkání nepříznivých podmínek v podobě semen. V tomto pojetí stresové fyziologie se jedná o stres avoidance. Další možností, jak se rostliny mohou chránit před působícím stresem je stres tolerance. Jedná se o stav, kdy rostliny i přes stresové období, vykazují vysokou metabolickou aktivitu fyziologických funkcí.

Křivohlavý (2001) definuje, že k distresu dochází, pokud jedinec vnímá stresor nebo danou stresovou situaci jako nezvladatelnou. Podle intenzity projevu stresového faktoru rozeznáváme hypostres, který je slabší a organismus je schopen se adaptovat či aklimatizovat na danou situaci. Naopak hyperstres přesahuje hranici, na kterou je jedinec schopen se

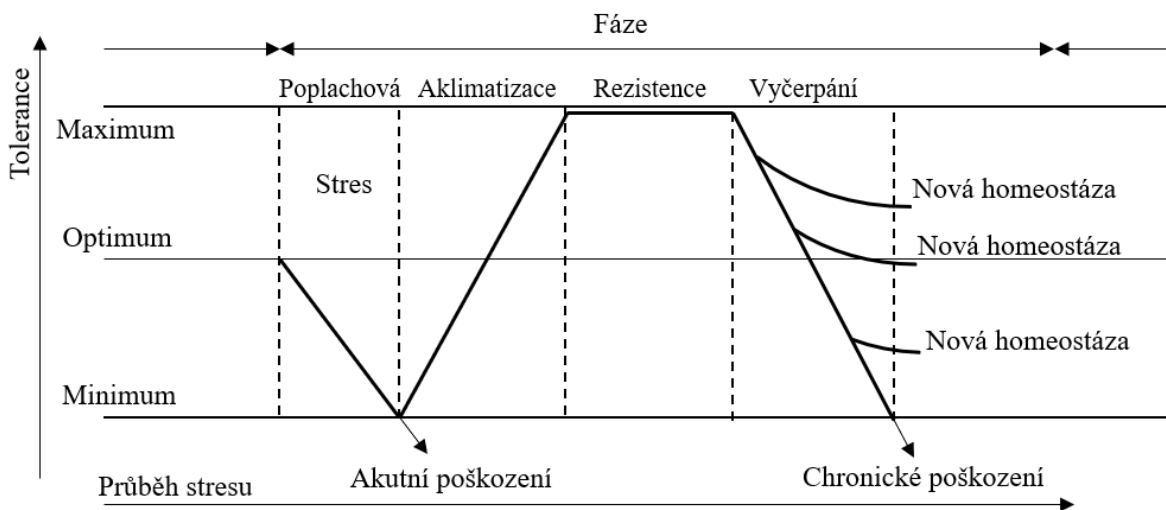
adaptovat. Organismus se nedokáže vyrovnat s působícím stresorem, nastává selhávání, poškozování a v poslední fázi může nastat i definitivní selhání organismu (Kebza 2005).

Obecně lze stresové faktory, rozdělit do dvou skupin: abiotické a biotické. Dle Oswald (1994) mezi abiotické faktory řadíme fyzikální stresory, kterými jsou např. mechanické účinky větru, nadměrné působení záření na rostliny či extrémní teploty a chemické stresory, které zahrnují nedostatek vody, nedostatečné množství kyslíku, málo živin v půdě, nadbytečné množství iontů solí v půdě, přítomnost toxických kovů a organických látek v půdě či v neposlední řadě toxické plyny ve vzduchu.

Jak uvedli Verslues et al. (2006) abiotický stres omezuje produktivitu plodin a hraje významnou roli při určování distribuce rostlinných druhů v různých typech prostředí. Abiotický stres a jeho působení na rostliny je tématem, kterému se stále více věnuje pozornost.

Wang et al. (2003) uvádí, že stresory, které působí na rostliny, mohou být nepříznivé a v některých případech mají značný dopad na světovou zemědělskou produkci. Změny, které probíhají, v těle rostliny na základě působení stresoru se nazývají stresové reakce. Průběh stresové reakce lze rozdělit do několika na sebe navazujících fází.

Průběh stresové reakce, uvedený na obr. 6, je popsán dle Larcher (2003) tak, že po začátku působení stresu nastává poplachová fáze, kdy v organismu dochází k narušení buněčných struktur a funkcí. Následuje restituční fáze, kdy se začínají mobilizovat kompenzační mechanismy. Rezistenci fáze nastává tehdy, když rostlina zvyšuje svou odolnost vůči působení stresového faktoru. Nakonec, pokud stresor působí delší dobu a v intenzivní míře, může dojít k fázi vyčerpání a nastává chronické poškození rostliny nebo její úplné odumření.



Obrázek 5 Schematický model průběhu jednotlivých stresových reakcí a odpovědi organismu (upraveno dle Kosové et al. 2011)

Adaptační schopnost rostlin je dána délkou expozice působení stresoru a vlastní odpovědí rostlin, která je limitována genetickým základem.

Piterková et al. (2005) uvádí, že aklimace je jev, kdy se rostlina stane silně odolná na působící stresor. Aklimace může být trvalá, ale i dočasná. Dočasná aklimace má za následek změny v metabolismu a přestavbu buněk, jde především o změny na úrovni proteinů a enzymů

v organismu. Tyto změny souvisí s opravami poškozeným makromolekul, snížení poškození buněk a ochranou stávajících struktur ve stresovaném organismu. Kosová et al. (2015) uvádí, že tato fáze trvá přibližně dny až týdny v závislosti na druhu organismu a délce působení stresoru.

3.6 Charakteristika vodního stresu

Rosegrant a Cline (2003) popsali, že nedostatek vody je ze všech abiotických faktorů nejvýznamnější. Voda má v ekosystémech velmi rychlý koloběh a její přítomnost v rostlinách i v půdě vystačí jen na velmi krátkou dobu.

Podle (Orcutt & Nilsen 1996) jsou srážky nepravidelné, náhodné a mohou nastat delší období sucha, což je pro rostlinu vysoce stresující. Pokud rostlina nemá dostatek vody, dochází ke zpomalování dlouhivého růstu buněk postižených orgánů. Ke zpomalení růstu dochází při poklesu turgoru 0,1 až 0,2 MPa. K zastavení růstu nastává při hodnotě turgoru 0,35 MPa. Při poklesu vodního potenciálu mezi -1 a -2 MPa klesá rychlost fotosyntézy na hodnotu nula a zpomalují se transportní procesy v buňkách.

Nedostatek vody v půdě je dle Cablíka (1951) popisováno, jako nízký obsah fyziologické vody v půdě, které způsobuje poškození rostlin. Prostřednictvím srovnání srážkových poměrů aktuálního období k dlouhodobému normálu vystihuje klimatické sucho.

Uvedený autor dále uvádí, že hydrologické sucho je popisováno jako důsledek nedostatečných srážek a vodní deficit, je rozdíl mezi skutečným obsahem vody a obsahem při maximálním nasycení půdy. Rozeznáváme přechodný a trvalý vodní deficit. Trvalý vodní deficit je způsoben nedostatečnou absorpcí vody. Často bývá kombinovaný s přechodným vodním deficitem, který se v průběhu noci vyrovnává.

Penka (1985) uvádí, že přechodný vodní deficit je způsoben převažující transpirací nad absorpcí. Tento druh vodního deficitu je během dne u většiny rostlin způsobován pasivní bilancí.

Dle Orfánus (2005) jsou vodní potenciál půdy, půdní hydrolimity a bod trvalého vadnutí indikátory půdního sucha. Larcher (1988) konstatuje, že přibýváním vody v buňce se snižuje záporná hodnota ($\Psi\pi$), Hodnota osmotického potenciálu vzrůstá a zvětšuje se i kladná hodnota tlakového potenciálu (Ψ_p), způsobená pružností buněčné stěny. To má za následek zmenšení záporné hodnoty vodního potenciálu půdy (Ψ).

3.7 Vliv vodního deficitu na rostliny

Pokles vody v její struktuře poškozuje buněčné membrány a narušuje aktivitu enzymů. Jádro v buňce při mírném stresu zůstává obalené souvislou jadernou membránou a dochází ke kondenzaci jaderného chromatinu. Kondenzace chromatinu je pokládáno za primární a reverzibilní změnu struktury rostlinné buňky při vodním deficitu. V cytoplazmě buňky dále dochází k rozpadu polyribosomů na monozomy (Čiamporová & Mistrík 1991).

Dle Bewley & Larsen (1982, 1983) už po krátkém působení sucha dochází k poklesu bílkovin, kdy po rehydrataci se syntéza bílkovin obnoví. Zpomalení syntézy bílkovin, může být způsobeno nedostatkem energie ve formě ATP (adenosintrifosfát) a GTP (guanosintrifosfát). Nejcitlivějšími buněčnými organelami jsou mitochondrie, které obsahují

řadu transportních proteinů, regulující průchod metabolitů, např. ADP (adenosindifosfát), ATP, fosfátů ap. ATP který vzniká v mitochondriích pokrývá přes 90% potřebné buněčné energie (Čiamporová & Mistrík 1991).

Filippou a kol. (2011) uvádí, že nedostatek negativně ovlivňuje metabolismus rostlin, snižuje se asimilace CO₂ a dochází i ke snížení enzymu ribuloso-1,5 bifosfát karboxylázy/oxygenázy. Vedle změn na buněčné úrovni dochází u vodního deficitu i ke změnám anatomicko-morfologickým. Penka (1985) uvádí, že při nedostatku vody se narušují růstové procesy, protože respirační pochody jsou vyšší než pochody anabolické.

Při vodním deficitu lze pozorovat nedokonalý vývin kořene, kdy dochází k prodlužování primárního kořene na úkor postranních kořenů. Když sucho pokračuje, nastává omezení tvorby kořenového systému. Přestává se objevovat kořenové vlášení a následně dojde k zastavení růstu a odumření kořene. Pokud rostlina není zásobena vodou a není schopná vést vodu kořenem do nadzemních částí rostlinného těla, nastává snížení listové plochy, to se projevuje zpomalením či úplným zastavením vývoje a růstu organismu (Kůdela a kol. 2013). Kořeny rostlin v suchém prostředí jsou dle Jenks et Wood (2010) schopny růst do míst, kde je dostupná voda a mimo prostředí s vysokou osmolaritou (hydrotropismus). Autoři dále uvádějí, že v některých případech je růst kořenů stimulován nedostatkem vody tak, že se tvoří postranní kořeny a dochází k prodlužování kořenů. Čím častěji je vývoj inhibován v suché půdě, nastává potlačování růstu laterálního kořene.

Vodní deficit znamená pro rostliny snížení turgoru a narušení vodní bilance v těle rostliny. Listy reagují v důsledku značného nedostatku vody např. kroucením a vadnutím. Mírný vodní deficit inhibuje růst a tvorbu listů.

Osakabe et al (2014) uvádí, že vodní deficit má negativní vliv na vegetativní a reprodukční fáze rostlin.

Rostliny jsou zakrnělé a jejich barva je bledě zelená, někdy může být až žlutá a mají menší množství malých, předčasně opadavých listů (Penka 1985), redukuje se vývoj květů, dozrávání květů a semen (Guilioni et al. 2003). Semena mají obvykle menší velikost, nižší klíčivost s nižším množstvím zásobních látek. Hnilička a kol. (2008) uvádí, že při působení sucha ve fázi tvorby plodů, dochází pouze ke snížení hmotnosti semene a může být zvýšen celkový opad plodů (Kůdela a kol. 2013).

3.7.1 Fotosyntéza a transpirace při vodním stresu

První reakcí na působení vodního deficitu rostlin je zastavení dlouhodobého růstu buněk organismu. Následnou reakcí, která reaguje na sucho je zavírání průduchů, to má za následek snížení růstu buněk a orgánů závislých na turgoru. Při delším působení vodního deficitu, které je postupné s pozvolným poklesem turgoru a vodního potenciálu, klesá rychlost fotosyntézy (Meyer 1993). Autor dále uvádí, že rychlost fotosyntézy souvisí se stomatální vodivostí.

Zavírání a otvírání průduchů je pravděpodobně způsobeno na základě signálů kyseliny abscisové (ABA), nebo vlivem poklesu turgoru v průduchových buňkách. I další autoři se shodují, že uzavření průduchů důsledkem kumulace ABA v listech je nejběžnější reakcí na deficit vody v rostlinných tělech (Chaves 1991, Lawor 2002). Pokud stresor začne na rostlinu působit, většina organismů reaguje uzavřením průduchů, aby neztratila vodu při transpiračním procesu. Uzavření průduchů může být výsledkem řízeného odpařování vody ze svěřacích

buněk (pokles turgoru), kdy nejsou přítomné metabolity tzv. hydropasivní reakce průduchů. Hydroaktivní reakce průduchů je proces, který se děje díky aktivním metabolickým transportům ve svěracích buňkách a uzavírání se děje na základě signálů, již dříve zmíněné kyseliny abscisové (ABA) (Mahajan & Tuteja 2005). Stejní autoři (2005) dále uvádějí, že při nedostatku vody dochází ke snížení expanze listů, čímž se dosáhne snížení plochy, ze které se může odpařovat voda (proces transpirace). Existují takové rostliny, které reagují na sucho urychlením stárnutí a opadem listů, někdy označovaným jako úprava listové plochy.

Uzavírání průduchů nemá jen za následek pokles rychlosti fotosyntézy, ale i transpirace (Atwella et al. 1999).

Griffiths a Parry (2002) uvedli, že při dlouhodobějším nedostatku vody se projevují metabolické změny, zejména fotosyntéza, kdy dochází k jejímu snížení.

Snížení obsahu oxidu uhličitého v intracelulárních prostorech je vyvoláno nedostatkem vody, což má za následek uzavření průduchů, jak již bylo uvedeno výše. Jedná se o stomatální inhibici fotosyntézy. Ta je ovlivněna rychlostí čisté fotosyntézy, která je závislá na vodivosti průduchů. Stomatální vodivost, spolu s rychlostí fotosyntézy a s transpirací, jsou ovlivňovány stresem vyvolaným vodním deficitem (Sarker & Hara 2011). Nestomatální inhibice fotosyntézy se objevuje při sníženém vodním potenciálu (Ögren & Öquist 1985), je způsobena poklesem aktivity enzymu Rubisco a fotoinhibicí způsobenou poškozením fotosystému II (PS II). Fotosyntetické systémy a enzymy bývají poškozeny vysokou teplotou, která se často vyskytuje společně s vodním deficitem. Pro některé skupiny organismů je hlavní nestomatální vliv fotoinhibice (Björkman & Powles 1984), zatímco u některých organismů dominuje aktivita rubisca (Ögren & Öquist 1985).

Dle Cornic a Massacci (1996) lze konstatovat, že účinek stresu na rostlinu je obvykle vnímán, jako pokles fotosyntézy a růstu, kdy celý jev je doprovázen změnou metabolismu uhlíku a dusíku. Jak již bylo uvedeno výše působení sucha ovlivňuje fotosyntézu několika projevy. Jedním projevem je stomatální inhibice fotosyntézy, která obsahuje uzavírání průduchů, které mají za následek snížený příjem CO₂ do mezofylu. Nestomatální inhibice zahrnuje metabolické a fyziologické změny, při kterých se naruší poutání uhlíku při probíhající fotosyntéze. Tato narušená fixace nastává kvůli snížení aktivity upevňovacího enzymu rubisco a poškození syntézy ATP v chloroplastu, jejichž následkem dochází k omezení fotosyntézy, ale také k jejímu narušení (Eldakak et al. 2014). Jak popsal Flexas, Medrano (2002) existují značné diskuze o tom, zda sucho omezuje fotosyntetickou asimilaci oxidu uhličitého stomatálním uzavřením nebo metabolickým poškozením u rostlin typu C₃.

Šlechtění na projevy rostlin na působení vodního deficitu je časově náročné a proto se používají látky, které snižují negativní dopad stresových faktorů. Jedná se především o antistresory jako jsou fytohormony. Mezi fytohormony jsou řazeny cytokyniny, ABA apod. Bláha a kol. (2010) uvádí, že se jedná zejména o přírodní látky, které nazatěžují životní prostředí.

Pokud se v rostlině sníží relativní obsah vody (RWC), tak se snižuje i stomatální vodivost. To má za následek zpomalení nebo úplného zastavení příjmu oxidu uhličitého (Lawlor 2002).

Nedostatek vody má tedy za následek uzavírání průduchů, zpomalení akceptace CO₂ a zpomalení výdeje vody prostřednictvím transpirace (Ahmadi & Siosemardeh 2005). Pokud je hydratace omezená, rostlina je schopná ve svém těle uchovávat vodu pomocí uzavřením průduchů (Larcher 1988).

Při vodním stresu dochází nejen k poškození na fotosynteticky aktivních pigmentech, ale dochází i k poškození thylakoidních membrán. Je známo, že při vodním deficitu, je u rostlin snížen ve větší míře chlorofyl *b* než chlorofyl *a* (Ashraf & Harris 2013).

Kvalita a uchovatelnost sklizených rostlinných produktů je ovlivněna transpirací, díky oddělení části rostliny od mateřské, není možné doplňovat vodu, která se vydala při transpiraci (Bartz & Brecht 2003).

3.8 Adaptační rostlin na vodní stres

Aktivita hydrolytických procesů se naopak zvyšuje a umožňuje přesun organických látek ve starších orgánech do mladších.

Dle Yordanov et al. (2000), je na stres citlivější růst listů než růst kořenů. Biomasa v rostlině se se snižujícím obsahem vody zmenšuje. Ale existují i takové typy rostlin, které při nedostatku vody zvyšují objem kořenového systému, jako obranu před suchem (Jones et al. 2008). Takovou rostlinou je například tykvovitá rostlina kolokvinta obecná (*Citrullus colocynthis*), která díky svým dužnatým kořenům, je schopná zadržet velké množství vody. Její kořeny slouží jako zásobárna vody v obdobích sucha. Si et al. (2009) uvedli, že kořenový systém této rostliny dosahuje do značných hloubek a je široce rozšířena na Saháře.

Obecně lze charakterizovat krátkodobé období, kdy rostlina nemá dostatek vody jako krátkodobý přísušek. Naopak období, které je delší a rostlina nemá dostatečný příjem závlahy, se označuje jako dlouhodobý přísušek. V obou případech dochází k negativnímu ovlivnění metabolismu rostliny (Kůdela a kol. 2013).

Deficit sucha nebo půdní vody může být chronický v klimatických oblastech s nízkou dostupností vody nebo náhodný a nepředvídatelný v důsledku změn klimatických podmínek během období růstu rostlin. Očekává se, že účinky sucha se zvýší se změnou klimatu a rostoucím nedostatkem vody. Voda je stále vzácnějším přírodním zdrojem pro současné ale i budoucí obyvatelstvo. V případě dlouhotrvajícího vodního deficitu, může dojít k odumření určitého orgánu rostliny či uhynutí celé rostliny (Rosegrant & Cline 2003).

Jak uvedl Larcher (1988) rostliny lze dělit do dvou skupin podle toho, jak jsou schopné se vyrovnávat s krátkodobými výkyvy příjmu vody a rychlosti evaporace na poikilohydrické a homoihydrické. První zmíněná skupina rostlin dokáže přizpůsobit svůj obsah vody vlhkosti okolí. Tyto rostliny mají malé buňky bez centrální vakuoly, a pokud dochází ke snížení obsahu vody, buňky stejnoměrně seschnou a nedojde k narušení protoplazmatických struktur. Díky této funkci zůstávají živé a při snížení vody se zastaví jejich procesy. Pokud opět dojde k příjmu vody, obnoví své procesy a začnou fungovat. Poikilohydrickými organismy jsou například lišejníky a mechy. Druhá skupina rostlin, homoihydrická, má buňky opatřené centrální vakuolou, ve které se zadržuje značné množství vody. Tato skupina rostlin nemá schopnost snášet dlouhodobé vysušení. Rostliny jsou opatřeny kutikulou s průduchy, které dokáží regulovat výdej vody při jejím nedostatku.

3.9 Obranné mechanismy rostlin při vodním deficitu

Pokud na rostlinu působí stresové faktory, je nutné, aby rostlina vyvinula mechanismy, které jí zabrání se stresoru ubránit a zachovat svoji existenci. Tuto odolnost vůči působení stresoru nazýváme adaptace (Jenks and Wood 2010).

Dle Bláhy a kol. (2003) rostliny vytvořily mnoho adaptací na to, jak hospodařit s vodou. Uchování vazné vody v pletivech sukulentních organismů umožňují vodní pletiva v listech, stoncích, kmenech nebo v kořenech. Buňky parenchymatického pletiva se zvětšují na úkor intracelulárních prostorů a dochází ke zvětšení jejich vakuol. Během deštivého období sukulenty načerpají vodu do vakuol, které se během sucha uvolňují, a rostliny ztrácejí turgor nebo dochází k jejich sraštění. Při suchém období jsou schopny vodu minimálně odpařovat a průduchy otevírají v noci.

Bláha a kol. (2003) uvádí, že nesukulentní, vytrvalé rostliny mohou čerpat vodu z velké hloubky díky křivoitému kořenu. Některé pouštní rostliny mají velmi mělký, ale bohatě větvený kořen, kterým jsou schopny absorbovat kondenzační noční vlhkost na povrchu půdy. Za velkého vlhkostního stresu ztrácejí kořenové vlášení, ale při opětovném kontaktu s vodou ho rychle obnovují. Adaptace před nadměrnou ztrátou vody odparem představuje silná kutikula, voskové povlaky, trichomy, průduchy zanořené do listu a omezený režim jejich otvírání, redukce velikosti transpiračních orgánů až úplná absence listů.

Handa et al. (1986) uvedli, že na nedostatek vody rostlina může reagovat rychlou akumulací prolinu v buňkách. Ackerson et al. (1981) uvádí, že rostliny bavlníku reagují na nedostatek sucha pomocí osmoregulace. Po adaptaci měl potenciál vody v listech nízký turgor a byl podstatně nižší než u rostlin, které nikdy nebyly vystaveny vodnímu stresu. Chloroplasty obsahovaly velké množství škrobu, a měly poškozené struktury thylakoidních membrán.

Jednoleté rostliny, zejména plevelné rostliny, dokáží nedostatku vody velmi dobře vzdorovat. Mají schopnost několikrát zmenšit své rozměry, vykvést a dokončit generativní cyklus dozráním semen. Naopak u vytrvalých rostlin není jisté založení a dokončení generativního cyklu. Víceleté rostliny alokují energii do vytváření zásobních orgánů, jako jsou hlízy, oddénky a cibule rostliny a dochází k redukci svých rozměrů. Bláha a kol. (2003) uvádí, že některé rhizomatické a cibulovité druhy chrání podzemní orgány před vysycháním a vysokými teplotami hustě natěsnané pochvy odumřelých listů, např. kosatec úzkolistý (*Iris tenuifolia*). Jiné druhy cibulovin například *Merendera trigyna*, předchází suchu prostřednictvím zmnožených šupin s výplní plstnatých vláken, které jsou střechovitě uspořádány, až téměř k povrchu půdy. Dřeviny přežívají suché období díky blízké přítomnosti kořenových systémů okolních stromů.

Při působení abiotického stresu, dehydratace, je přítomen ochranný stresový protein LEA (late embryogenesis abundant). Jedná se o protein, který interaguje s enzymy v cytosolu, s chromatinem, cytoskeletem. Jejich úkolem je udržovat nezbytný stupeň hydratace pro zachování struktur. Jedná se o extrémně hydrofilní proteiny (Hand et al. 2010).

Larcher (2003) uvádí, že fytohormony koordinují vývojové a metabolické procesy, mezi které patří kyselina abscisová (ABA).

Dalším způsobem, dle Bláhy a kol. (2003), jak rostliny odolávají vodnímu deficitu je vyšší účinnost vedení vody, pomocí většího množství cév nebo hustou listovou žilnatinou. Ale existují i rostlinné organismy, které jsou na suché období adaptovány a nevaří jim vyschnutí.

Tyto rostliny ve svém cyklu mohou projít dormantním stadiem v podobě semen, podzemních orgánů, či jsou v bezlistém stavu.

Dle Votrubové, Pazourka (1997) adaptace rostlin na stresový faktor sucho může být různá. Některé rostliny jsou adaptovány svými průduchy, které jsou na listech umístěny tak, aby v případě ohrožení suchem ochránila rostlinu. Dalším možným obranným mechanismem rostlin je ztráta listů způsobená opadem starších listů. Rostliny, podle toho v jakém prostředí žijí, jsou adaptovány velikostí listové plochy, čili se jedná o ontogenetickou adaptaci. Reakce rostlin na nedostatek vody, jak již bylo uvedeno výše, se projevuje ztrátou turgoru, vadnutím a následným zastavením jejich růstu. Dalším projevem adaptace rostlinného organismu na sucho je osmotické přizpůsobení díky kompatibilním solutům (sacharidy). Kompatibilní soluty se nacházejí zejména v cytoplazmě a umožňují tak dosahovat osmotické rovnováhy s vakuolou.

3.10 Metody vhodné pro detkování vlivu stresu

Pro hodnocení adaptability genotypů rostlin na stres se používají biochemické metody, např. obsah prolinu v buňkách.

Akumulace prolinu v buňkách je častým jevem u rostlin, které prošly změnou prostředí. Nahromadění prolinu v buňkách je pravděpodobně adaptační mechanismus na působení stresového faktoru. Prolin poskytuje dostatečné množství energie na to, aby rostlina mohla růst a přežít nepříznivé podmínky. Činností prolinu v této situaci je vychytávat volné radikály kyslíku (Chandrashekar, 1996). Přítomnost prolinu v buňkách rostliny se dá změřit spektroskopicky, nebo pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie HPLC.

Stanovení obsahu fotosyntetických pigmentů

Dle Urbana (2013) při této metodě lze stanovit obsahy chlorofylů a karotenoidů destruktivně či nedestruktivně. Nedestruktivní přístup zahrnuje měření propustnosti (transmitance) a odrazivosti (reflektance) listové plochy. Množství chlorofylu obsažených v listu se měří spektrofotometricky a opticky. Jako rozpouštědlo se používají obvykle polární rozpouštědla. Destruktivní spektrofotometrické metody jsou přesnější než nedestruktivní optické metody. Naopak nedestruktivní metody jsou rychlejší a jednodušší, než destruktivní (Hlavinka et al. 2013).

Osmotické přizpůsobení, osmotický potenciál, vodní potenciál, relativní obsah vody, vodní sytostní deficit je dle Urbana (2016), další metoda pro měření působení vlivu stresu na rostlinu. Vodní status v rostlinném pletivu může být vyjádřen obsahem vody v pletivu nebo hodnotou chemické energie vody. V této metodě se nejvíce používají listy, ale je možné použít stonky nebo kořeny. Vodní potenciál je rozdíl mezi chemickým potenciálem čisté vody a chemickým potenciálem vody. Další popsána metoda, která stanovuje stres v rostlinném těle je metoda rozpustných sacharidů (Water –soluble carbohydrates, WSC).

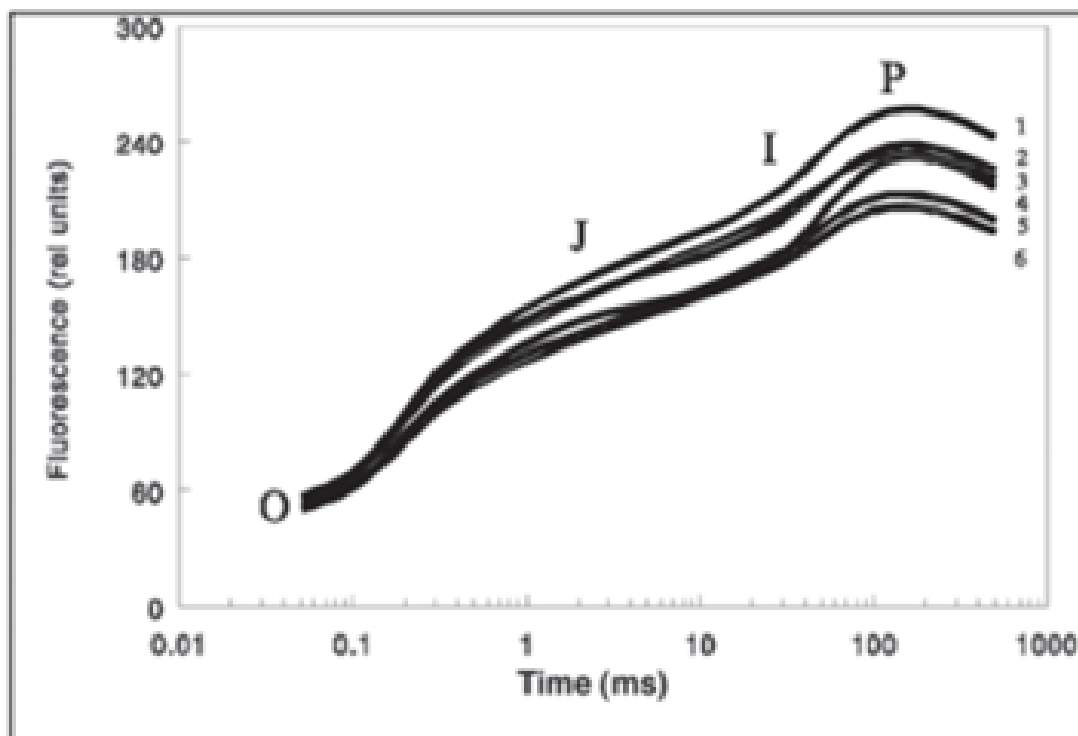
Sacharidy jako je glukóza, fruktoza a sacharóza můžeme stanovit pomocí HPLC nebo kvantitativní kolorimetrickou metodou s anthronem. Kolorimetrická metoda má výhodu v tom, že se stanoví celkový obsah sacharidů, které jsou rozpustné ve vodě. Princip této metody spočívá v sacharidech akumulovaných ve stoncích během ranné reprodukční fáze vývoje. Sacharidy jsou remobilizovány během plnění zrn do klasů. Akumulace škrobů (v plastidech) či WSC (ve vakuolách) podléhá velmi jemné regulaci (Scofield et al. 2009).

Molekulární metody stanovení míry adaptability genotypů dokáží odlišit míru adaptability genotypů vůči abiotickým stresům. Mezi nejvíce používané metody molekulárního charakteru patří stanovení obsahu a aktivity rostlinných fytohormonů a jiných metabolických produktů (ionty, proteiny, aminokyseliny, cukry, polyoly, polyaminy, kvartérní aminy) (Cristescu et al. 2013)

Gazometrická měření rychlosti fotosyntézy podle von Caemmerer and Farquhar (1981) detekují změny v koncentraci CO₂ a H₂O. Jedná se o stanovení rychlosti asimilace CO₂, respirace, transpirace, stomatální vodivosti, intercelulární koncentrace CO₂. Gazometrické metody využívají infračervené IRGA (Infrared Gas Analyzer) analyzátory plynů (CO₂ a H₂O), které jsou napojeny na komoru, ve které je uzavřen fotosyntetizující předmět (Beku a kol. 1995). Autoři dále uvádějí, že Clarkova kyslíková elektroda se používá při oxymetrické metodě. Tato elektroda slouží ke stanovení koncentrace kyslíku, který se uvolňuje terčíkem listu.

Fluorometrická metoda používá fluorometry, přístroje, které měří indukovanou fluorescenci molekul chlorofylu (Long & Bernacchi 2003).

Jedná se o velmi používanou metodu při studiu fotosyntézy a fyziologie rostlin. Percival (2005) popisuje tuto techniku, jako metodu, při které se měří změny chlorofylu a fluorescence způsobené změnou aktivity fotosystému II. Fluorescence chlorofylu se může sledovat mnoha způsoby. Při této metodě se používá tzv. O-I-P křivka fluorescenční indukce zjištěná pro malou (~ 200 fotonů, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) intenzitu excitačního světla (EIS) mění tvar s rostoucí IES. Pro velkou (~ 3000 fotonů $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) IES se detekuje tzv. O-J-I-P křivka. Percival (2005) popisuje tuto křivku pro vyšší rostliny, které obsahují chlorofyl jako hlavní fotosyntetický pigment, vykazují vzestup fluorescence chlorofylu první sekundu po osvětlení vzorku (obr. 7).



Obrázek 6: Polyfázový fluorescenční vzorec (křivka OJIP). pro šest odlišných druhů plodin. 1 – lípa (*Tilia Europea* L.); 2- jilm (*Ulmus glabra* Huds.); 3 – kaštan (*Aesculus hippocastanum* L.) ; 4 – jasan (*Fraxinus excelsior* L.); 5 – třešň (*Prunus avium* L.); 6 – jabloň (*Malus sylvestris* L.). (Percival 2005)

Chlorofylovou fluorescenční indukci lze využít na rostlinách, které jsou standardně osvětleny slunečním zářením nebo na rostlinách, které jsou adaptované na tmu. Princip je založen na analýze fluorescence chlorofylu. Světelná energie pohlcená molekulami chlorofylu v listu, jak popsali Maxwell a Johnson (2000), může být použita k řízení fotosyntézy (fotochemie), přebytečná energie může být rozptýlena jako teplo nebo může být znovu vydávána jako světlo – chlorofylová fluorescence. Tyto tři procesy neexistují izolovaně, ale navzájem si konkurují. Výtěžnost emisí fluorescence chlorofylu podle Butler (1978); Pfündel (1998); Baker, (2008) poskytuje informace o kvantové účinnosti fotochemie a rozptylu tepla. Proto měření výtěžku fluorescence chlorofylu lze získat informace o změnách účinnosti fotochemie a rozptylu tepla. Přestože celkové množství fluorescence chlorofylu je velmi nízké (pouze 1 % nebo 2 % celkového absorbovaného světla), měření je jednoduché (Lazár 2006).

4 Metodika

V pokusu byl sledován vliv krátkodobého vodního deficitu a následné rehydratace u dvou vybraných zástupců olejnin. Pokusnými rostlinami byly: řepka olejka *Bonanza* a slunečnice roční *PR6E82*. U juvenilních rostlin byla sledována rychlost výměny plynů, efektivita využití vody a fluorescence chlorofylů.

4.1 Charakteristika pokusného materiálu

Sledované fyziologické charakteristiky byly hodnoceny u následujících druhů zástupců olejnin. Osivo sledovaných druhů rostlin bylo získáno z komerčního zdroje.

Řepka olejka (*Brassica napus* L.)

Odrůda *Bonanza* představuje polopozdní středně vysoký až vysoký hybrid, který je odolný vůči poléhání. Hmotnost tisíce semen, je u této odrůdy středně vysoká až vysoká - 5 g. Dobrou vlastností této odrůdy je tvorba nadprůměrně velkého a silného křídlovitého kořenu, díky kterému je rostlina schopna dosáhnout vysokých výnosů, vysoké tolerance ke stresovým podmínkám. Tento hybrid je také schopen velmi dobré a rychlé regenerace po zimním období. *Bonanza* je odrůda vhodná i pro pozdní výsevy (VP Agro 2018).

Slunečnice roční (*Helianthus annuus*)

Jednoletý raný hybrid *PR63E82* je odolný vůči herbicidu Express/Granstar. Hybrid slunečnice velmi dobře odolává chorobám, zejména sklerotinové chorobě úboru a vůči rasám plísně slunečnicové. Rostliny obsahují středně vysoký až vysoký obsah oleje (SPZO 2015).

4.2 Založení pokusu

Rostliny slunečnice roční a brukve řepky olejky byly pěstovány v nádobovém pokusu v nádobách o velikosti 11 x 11 cm ve směsi zahradního substrátu s vysokým obsahem organických látek a křemičitého písku v poměru 2:1. Použitý zahradní substrát je jemný (maximálně 10 % částic nad 10 mm), udržující vzdušnost prostředí, nesléhavý, nezasolený, pH ve vodném roztoku 5,5 – 6,5, neobsahuje plevele a škůdce, obsahující 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku, s podílem částic nad 25 mm max. 5 %. Obsah živin substrátu byl následující: N: 80120 mg l⁻¹, P₂O₅: 50-100 mg l⁻¹, K₂O: 100-150 mg l⁻¹. Obsah rizikových prvků splňoval zákonem stanovené limity mg.kg⁻¹ sušiny. Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (Agrocs.cz 2018).

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku České zemědělské univerzity v Praze, KBFR FAPPZ. Teplota vzuchu během pokusu byla nastavena na 25 °C ve dne a 19 °C v noci, při přirozeném světelném režimu (14 hodin světla, 10 hodin tmy). Rostliny v kontrolní variantě byly zavlažovány na úroveň 70 % VVK. Pro jednu pokusnou nádobu to představuje 150 ml vody. Rostliny v stresované variantě byly vystaveny působení vodního deficitu po dobu 14 dnů, kdy substrát přirozeně vysychal. Ve fázi 4 pravých listů se uskutečnila rehydratace, která trvala 7 dnů. Následně byly stresované rostliny, zavlažovány na

úroveň kontrolních rostlin. Fyziologické charakteristiky byly měřeny po dobu 20 dnů. Celkem bylo uskutečněno devět měření.

4.3 Metody měření sledovaných charakteristik

Stanovení výměny rychlosti plynů a stomatální vodivosti

Rychlost výměny plynů a stomatální vodivosti byly sledovány pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro SD (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Velká Británie) (viz obr. 8).



Obrázek 7: Lcpro SD, (kbfr.agrobiologie.cz 2018)

Lcpro SD je gazometrický mobilní přístroj určený na měření fyziologických parametrů jako je rychlost fotosyntézy, rychlost transpirace, substomatální CO₂ vodivost a stomatální vodivost. Měřicí hlavice je schopná regulovat teplotu kolem 14 °C od teploty okolí (Ekotechnika.cz 2017)

Lcpro SD využívá nerozptýlené infračervené záření pro měření oxidu uhličitého, který absorbuje infračervené oblasti poměrně ke koncentraci plynu. Uvedené fyziologické charakteristiky byly měřeny při teplotě vzduchu 25 °C s hustotou ozáření 650 mol.m².s⁻¹.

4.4 Fluorescence chlorofylu

Stanovení fluorescence chlorofylů u juvenilních rostlin slunečnice roční a řepky olejky prováděnou uskutečnilo pomocí přístroje OS5p (Opti-Sciences, Velká Británie). Přístroj OS5p (viz obr. 11) je mobilní chlorofyl fluorometr ideální pro rychlé měření a hodnocení vodního deficitu (Optisci.com 2018).



Obrázek 8: OS5p, (alt-lab.com 2018)

4.5 Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody je charakterizována jako poměr mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace. Lze ji vypočítat následovným matematickým vztahem:

$$WUE = A/E (10^{-3})$$

kde:

A = intenzita fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

E = intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Jedná se o hodnotu, která představuje jak efektivně je voda využívána daným organismem. Efektivita využití vody popisuje skutečnou výměnu mezi fixací uhlíku a ztrátou vody, ke které dochází v rostlinách (Bramley at al. 2013).

4.6 Hodnocení výsledků

Pro vyhodnocení výsledků byla použita vícefaktorová analýza rozptylu (ANOVA). použitá hladina významnosti byla $\alpha = 0,05$, při zachování 4 opakování.

5 Výsledky

V diplomové práci byla na kontrolních a stresovaných rostlinách slunečnice roční (*Helianthus annuus*) a řepky olejky (*Brassica napus*) sledována rychlost fotosyntézy, rychlost transpirace, fluorescence chlorofylu a efektivita využití vody.

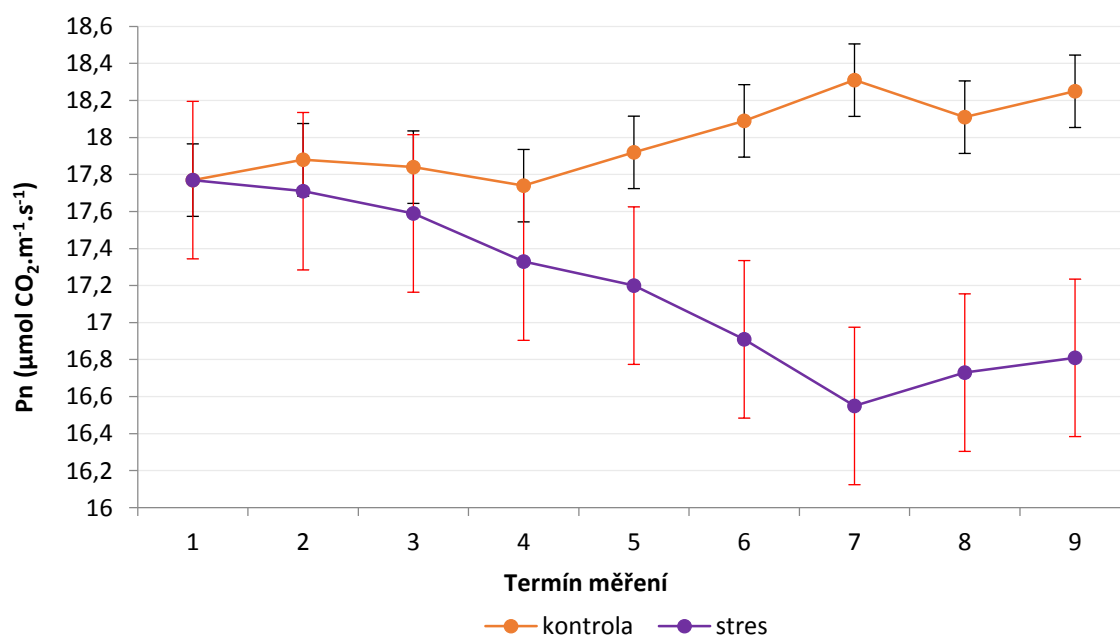
5.1 Rychlost fotosyntézy

Rychlost fotosyntézy (P_n) řepky olejky v závislosti na variantě a délce působení stresoru je uvedena v grafu 2. Z uvedeného grafu je patrné, že u stresované varianty docházelo

ke snižování rychlosti fotosyntézy v závislosti na délce působení stresu. Rychlost fotosyntézy stresované varianty se pohybovala v intervalu hodnot 17,77 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. měření) do 16,81 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (devátý termín odběru). Rychlost fotosyntézy rostlin řepky v kontrolních podmínkách byla nejnižší na počátku pokusu (17,7 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) a naopak nejvyšší fotosyntéza byla stanovena v sedmý termín měření 18,31 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.

U rostlin kontrolních, rychlost fotosyntézy nejprve narůstala, kdy ve 2. termínu byla 17,88 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Následně byl zaznamenán její průkazný pokles až do 4. termínu, (17,74 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). Poté se rychlost fotosyntézy opět zvyšovala až na maximální hodnotu v sedmém termínu měření (18,31 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), poté následovalo snížení, které bylo na konci pokusu nahrazeno zvýšením fotosyntézy, jak dokládá graf 2.

Z grafu 2 je dále patrné, že v případě rostlin stresovaných dochází vlivem působení vodního deficitu k postupnému snižování rychlosti fotosyntézy. Nejvyšší hodnota rychlosti fotosyntézy byla zaznamenána na počátku pokusu, kdy dosáhla hodnoty 17,77 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Již od druhého termínu měření, 3. den stresu, byl zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy o 0,06 % v porovnání s předcházejícím termínem měření. Tento trend trval po celou dobu působení vodního deficitu až do 7. termínu měření, tedy 16. den působení vodního deficitu. V tomto termínu byla naměřená rychlost fotosyntézy 16,55 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. V porovnání s počátkem pokusu se jedná o 7% snížení fotosyntézy. Vlivem následné rehydratace se rychlost fotosyntézy zvyšovala až na hodnotu 16,81 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Avšak tato hodnota nedosáhla hodnoty rychlosti fotosyntézy na počátku pokusu. Průkazný rozdíl mezi hodnotou na konci období stresu a po rehydrataci činil 1,22 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.



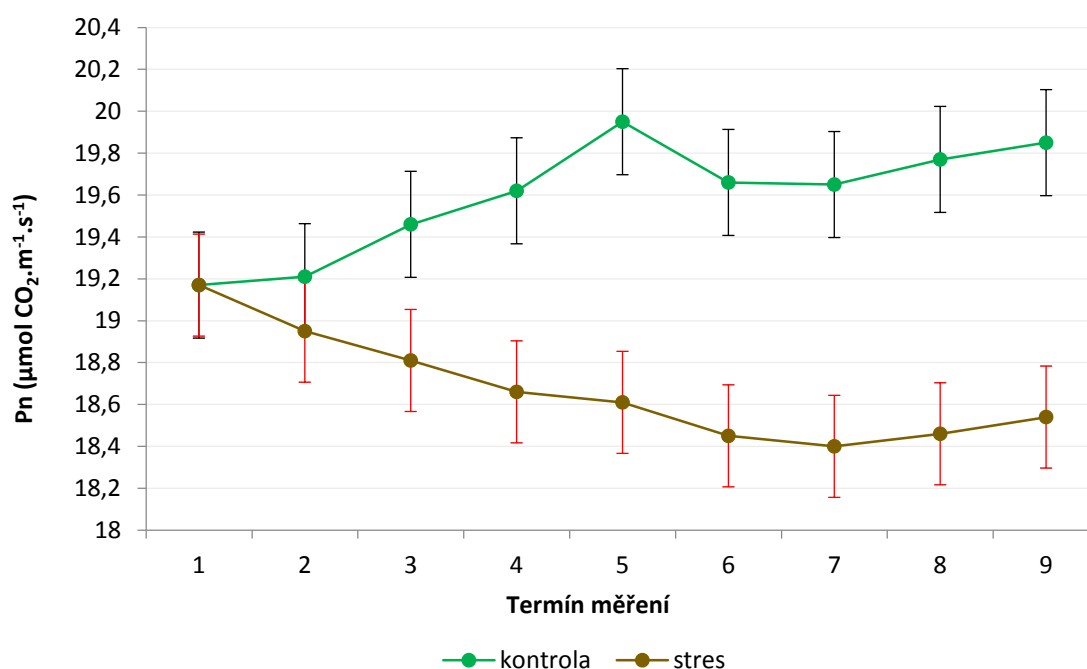
Graf 2: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) řepky olejky (*Brassica napus*) v závislosti na variantě a délce působení stresoru

Rychlost fotosyntézy slunečnice roční v závislosti na variantě a délce působení stresoru je uvedena v grafu 3. Podobně jako v předchozím případě je patrné, že u stresované varianty

slunečnice roční docházelo ke snižování rychlosti fotosyntézy v závislosti na období, po které byly rostliny vystaveny stresovým podmínkám. Rychlost fotosyntézy stresované varianty se pohybovala v intervalu hodnot prvního dne pokusu $19,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, do hodnoty $19,85 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ posledního dne měření. Rychlost fotosyntézy kontrolní varianty slunečnice měla v prvním termínu měření hodnotu $19,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost fotosyntézy kontrolní varianty při posledním měření, tj. 20. den pokusu, dosahovala hodnoty $19,85 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.

U varianty kontrolních rostlin, rychlost fotosyntézy nejprve narůstala, až do 5. termínu měření ($19,95 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). Následně byl zaznamenán mírný pokles fotosyntézy o $0,29 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, který trval až do 7. termínu měření. Poté se hodnota fotosyntézy zvýšila až na hodnotu $19,85 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Ke konci pokusu se rychlost fotosyntézy neprůkazně zvyšovala až do závěru pokusu.

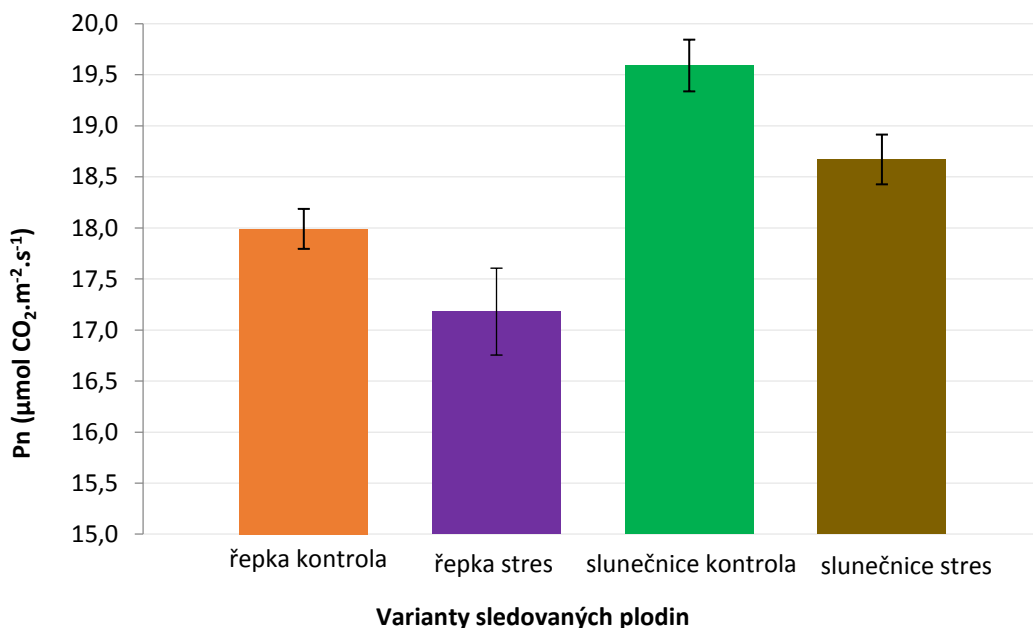
V případě stresovaných variant rostlin slunečnice roční, jak je patrné z grafu 3, dochází vlivem vodního deficitu k postupnému snižování rychlosti fotosyntézy. Nejvyšší rychlost fotosyntézy byla zaznamenána na počátku pokusu ($19,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). Naopak nejnižší hodnota stresovaných rostlin byla zaznamenána 7. termín měření $18,4 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. V porovnání s počátkem pokusu se jedná o 4% snížení rychlosti fotosyntézy. Vlivem následné rehydratace se rychlost fotosyntézy zvyšovala až na hodnotu $18,54 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Avšak tato hodnota nedosáhla výše fotosyntézy $19,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ na počátku pokusu. uvedené rozdíly jsou statisticky neprůkazné.



Graf 3: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) slunečnice roční (*Helianthus annuus*) v závislosti na variantě a délce působení stresoru

Souhrnný graf 4 prezentuje reakce juvenilních rostlin slunečnice roční a řepky olejky na vodní stres. Z uvedeného grafu jsou patrné mezidruhové rozdíly, kdy vyšší průměrná hodnota rychlosti fotosyntézy ze všech měření, byla zaznamenána u kontrolní rostliny slunečnice -

19,59 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, v porovnání s řepkou (17,99 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). Na stres suchem citlivěji reagovaly rostliny slunečnice, u kterých rozdíl v rychlosti fotosyntézy kontrolních a stresových rostlin byl 0,92 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (4,70 %). V případě reakce juvenilních rostlin řepky bylo také zaznamenáno průkazné snížení rychlosti fotosyntézy u rostlin stresovaných, v porovnání s rostlinami kontrolními. Tento pokles činil 0,81 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (4,50 %).



Graf 4: Porovnání průměrné rychlosti fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u řepky olejky a slunečnice roční v závislosti na variantě pokusu

5.2 Rychlost transpirace

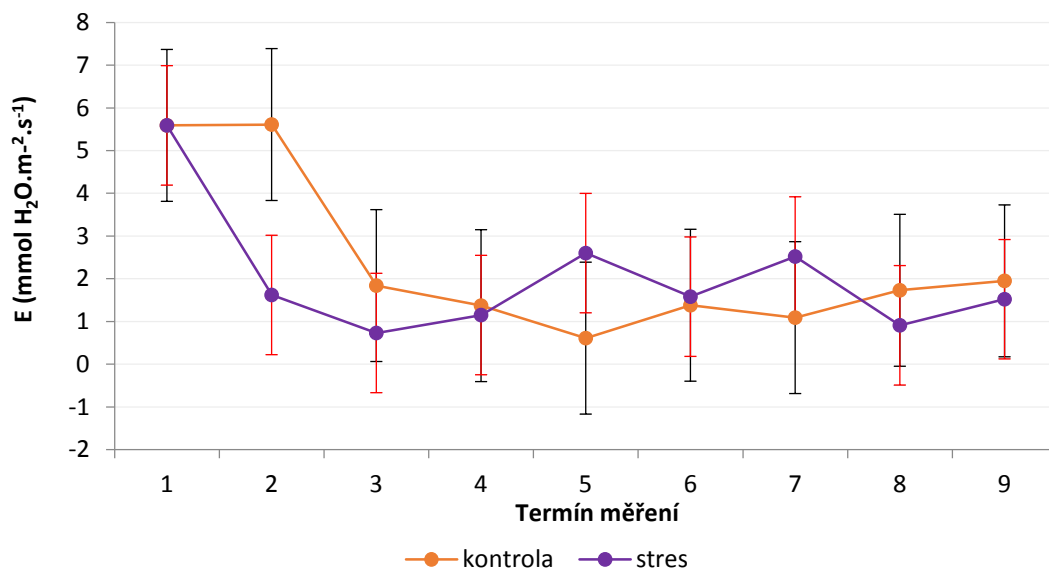
V grafu 5 je uvedena rychlost transpirace (E) řepky olejky v závislosti na variantě a délce působení stresoru. Z grafu vyplývá, že nejnižší rychlost transpirace kontrolních rostlin řepky byla 5. den měření (0,61 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), naopak nejvyšší hodnota byla na začátku pokusu v první den měření (5,59 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

U kontrolní varianty nebyl zaznamenán výrazný trend v nárůstu či poklesu hodnot transpirace v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin. Rychlost transpirace kontrolní varianty se pohybovala v intervalu hodnot od 5,59 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. termín) do 0,61 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, která byla naměřena 10 den pokusu. Jednalo se o průkazný pokles rychlosti transpirace.

Rychlost transpirace rostlin řepky, které byly vystaveny suchu měly nejvyšší hodnotu na počátku pokusu (5,59 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a naopak nejnižší 20. den (1,52 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). U rostlin kontrolních se rychlost transpirace do 5. termínu měření snižovala (0,61 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Následně byl zaznamenán její nárůst (1,38 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Poté se rychlost

transpirace opět snížila, ale ke konci pokusu se opět zvyšovala. Na konci pokusu byla ve výši $1,95 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných, jak znázorňuje graf 5, dochází vlivem působení vodního deficitu k postupnému snižování rychlosti transpirace, podobně jako u kontrolních rostlin. Nejvyšší rychlost transpirace byla zaznamenána na počátku pokusu ($5,59 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Naopak nejnižší rychlost transpirace stresovaných rostlin byla zaznamenána v 3. termínu měření, kdy dosáhla hodnoty $0,73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. V porovnání s počátkem pokusu se jedná o 13% snížení rychlosti transpirace.

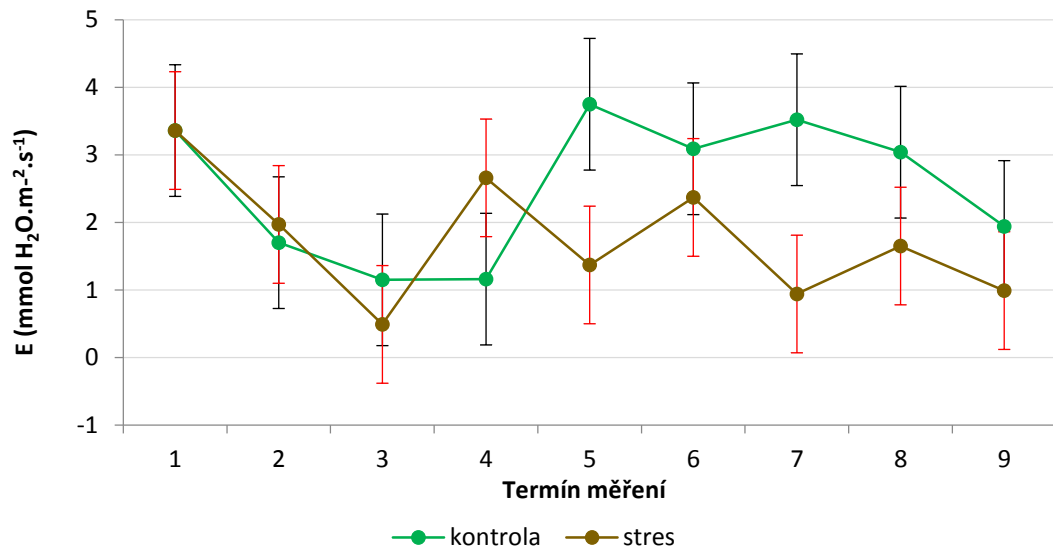


Graf 5: Rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) řepky olejky (*Brassica napus*) v závislosti na variantě a délce působení stresoru

Rychlost transpirace slunečnice roční v závislosti na variantě a délce působení stresoru je uvedena v grafu 6. Podobně jako v předchozím případě, můžeme sledovat snížení rychlosti transpirace, u stresované varianty. Rychlost transpirace stresované varianty slunečnice se pohybovala v intervalu hodnot od $3,36 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1. termín) do $0,49 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (3. den měření). Rychlost transpirace kontrolních rostlin slunečnice byla na počátku pokusu $3,36 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a na konci $1,94 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U kontrolní varianty rostlin slunečnice, rychlost transpirace nejprve klesala, do 3. termínu měření ($1,15 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Následně byl zaznamenán průkazný nárůst transpirace do 5. termínu, tj. 10. dne pokusu ($3,75 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Poté byl zaznamenán neprůkazný pokles transpirace, který byl vystřídán nárůstem transpirace v 7. termínu měření. Na konci pokusu bylo naměřeno průkazné snížení transpirace na hodnotu $1,94 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, jak dokládá graf 6.

V případě stresovaných rostlin slunečnice, jak je patrné v grafu 6, dochází vlivem působení stresoru ke snižování rychlosti transpirace. Nejvyšší hodnota rychlosti transpirace u stresovaných rostlin slunečnice, byla zaznamenána na počátku pokusu, $3,36 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Naopak nejnižší hodnota stresované varianty byla zaznamenána 3. termín měření ($0,49 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). V porovnání s prvním termínem měření hodnota

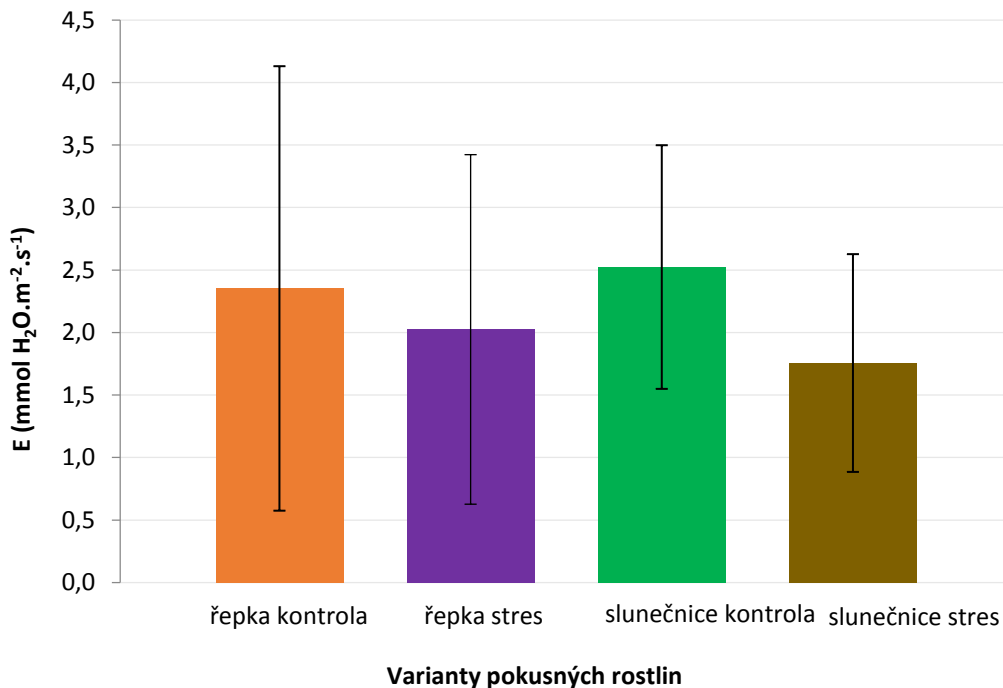
rychlosti transpirace se průkazně snížila o 85 %. Poté rychlost transpirace nevykazovala trend v nárůstu či poklesu hodnot. Vlivem rehydratace se rychlost transpirace zvýšila na hodnotu $1,65 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Jednalo se o neprůkazné zvýšení transpirace. Na konci pokusu se však rychlost transpirace neprůkazně snížila na hodnotu $0,99 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



Graf 6: Rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) slunečnice roční (*Helianthus annuus*) v závislosti na variantě a délce působení stresoru.

V souhrnném grafu 7 je zaznamenána průměrná rychlost transpirace zkoumaných rostlin v závislosti na variantě pokusu. Z grafu jsou patrné mezidruhové rozdíly. Vyšší průměrnou rychlost transpirace kontrolních rostlin vykazují rostliny slunečnice ($2,52 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) v porovnání s řepkou - $2,35 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. U stresovaných rostlin byla průměrná hodnota z obou variant rychlosti transpirace vyšší u rostlin řepky ($2,02 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a nižší u rostlin slunečnice ($1,76 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Jedná se však o nepůkazný rozdíl.

Na stres suchem citlivěji reagovaly rostliny slunečnice, u nichž byl rozdíl průměrné hodnoty v rychlosti transpirace kontrolních rostlin a stresovaných $0,76 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (4,70 %), zatímco u rostlin řepky byl rozdíl $0,33 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

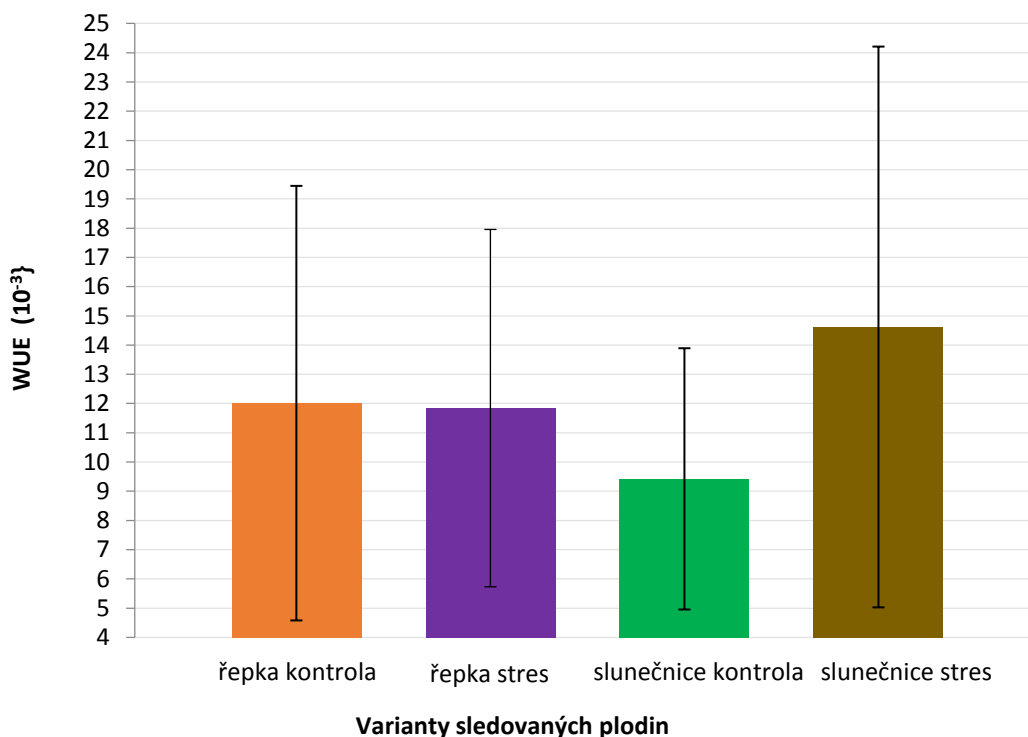


Graf 7: Porovnání průměrných hodnot rychlosti transpirace řepky olejky (*Brassica napus*) a slunečnice roční (*Helianthus annuus*) dle variant

5.3 Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody (water-use efficiency) je veličina, která udává poměr mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace a předpokládá se, že čím je uvedená hodnota vyšší, tím je rostlina odolnější k vodnímu deficitu (Blum, 2009).

Reakce rostlin řepky olejky a slunečnice roční na vodní stres jsou znázorněny v grafu 8. Z grafu je patrné, že hodnota efektivity využití vody je vyšší u stresované varianty slunečnice 14,6 (10^{-3}), v porovnání se stresovanými rostlinami řepky 11,8 (10^{-3}). Z uvedených hodnot WUE vyplývá, že jako odolnější vůči vodnímu stresu se jeví slunečnice v porovnání s řepkou. V případě řepky byla průměrná hodnota efektivity využití vody 11,8 (10^{-3}). Rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou u rostlin řepky činil 0,17 (10^{-3}) ve prospěch rostlin kontrolních. V případě rostlin slunečnice roční byl tento rozdíl 5,20 (10^{-3}). Jedná se o statisticky průkazný mezidruhový rozdíl.

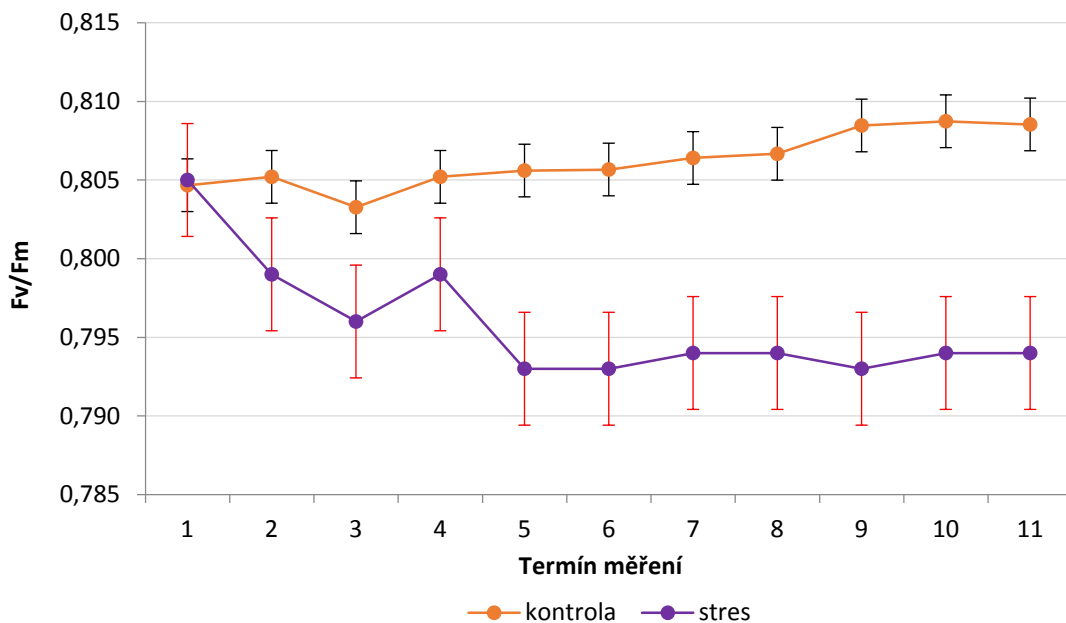


Graf 8: Porovnání efektivity využití vody (WUE) v rámci jednotlivých variant pokusu v závislosti na druhu rostliny

5.4 Fluorescence chlorofylu

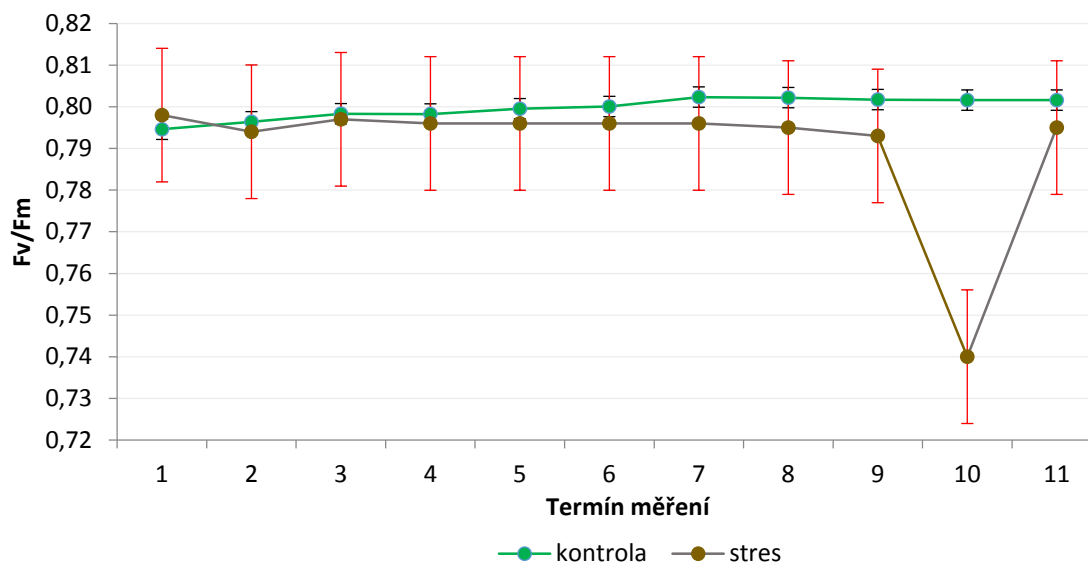
V grafu 9 je uvedena změna fluorescence chlorofylu, vyjádřená jako poměr F_v/F_m , kontrolních a stresovaných rostlin řepky olejky v závislosti na ontogenetickém vývoji. Z uvedeného grafu vyplývá, že fluorescence u kontrolních rostlin měla vyrovnaný průběh s neprůkazným snížením 3. termín měření (0,803). Od tohoto termínu se fluorescence neprůkazně zvyšovala až na hodnotu 0,809 (9. – 11. termín).

V případě rostlin stresovaných se hodnoty fluorescence nejprve snižovaly z hodnoty 0,805, na počátku pokusu, na hodnotu 0,796 (3. termín měření). Tento pokles byl vystřídán neprůkazným zvýšením (0,799). Od tohoto termínu měření až do konce pokusu byly hodnoty fluorescence spíše vyrovnané a oscilovaly kolem hodnoty 0,793. Na konci pokusu byla hodnota fluorescence ve výši 0,794.



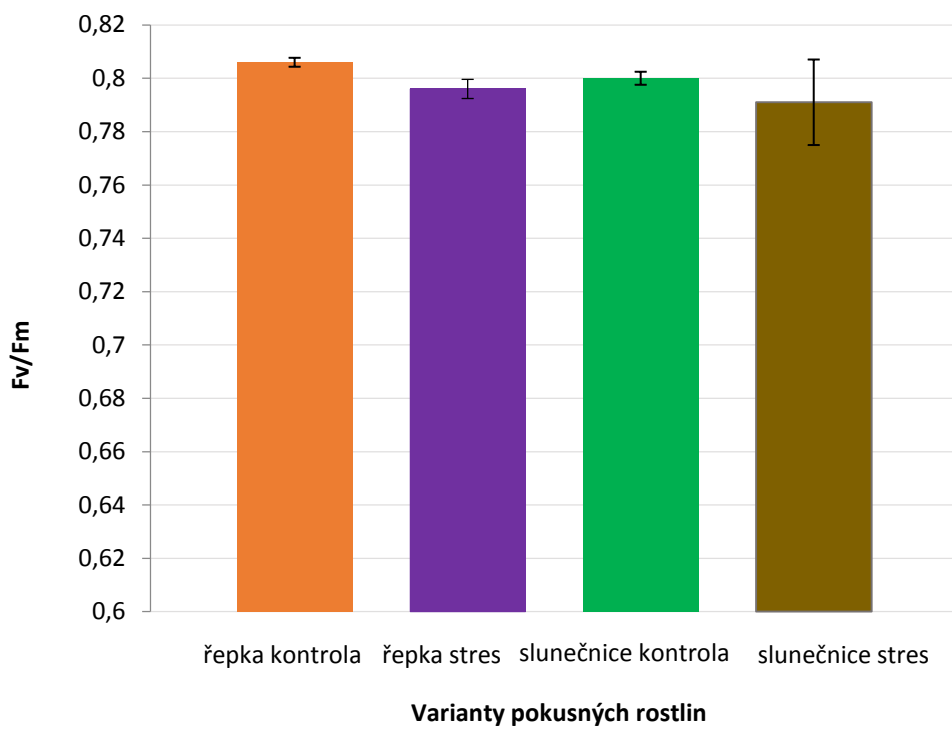
Graf 9: Fluorescence chlorofylu řepky olejky (*Brassica napus*) v závislosti na variantě a délce působení stresoru.

V grafu 10 je znázorněn průběh fluorescence chlorofylu kontrolních a stresovaných rostlin slunečnice roční. Z uvedeného grafu vyplývá, že fluorescence hodnocená na základě poměru F_v/F_m u kontrolních rostlin byla po celou dobu pokusu relativně konstantní, neboť fluorescence chlorofylu na začátku měření byla 0,790 a na konci pokusu 0,802. V rámci ontogenetického vývoje kontrolních rostlin slunečnice se fluorescence postupně téměř lineárně zvyšovala. Naopak v případě rostlin stresovaných, jak dokládá graf 10, byl prokázán vliv nedostatku vody na tuto charakteristiku. U rostlin stresovaných byla fluorescence na počátku pokusu ve výši 0,798. Druhý den po navození vodního deficitu se fluorescence průkazně snížila na 0,794. Toto snížení bylo následně nahrazeno opětovným neprůkazným vzestupem fluorescence chlorofylu (0,797). Ale již poté se fluorescence vlivem působení vodního deficitu snižovala až na hodnotu 0,793 (9. měření). Bezprostředně po rehydrataci se fluorescence stresovaných rostlin průkazně snížila na nejnižší hodnotu ze všech měření (0,740). Při obnovení závlivky 20. den pokusu se fluorescence zvýšila na hodnotu 0,795.



Graf 10: Fluorescence chlorofylu slunečnice roční (*Helianthus annuus*) v závislosti na variantě a délce působení stresoru.

Graf 11 porovnává průměrnou fluorescence chlorofylů u jednotlivých variant pokusu v závislosti na druzích sledovaných rostlin. Je patrné, že nejnižší průměrná hodnota fluorescence chlorofylů u kontrolní varianty byla naměřena u slunečnice roční (0,800). Nejvyšší průměrná hodnota fluorescence chlorofylů byla zaznamenána u kontrolní varianty řepky olejky. Naopak nejnižší průměrná hodnota fluorescence chlorofylů byla naměřena u stresované rostliny slunečnice roční (0,791). Ze souhrnného grafu je patrné, že na oba zkoumané druhy rostlin, měl vliv vodní deficit, avšak naměřené rozdíly mezi kontrolními a stresovanými rostlinami byly statisticky neprůkazné.



Graf 11: Porovnání průměrné fluorescence chlorofylů (Fv/Fm) u jednotlivých druhů rostlin a jejich variant

6 Diskuze

6.1 Rychlost fotosyntézy

Z naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy sledovaných druhů rostlin vyplývá, že v porovnání s kontrolní variantou měly stresované rostliny nižší hodnoty rychlosti fotosyntézy, což potvrzují ve své práci Oskabele et al (2014). Uvedený závěr dále uvádí i Kauser et al. (2004) v případě řepky. Podle jejich poznatků, je vodní deficit omezujícím faktorem, který negativně ovlivňuje metabolismus rostlin. Podle Hsiao & Jackson (1999) dochází vlivem působení vodního stresu k omezení příjmu CO₂, k uzavírání průduchů apod. Snížení rychlosti fotosyntézy po působení vodního deficitu (přísuška, sucha) je také dáno snížením aktivity enzymu Rubisco (Gunasekera & Berkowitz 1993).

Snížení rychlosti fotosyntézy, jako následek nedostatku vody pro rostliny potvrzuje ve své práci i Flexas a kol. (2004). Ve výzkumu Scheuermann et al. (1991) s pokusnými rostlinami slunečnice roční (*Helianthus annuus*) v kontrolovaných podmínkách, kde plodiny byly vystaveny suchu, docházelo k poklesu čisté fotosyntetické rychlosti (PN). Snížení rychlosti fotosyntézy vlivem sucha u rostlin slunečnice potvrzuje také Dekov et al. (2000).

Z výsledných hodnot rychlosti fotosyntézy vyplývá, že u obou sledovaných druhů rostlin, byla zaznamenána vyšší hodnota rychlosti fotosyntézy v poslední termín měření než na začátku pokusu. Jedná se o vliv ontogenetického vývoje.

Uvedené výsledky jsou v souladu s poznatky rostlin pelyňku ročního Aftab et al. (2010), v případě rostliny pšenice (Jones et al. 1998) a v případě rostlin chmele (Hniličková 2012). U rostlin okurky seté (*Cucumis sativus* L.) bylo snížení fotosyntetické aktivity naměřeno během krátkodobého vodního deficitu v práci Fan et al. (2017).

Změny rychlosti fotosyntézy v závislosti na působení stresoru jsou ovlivněny také genotypem rostlin. Z výsledků diplomové práce vyplývá, že na vodní deficit snížením rychlosti fotosyntézy citlivěji reagovaly rostliny řepky olejky v porovnání s rostlinami slunečnice. Ze závěrů Dekov et al. (2000) vyplývá, že právě slunečnice je v porovnání s řepkou citlivější v juvenilních fázích vývoje na vodní deficit. Uvedené rozdíly v reakci na vodní deficit, jsou dány odlišnými genotypy zkoumaných rostlin.

Po obnovení závlivky bylo zaznamenáno zvýšení rychlosti fotosyntézy u obou sledovaných druhů rostlin. Zvýšení rychlosti fotosyntézy je dáno zvýšením buněčného napětí, jak ve své práci uvádí Souza et al. (2004), ale také postupným otevíráním průduchové štěrbině a zvýšením příjmu CO₂. Uvedené tvrzení ve své práci potvrzují např. Hsiao & Jackson (1999).

Zvýšení rychlosti fotosyntézy u rostlin okurek v důsledku obnovení závlivky potvrzují Naz et al. (2016). Dále byl potvrzen mezidruhový rozdíl v reakci na rehydrataci, kdy rostliny řepky reagovaly rychleji a vyšším zvýšením fotosyntézy v porovnání s rostlinami slunečnice. Mezidruhové rozdíly v reakci na vodní stres uvádí např. Vanaja et al. (2011). Mezidruhové rozdíly v rychlosti reakce na obnovení závlivky mohou být způsobeny odlišnými nároky na růst, jiným typem genomu rostlin, odrůdou apod.

6.2 Rychlost transpirace

Z uvedených výsledků rychlosti transpirace vyplývá, že vodní stres, respektive vodní deficit má vliv na rostliny. U obou sledovaných druhů olejin byl zaznamenán kolísavý trend rychlosti vlivem ontogenetického vývoje, stejný trend uvádí i Hniličková a kol. (2005) u juvenilních rostlin chmele nebo Downes (1970) u rostlin pšenice a čiroku. Pokles transpirace potvrzuje ve své další práci také u rostlin chmele Hniličková (2012). Autorka uvádí, že vlivem dehydratace (omezení závlivky), nastal pokles všech fyziologických parametrů včetně rychlosti transpirace. Pokles rychlosti transpirace v důsledku působení vodního deficitu ve svých pracích uvádí také Osakabe et al. (2014), Xu et al. (2007) u rostlin pšenice.

Snížení rychlosti transpirace potvrzují také Hnilička a kol. (2012), kteří ve své práci naměřili nižší hodnoty po dehydrataci u okurky seté v polních podmínkách. Pokusné rostliny v stresované variantě dosáhly hodnoty $1,83 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, rostliny v kontrolní variantě měly hodnotu $2,16 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Což je srovnatelné s pokusy ve skleníku. Vliv vodního deficitu na rychlost transpirace potvrzuje u rostlin chmele Gloser (2011). Změny rychlosti transpirace vlivem vodního deficitu u okurky seté potvrzují také Fan et al. (2017), kteří v kontrolní variantě naměřili hodnotu $2,5 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Nejnižší rozdíl mezi průměrnými hodnotami kontrolních a stresovaných variant v rychlosti transpirace byl zaznamenán u řepky olejky s hodnotou $0,33 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, naopak vyšší rozdíl hodnot byl zaznamenán u slunečnice roční ($0,76 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Po navození rehydratace bylo zaznamenáno zvýšení rychlosti transpirace u všech sledovaných druhů. Tento závěr potvrzují u řepy cukrové Vomáčka a Pospíšilová (2003), kteří naměřili rychlost transpirace $3,85 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

6.3 Efektivita využití vody (WUE)

Dle konstatování Zámečnickové (2000) čím vyšší naměřená hodnota WUE, tím se dá předpokládat, že je rostlina odolnější vůči vodnímu deficitu, respektive dokáže s dostupnou vodou efektivně hospodařit.

Z výsledků je patrné, že odolnější vůči vodnímu stresu byly rostliny slunečnice ($14,6\cdot 10^{-3}$). Rostliny při navození sucha vykazovaly lepší využití vody v porovnání s kontrolní variantou.

Vyšší hodnoty efektivity využití vody u stresované varianty uvádí také Webber et al. (2006) u slunečnice topinambur (*Helianthus tuberosus*). Paungbut et al. (2017) při zkoumání stejné rostliny došli ke stejnému závěru, že vodní deficit výrazně ovlivňuje efektivitu využití vody. Naopak odlišná výsledná hodnota WUE, v této práci, byla naměřena nižší u stresovaných rostlin řepky ($11,8\cdot 10^{-3}$), než v případě kontrolních rostlin ($12\cdot 10^{-3}$). Tento jev potvrzuje Hejnák a kol. (2011), který prováděl pokus u odrůd ječmene, kdy vyšší hodnota efektivity využití vody byla zaznamenána v kontrolní variantě.

Zámečnick (2008) konstatuje z výše uvedeného textu fakt, že rostliny mají tendenci odlišným způsobem reagovat na sucho, respektive využívat vodu.

Zahang et al. (2006) uvádí, že vlivem vodního stresu se zvyšuje hodnota WUE u rostlin pšenice, tyto výsledky se dají srovnat s hodnotou, která byla naměřena u slunečnice roční. Naopak Shan et al. (2003) konstatují, že efektivita využití vody vlivem sucha klesá. Toto

tvrzení potvrzují rostliny řepky olejky. Dle Larcher (2003) na změny hodnot WUE mají vliv rychlost výměny plynů, což koresponduje s výsledky uvedenými v této práci.

6.4 Fluorescence chlorofylů

Thoidi – Moghadam et al. (2009) uvádí, že vodní stres má vliv na snížení hodnot agronomických parametrů, mezi které patří i fluorescence chlorofylu. Stejný autor ve svém pokusu zkoumal rostliny řepky olejky (*Brassica napus* L.) stejně, jako tomu bylo i v této práci. Z výsledků je patrné, že u obou zkoumaných rostlinných druhů slunečnice roční a řepky olejky se fluorescence chlorofylu vlivem vodního deficitu snížila. Oba rostlinné genotypy reagovaly na nedostatek sucha obdobně. Rozdíly mezi kontrolní a dehydratovanou variantou byly podobně nízké, ale větší pokles hodnoty byl patrný u rostlin slunečnice roční (0,009), u řepky byla hodnota (0,01). Tento jev, minimálního rozdílu mezi kontrolní a stresovanou rostlinou, uvedl ve své práci také Liu a kol. (2012) u rostlin kukuřice.

V této práci při zkoumání působení sucha na fluorescenci chlorofylů se potvrzuje fakt, že nedostatek závlahy měl vliv na fluorescenci chlorofylů u obou zkoumaných plodin. Fluorescence chlorofylů stresované varianty byla naměřena u genotypů řepky olejky 0,806 a slunečnice roční 0,800. Liu a kol. (2012) naměřil v kontrolní variantě u genotypů kukuřice hodnoty 0,994 a 0,997. V tomto pokusu byly hodnoty naměřeny o něco nižší. V případě řepky olejky měla fluorescence chlorofylů hodnotu 0,806 a slunečnice roční 0,800. Naměřené výsledky, podobných hodnot mohly být způsobené díky totožným podmínkám, ve kterých se zkoumané plodiny nacházely.

7 Závěr

- Vlivem vodního deficitu se snížila rychlost fotosyntézy, transpirace u obou sledovaných druhů rostlin.
- Vyšší průměrnou rychlost fotosyntézy dehydratovaných rostlin vykazují rostliny slunečnice roční ($18,67 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) ve srovnání s rostlinami řepky olejky ($17,18 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Rozdíl hodnot fotosyntézy mezi stresovanými a kontrolními rostlinami slunečnice roční byl $0,92 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, kdežto rozdíl u rostlin řepky byl $0,81 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Rostliny slunečnice roční měly vyšší průměrnou rychlost transpirace kontrolních rostlin ($2,52 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), než kontrolní rostliny řepky olejky ($2,35 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Vodní deficit průkazně snížil rychlost transpirace u obou zkoumaných genotypů rostlin.
- Nižší rozdíl WUE mezi kontrolními a stresovanými rostlinami byl pozorován u rostlin řepky [$0,17 (10^{-3})$]. Rozdíl WUE u slunečnice byl $5,2 (10^{-3})$.
- Nižší průměrná hodnota fluorescence chlorofylů u stresovaných rostlin byla zaznamenána u rostlin slunečnice roční ($0,791$), kdežto dehydratované rostliny řepky vykazovaly vyšší průměrnou hodnotu $0,796$. Vyšší rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou byl u řepky ($0,01$).
- Na následnou rehydrataci v rámci sledovaných fyziologických parametrů lépe reagovaly rostliny řepky než rostliny slunečnice.
- Jako tolerantnější na působící sucho se jevíly rostliny slunečnice roční.
- Z výše popsaných výsledků jsou patrné mezidruhové rozdíly v reakci na vliv vodního deficitu.
- Díky dostupným přístrojům na zkoumanou problematiku se prokázala možnost využití současného měření rychlosti výměny plynů a fluorescence pro detekci reakce rostlin na vodní stres.

8 Literatura

- Ackerson RC, Richard R, Hebert RR. 1981. Osmoregulation in cotton in response to water stress. *Plant Physiology* 67, 484-488
- Aftab T, Khan MA, Idrees M, Naeem M, Singh M, Ram M. 2010. Stimulation of crop productivity, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. by triacontanol and gibberellic acid application. *Journal of Plant Interactions*. 5 (4).273-281.
- Agrocs.cz. Substráty primaflora [online]. 2018. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z <<http://www.agrocs.cz/OLD/sk/zahradna-divizia/produkty/substraty-primaflora/>>.
- Ahmadi A, Siosemardeh A. 2005. Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. [online] *International Journal of Agriculture and Biology*. 2005. [cit. 2018-09-02]. Dostupné z <http://www.fspublishers.org/published_papers/35500_.pdf>.
- Alt-lab.com. 2018. OPTI-SCIENCES OS1-FL Chlorophyll Fluorometer. [online] [cit. 2019-03-01] Dostupné z <http://alt-lab.com/home/bbs/board.php?bo_table=pro&wr_id=864&sca=&sfl=wr_subject&stx=OS1-FL+&sop=and>
- Atwell B, Kriedeman P, Turnbull C. 1999. *Plants in action*. The Australian Society of Plant Physiologists and The New Zealand Society for Horticultural Science. 202-300.
- Backhaus S, Kreyling J, Grant K, Beierkuhnlein C, Walter J, Jentsch A. 2003. Recurrent mild drought events increase resistance toward extreme drought stress. *Ecosystem*. 17, 1068-1081
- Bartz JA, Brecht JK, 2003. *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. 2nd ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker. p. 744. ISBN: 978-020-391-009-2.
- Bečka D, Vašák J, Zukalová H, Mikšík V, 2007. *Řepka ozimá – pěstitelský rádce*. ČZU Praha, 56 s. ISBN 978-80-87111-05-5.

Bekku Y, Koizumi H, Nakadai T, Measurement of soil respiration using closed chamber method: An IRGA technique [online]. December 1995 [cit. 2018-10-07] Dostupné z <<https://link.springer.com/article/10.1007%2FBBF02347863>>.

Bjorkman O, Powles SB, Gates DM. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level (1984). *Planta*, 161, (6), 490-504.

Blažková V, Hladký A. 2008. Prevence a zvládnutí stresu. Bezpečný podnik. Výzkumný ústav bezpečnosti práce. Praha. 42 s. ISBN 978-808-697-399-9.

Blum A. Effective use of water EUW and not water use efficiency WUE in the target of crop yield improvement under drought stress. [online]. June 2009 [cit. 2018-09-07] Dostupné z: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429009000860?via%3Dihub>>

Bramley H, Turner NC, Siddique KHM. Water Use Efficiency. [online] April 2013 [cit. 2018-09-07] Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/268872656_Water_Use_Efficiency>

Cablík J. 1951. Ochrana zemědělství před klimatickým suchem. Brázda. Praha. 137 s.

Český statistický úřad. 2016. Sklizňová plocha řepky olejky (*Brassica napus* L.). [online] [cit. 2018-09-10] Dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016>>

Český statistický úřad. 2017. Vývoj výsevní plochy slunečnice roční. [online] [cit. 2018-09-10] Dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2017>>

Český statistický úřad. 2018. Osevní výměra řepky olejky (*Brassica napus* L.) v jednotlivých krajích. Veřejná databáze [online] [cit. 2018-09-10] Dostupné z <<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=statistiky#katalog=30840>>

Český statistický úřad. 2018. Osevní výměra slunečnice roční (*Helianthus annuus*) v jednotlivých krajích. Veřejná databáze. [online] [cit. 2018-09-10] Dostupné z <<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=statistiky#katalog=30840>>

Commons Wikimedia. 2019. Řepka olejka. [online] [cit. 2019-02-02] Dostupné z <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:28_Brassica_napus_L.jpg>.

- Čiamporová M & Mistrík I. 1991. Rastlinná bunka v nepriaznivých podmienkach. Veda. Bratislava. 136 s. ISBN 802-240-290-7.
- Daie J. 1988. Mechanism of drought induced alterations in assimilate partitioning and transport in crops. *CRC Crit Rev Plant Sci* 7: 235
- Dekov I, Tsonev T, Zordanov I. 2001. *Photosynthetica*, Kluwer Academic Publisher. 1st April 2000 [cit. 2018-10-06]. Dostupné z <<https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1010961218145#citeas>>.
- Dhindsa RS, Cleland RE. 1975. Water stress and protein synthesis. *Plant Physiology* 55, 782-785
- Ekotechnika.cz. 2017. Fotosyntéza. [online] [cit. 2018-07-10] Dostupné z <<http://www.ekotechnika.cz/lcpro-t-novy-pristroj-pro-mereni-prubehu-fotosyntezy>>
- Eldakak M, Ahmed M, Asif M, Milad SIM, Nawar AI, Aslam Z, Goyal A, Rohila JS. 2014. „Drought Resistance in Small Grain Cereal Crops.“ In: Pessaraki, M. (ed.). 2014. *Handbook of plant and crop physiology*. 3rd edition. Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group. 405–426. ISBN: 978-146-655-329-3.
- Elstner EF, & Oswald W. 1994.: Mechanism of oxygen activation during plant stress. *Proceedings of Royal Soc Edinburgh*, 154 s.
- Fan HF, Ding L, Xu IL. 2017. Antioxidant system and photosynthetic characteristics responses to short-term PEG-induced drought stress in cucumber seedling leaves. *Russian journal of plant physiology*. 64 (2). 162-173.
- Filippou P, Antoniou Ch, Fotopoulos V. 2011. Effect of drought and rewatering on the cellular status and antioxidant response of *Medicago truncatula* plants. *Plant Signaling & Behavior*. 6 (2). 270-277.

Flexas J, Medrano H, Drought-inhibition of photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and non stomatal limitation revisited. [online]. *Annals of Botany* 1st February 2002 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z <<https://academic.oup.com/aob/article/89/2/183/193337>>

Gang W, Zhang Ch, Li-Ye Chu, Bo Shao, H. 2007 Responses of higher plants to abiotic stresses and agricultural sustainable development [online]. *Journal of Plant Interactions*. 20th July 2007. [cit. 2018-08-02]. Dostupné z <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17429140701586357?needAccess=true>>

Griffiths H, Parry MA J. 2002. Plant Responses to Water Stress. *Annals of Botany*. 89. 801-802.

Guilioni L, Wéry J, Lecoœur J. 2003. High temperature and water deficit may reduce seed number in field pea purely by decreasing plant growth rate. *Funct. Plant Biol.*, 30, 1151-1164.

Gunasekera D, Berkowitz GA. 1993. Use of transgenic plants with Rubisco antisense DNA to evaluate the rate limitation of photosynthesis under water stress. *Plant Physiology* 103: 629-635.

Habibi G. 2013 Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley [online]. *Acta agriculturae* 23th January 2013. [cit. 2018-11-02]. Dostupné z <<http://aas.bf.uni-lj.si/marec2013/04Habibi.pdf>>

Handa S, Handa AK, Hasegawa PM, Bressan RA. 1986. Proline Accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. *Plant Physiology*. 80, 938-945

Hejnák V, Zámečnicková B, Neckářová J. 2011. The influence of high sodium and chlorine ion concentration on physiological responses of various spring barley varieties, *Turkish journal of field crops* 16 (1). 93-98

Hnilička F, Koudela M, Martinková J, Svozilová L. 2012. Influence of mulch on gas exchange by cucumber plants (*Cucumis sativus* L.). *Sborník recenzovaných příspěvků z konference Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*. Praha. ČZU v Praze. 1.2. – 2.2. 2012. 94-97.

Hniličková H. 2012. Vliv vodního deficitu na rychlost fotosyntézy a transpirace juvenilních rostlin chmele. Sborník recenzovaných příspěvků z konference Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Praha. ČZU v Praze. 1.2. – 2.2. 2012. 98-101.

Hsiao TC, Jackson R.B. 1999. Interactive effect of water stress and elevated CO₂ on Growth, photosynthesis, and water use efficiency. In: Luo, Y., Mooney, H. A. (eds.). Carbon Dioxide and Environmental Stress. Academic Press. p. 418. ISBN: 978-012-460-370-7

Chavarria G, Pessoa dos Santos H. 2012. Plant Water Relations: Absorption, Transport and Control Mechanisms. In: Giuseppe, M., Dichio, B. (eds.). Advances in Selected Plant Physiology Aspects. InTech. p. 398. ISBN: 978-953-51-0557-2

Jones HG, Flowers TJ, Jonen MB. 2008. Plants under stress: biochemistry, physiology and ecology and their application to plant improvement. Digitally printed version. Cambridge England: Cambridge University Press, p. 268. ISBN: 052-105-037-5

Kausar R, Ashraf M, 2006. Chlorophyll fluorescence: A potential indicator for rapid assessment of water stress tolerance in Canola (*Brassica napus* L.) Pakistan Journal of Botany. 2006;38(5 SPEC. ISS):1501-1509.

Kebza V. 2005. Psychosociální determinanty zdraví. Academia. 1.vyd. 264s. ISBN: 80-200-1307-5

Kbfr.agrobiologie.cz. 2019. Přístroje. [online] [cit. 2019-03-01] Dostupné z <<https://katedry.czu.cz/kbfr/pristroje>>.

Kiani SP, Grieu P, Maury P, Hewezi T, Gentzbittel L, Sarrafi A. 2007. Genetic variability for physiological traits under drought conditions and differential expression of water stress-associated genes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Theoretical and applied genetics, 114 (2), 193-207

Kochian LV, Hoekenga OA, Pineros MA. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanism of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. Cornell University. 25th

February 2004 [cit. 2018-10-6] New York. Dostupné z <<https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>>.

Kosová K, Vítámvás P, Prášil IT, Renaut J. 2011: Plant proteome changes under abiotic stress – Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of Proteomics*, 74 (8): 1301 – 1322.

Kováčik A. 1993: *Základy pěstování slunečnice*. 1. vydání Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva Zemědělství ČR, 53 s. ISBN 80-710-5043-1.

Kurasová I, Čajánek M, Kalina J, Urban O, Špunda V. Characterization of acclimation of *Hordeum vulgare* to high irradiation based on different responses of photosynthetic activity and pigment composition. [online] Kluwer Academic Publisher 9th February 2015 [cit. 2018-09-02]. Dostupné z <https://www.researchgate.net/profile/Otmar_Urban2/publication/225569855_Characterization_of_acclimation_of_Hordeum_vulgare_to_high_irradiation_based_on_different_responses_of_photosynthetic_activity_and_pigment_composition/links/54d85d170cf25013d03dace5/Characterization-of-acclimation-of-Hordeum-vulgare-to-high-irradiation-based-on-different-responses-of-photosynthetic-activity-and-pigment-composition.pdf>

Kůdela V. (eds.). 2013. *Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění*. Academia. Praha. 566 s. ISBN: 978-802-002-262-2.

Kvetenacr.cz. 2018 Brukev řepka olejka. [online] [cit. 2017-01-03] Dostupné z <<http://www.kvetenacr.cz/detail.asp?IDdetail=172>>.

Larcher W. 2003. *Fyziologická ekologie rostlin*. Praha: Academia. 361s.

Lawlor DW. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. [online] *Annals of Botany*. June 2002 [cit. 2018-10-06]. Dostupné z <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4233810>>.

Lazár D. 2006. The polyphasic chlorophyll a fluorescence rise measured under high intensity of exciting light. *Functional Plant Biology* 33(1) 9–30.

Levitt J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. 2d ed. New York: Academic Press. ISBN 978-012-4455-023.

Lichtenthaler HK. 1998. The Stress Concept in Plants: An Introduction. Annals of the New York Academy of Sciences. 851s. 187-198.

Liu M, Zhang ZP, Song ZW, Kou TJ, Zhang WJ, Yu JL. 2012. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence to drought stress in two maize cultivars. African Journal of Agricultural Research. 7 (34). 4751-4760.

Lněničková J. 2009. Olejová svítidla – I. část. Odborné časopisy. [online] [cit. 2018-09-10] Dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38904.pdf>>.

Long SP & Bernacchi CJ. 2003. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. Journal of Experimental Botany. 54:392. 2393-2401.

Lyons J. 1979. Low temperature stress in crop plants: The role of the membranes. Academic Press. New York. 446s. ISBN – 0-12-460560-5

Mahajan S & Tuteja N. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics [online] International Centre for Genetic Ingereneeing and Biotechnology online 9th December 2005 [cit. 2018-08-19]. Dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000398610500439X?via%3Dihub44>>.

Marschner H, Wright RJ, Baligar VC. 1991. Plant soil Interaction at low pH. Developments in Plant and Soil Sciences. Beckley. West Wirginia. p 237. ISBN 978-94 010-5520-8.

Martinčík, Polívka. 2011. Listy cukrovarnické a řepařské. [online]. Dostupné z <http://www.cukr-listy.cz/on_line/2011/PDF/321-324.pdf>.

Maxwell K, Johnson GN. Chlorophyll fluorescence – a practical guide [online]. Journal of experimental botany. 1st April 2000 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z <<https://academic.oup.com/jxb/article/51/345/659/652534>>.

Meyer S. 1993. Effet de la sécheresse sur la bioenergetique des thylakoides en relation avec les parametres biochimiques et structuraux des membranes. These de doctorat de l'Université de paris 6, 175 pp.

Moziru. 2019. Slunečnice roční *Helianthus annuus* L. [online] [cit. 2019-02-02] Dostupné z <<http://moziru.com/explore/Seed%20clipart%20helianthus%20annuus/>>.

Müller J, Behrens T, Diepenbrock W. 2005. Measurement and modelling of canopy gas exchange of oilseed rape. Agricultural and forest meteorology, 132 (3), 181-200

Müller J, Diepenbrock W. 2006. Measurement and modelling of gas exchange of leaves and pods of oilseed rape. Agricultural and forest meteorology, 139 (3), 307-322

Naz H, Akram NA, Ashraf M. 2016. Impact of Ascorbic Acid on Growth and Some Physiological Attributes of Cucumber (*Cucumis sativus*) Plants Under Water-Deficit Conditions. Pakistan journal of botany. 48(3). 877-883.

Ögren E, Öquist G, Effects of drought on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition susceptibility in intact willow leaves (1985). Planta, 166, (3), 380-388.

Optisci.com. 2015. OS1 [online] [cit. 2018-07-22] Dostupné z <<https://www.optisci.com/os1p.html>>.

Orcutt DM, Nilsen ET. 1996. The physiology of plants under stress: abiotic factors. New York: John Wiley, p. 689. ISBN: 0-471-03152-6.

Orfánus T. 2005. Spatial Assessment of soil drought indicators at regional scale: hydrolimits and soil water storage capacity in Záhorská Nížina Lowland. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 53 (3). 164-176

Osakabe Y, Osakabe K, Shinozaki K, Tran LS. 2014. Response of plants to water stress. Frontiers in Plant Science. 5. 1-8.

Paungbut D, Jogloy S, Vorasoot N. 2017. Association of photosynthetic traits with water use efficiency and SPAD chlorophyll meter reading of Jerusalem artichoke under drought conditions *Agricultural Water Management* 188 (2017) 29-35

Percival C. The use of chlorophyll fluorescence to identify chemical and environmental stress in leaf tissue of free oak species [online] *Journal of Arboriculture*. September 2005 [cit. 2007-10-02]. Dostupné z <<http://fac.ksu.edu.sa/sites/default/files/CHEMICAL%20AND%20ENVIRONMENTAL.PDF>>.

Penka M. 1985. *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. Academia. Praha. 256 s.

Rosegrant MR, Cline SA. Global Food Security: Challenges and policies [online] *Science*. 12th December 2003 [cit. 2018-09-09]. Dostupné z <http://science.sciencemag.org/content/302/5652/1917?ijkey=82a46a84b9c36c38f8dd18d45dc27cc36143dcd1&keytype2=tf_ipsecsha>.

Řepková, J., Odolnost rostlin k abiotickým stresovým faktorům. [online]. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity. 2013 [cit. 2018-11-13] Dostupné z <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00299-009-0703-5>>.

Sabala S. 2017. *Plant stress physiology*. CABI. Boston. 353s. ISBN-13: 978 1 78064 729 6

Saeed R, Sadaqat HA. 2007. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Journal of Plant Interactions*. 14th Jun 2007. [cit. 2018-08-02]. Dostupné z <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17429140701422512>>.

Salunkhe DK, et al. 1992. *World Oilseeds: Chemistry, technology and utilization*. New York. 554 s. ISBN 04-420-011-26

Sálusová D. 2018. České zemědělství očima statistiky - Životní prostředí, zemědělství Praha,. Odbor statistiky zemědělství, lesnictví a životního prostředí Ředitel odboru: Český statistický úřad, Praha. Kód publikace: 270219-18 Č. j.: CSU-01076/2018-54

Selye H. 1966. Život a stres. Obzor. Bratislava. 390 s.

Shan L, Pei S, Likun G, Wangou L. 2000. The response of different crops to drying wetting cycle in field. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica. 20 (2). 164-170.

Shantz HL. Transpiration of plants. [online]. University of Chicago. 2nd December 2008 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdfplus/10.1086/332979>

Scheuermann R, Biehler K, Stuhlfauth T, Fock HP. 1991. Simultaneous gas exchange and fluorescence measurements indicate differences in the response of sunflower, bean and maize to water stress. Photosynthesis Research, 27 (3), 189-197

Slavík B, Štěpánková J. 2005. Květena České republiky: Praha: Academia, 768 s. ISBN 80-200-1161-7

Si Y, Zhang C, Meng S. Gene expression changes in responses to drought stress in *Citrullus colocynthis*. [online]. Plant cell report. [online] 5th May 2009 [cit. 2018-11-13] Dostupné z <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00299-009-0703-5>>.

Steduto P, Albrizio R, Giorio P, Sorrentino G. 2000. Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. Environmental and experimental botany, 44 (3), 243-255

Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. 2018. Odrůdy. [online] [cit. 2018-07-10] Dostupné z <<http://www.spzo.cz/wp-content/uploads/2018/04/olejniny2018.pdf>>.

Tohidi-Moghadam HR, Shirani-Rad AH, Nour-Mohammadi G, Habibi D, Modarres-Sanavy SAM, Mashhadi-Akbar-Boojar M, Dolatabadian A. 2009. Response of six oilseed rape genotypes to water stress and hydrogel application. Pesquisa Agropecuária Tropical, 39 (3), 243

Valíček P, et al.: Užitkové rostliny tropů a subtropů. 2. vyd. Praha: Academia, 2002, s. 127. ISBN 80-200-0939-6

Vanaja M, Yadav SK, Archana G, et al. 2011. Response of C4 (maize) and C3 (sunflower) crop plants to drought stress and enhanced carbon dioxide concentration. *Plant Soil Environ.* 57. 5. 207-215.

Vašák J. a kol. 2000. Řepka. Agrospoj, Praha, 321 s.

Verslues PE, AgarwalM, Agarwal SK, Zhu J. Methods and concept in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. [online]. 26th January 2006 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x>>.

Votrubová O, Pazourek J, 1997 Atlas of Plant Anatomy. Peres publ.Prague

VP Agro, 2014: Bonanza, [online]. Praha, 2014-2016 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <<http://www.vpagro.cz/images/plants/2/1-Bonanza1421656375.pdf>>.

Wang W, Vinocur B, Atman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, [online] Springer-Verlag, 14th January 2003, [cit. 2018 -5-5]. Dostupné z <<https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105->>.

Webber H, Madramootoo C, Bourgault M, Horst M, Stulina G, Smith, D. 2006. In Janket A, Jogloy S, Vorasoot N, Kesmala T, Holbrok C. 2013. Genetic diversity of water use efficiency in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) germplasm, *Australian journal of crop science*, 7.(11) 1670–1681.

Wies E, Berry JA. 1988. Plants and high Temperature Stress [online]. The Company of Biologist Ltd. 6th October [cit. 2018-10-06] Cambridge. Dostupné z <[https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1889416](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1889416)>.

Yordanov I, Velikova V, Tsonev T. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance [online]. *Photosynthetica* 4th April 2012 [cit. 2018-08-02] Dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/225942679_Plant_Responses_to_Drought_Acclimation_and_Stress_Tolerance>.

Zhang XY, Sun HY, Liu ChM, Shen YJ, Zhang YQ. 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. 85 (1-2) 211-218.

Zámečnicková B. 2000. Vliv vodního potenciálu, dusíkaté výživy a abiotických stresů na fotosyntézu a transpiraci u rostlin ječmene a pšenice. ČZU. Praha.

Zámečník J. 2008. Hospodaří rostliny s vodou efektivně? [cit. 2017-01-03] Dostupné z <<http://www.vurv.cz/files/Publications/ISBN978-80-87011-18-8.pdf>>.