Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin

Fyziologická reakce zástupců čeledi *Cucurbitaceae* na krátkodobý vodní deficit a následnou rehydrataci

Bakalářská práce

Autor práce: Karolína Janečková

Obor studia: Zahradnictví

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

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Fyziologická reakce zástupců čeledi *Cucurbitaceae* na krátkodobý vodní deficit a následnou rehydrataci" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19.4. 2018 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Františkovi Hniličkovi. Ph.D. za odborné vedení, ochotu, pomoc a za případné připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

Fyziologická reakce zástupců čeledi *Cucurbitaceae* na krátkodobý vodní deficit a následnou rehydrataci

Souhrn

Okurka setá (*Cucumis sativus*), tykev obecná (*Cucurbita pepo*), lubenice obecná (*Citrullus lanatus*) patří mezi jedny z nejvíce pěstovaných druhů plodových zelenin u nás i ve světě. Jelikož jsou to rostliny pěstované na různých stanovištích, s rozdílnými klimatickými podmínkami, je potřeba znát jejich fyziologické nároky. Cílem práce bylo sledování vlivu krátkodobého vodního deficitu a následné rehydratace na rychlost výměny plynů, efektivita využití vody (WUE).

Okurka setá ´Ramzes´, tykev obecná, lubenice obecná ´Lajko II F1´ byly pěstovány v prostorách skleníku KBFR FAPPZ s částečně řízenými teplotními podmínkami. Teplotní režim byl 25 °C ve dne a 19 °C v noci při přirozeném světelném osvětlení 14 hodin světla, 10 hodin tmy. Rostliny byly pěstovány v nádobách o velikosti 11x11 cm, ve směsí křemičitého písku a zahradnického substrátu s vysokým podílem organických látek, v poměru 1:2. Pokus zahrnoval dvě varianty, a to variantu kontrolní a stresovanou. Kontrolní varianta byla zavlažována na úroveň VVK 70 %. Stresovaná varianta byla vystavena vodnímu deficitu po dobu 15- ti dnů a ponechána přirozenému vysychání. Rehydratace rostlin, byla nastolena 15. den pokusu až do doby ukončení pokusu. V juvenilních fázích vývoje sledovaných druhů zelenin byla měřena rychlost fotosyntézy, transpirace, stomatální vodivost pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro+. Z naměřených hodnoty rychlosti fotosyntézy a rychlosti transpirace byla poté vypočtena efektivita využití vody (WUE), po dobu pokusu byl také sledován relativní obsah vody (RWC).

Ze získaných výsledků vyplývá, že vodní deficit způsobil snížení rychlosti výměny plynů u všech sledovaných druhů, následnou rehydratací se rychlost fotosyntézy zvýšila, avšak rostliny nedosáhly stejných hodnot jako kontrolní varianta. Nejcitlivěji na vodní deficit reagovala okurka setá, kdy rozdíl v rychlosti fotosyntézy mezi variantami byl 0,55 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Oproti tomu tykev obecná se vůči vodnímu stresu jeví tolerantnější, neboť u ní byl rozdíl mezi variantami 0,17 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Okurka setá se v případě rychlosti transpirace jevila jako tolerantní (rozdíl 0,07 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a tykev obecná jako citlivější (rozdíl 0,5 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). Stresované rostliny měly vyšší stomatální vodivost než kontrolní rostliny. Stresovaná varianta (7,81 (10^{-3})) tykve obecné, měla vyšší hodnotu WUE než varianta kontrolní (6,01 (10^{-3})). U

kontrolních rostlin okurky seté a lubenice obecné byla efektivita využití vody vyšší (7 (10^{-3}); 7,11 (10^{-3}) v daném pořadí) a u stresovaných rostlin nižší (6,97 (10^{-3}); 6,71 (10^{-3}) v daném pořadí). Po obnovení zálivky se u všech druhů zvýšil relativní obsah vody. Nejlépe na rehydrataci reagovaly rostliny okurky seté s nárůstem RWC o 10 % při dalším měření, nejpomaleji na rehydrataci reagovaly rostliny tykve obecné, nárůst 10 % po obnovení zálivky nastal až mezi 6. až 9. dnem. Byly prokázány mezidruhové rozdíly ve fyziologické reakci na vodní stres. Ze sledovaných druhů rostlin se jako tolerantní vůči vodnímu stresu a následné rehydrataci jeví okurka setá, a naopak jako citlivá tykev obecná.

Klíčová slova: tykvovité, fotosyntéza, transpirace, WUE, VSD, vodní stres, recovery.

Physiological responses of species in the family *Cucurbitaceae* on a short-term water deficit and recovery

Summary

Cucumis sativus, Cucurbita pepo, Citrullus lanatus are among the most cultivated species of fruit vegetables in Czech Republic and around the world. Since these plants are growing on different places with different climat conditions, you need to know their fyziologic needs. The goal of this work was to monitoring the impact of the short-term water deficit and subsequent rehydration on the gas exchange rate, the water use efficiency (WUE).

Cucumis sativus ´Ramzes´, *Cucurbita pepo, Citrullus lanatus* ´Lajko II F1´ has been grown in greenhouses KBFR FAPPZ with partially controlled temperature conditions. Temperature regime was 25 °C daytime and 19 °C in the night during natural lighting 14 hours of light,10 hours of dark. Plants were grown in containers of size 11x11 cm, in a mixture of siliceous sand and a horticultural substrate with a high proportion of organic matter in proportion 1:2. The experiment included two variants, control and stressed. The control variant has been irrigated to level of VVK 70 %. Stressed variant has been exposed to a water deficiency for 15 days and left to natural dry. Plant's rehydration has been set 15th day of the experiment until the end of experiment. In the juvenile stages of the development of the monitored vegetable species was measured the rate of photosynthesis, transpiration and stomal conductivity with the infrared analyzer of gas LCpro+. From the measured values of photosynthesis speed and transpiration rate was calculated water use efficiency (WUE). The relative water content (RWC) was also monitored during the experiment.

The results show that water deficiency caused a reduction of the rate of gas exchange in all monitored species. By following rehydration, the rate of photosynthesis was increasing but plants had not reach the same values as the control variant. The most sensitive reaction on the water deficiency had *Cucumis sativus,* where the difference in rate of photosynthesis between two variants was 0,55 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. On the other hand, the *Citrullus lanatus* was much more tolerated to water deficiency for difference between variants,which was 0,17 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. In case of transpiration rate, *Cucumis sativus* seemed to be more tolerated (0,07 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) then *Cucurbita pepo* (difference 0,5 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). Stressed plants had higher stomal conductivity then control plants. The *Cucurbita pepo* stress variant (7,81 (10^{-3})) had higher value WUE then control variant (6,01 (10^{-3})). For control plants *Cucumis sativus* and *Citrullus lanatus*

had higher water efficiency (7 (10^{-3}) and 7,11(10^{-3}) in the order given) and for stressed plants lower (6,97 (10^{-3}); 6,71 (10^{-3}) in the order given). Water content has been increasing after renewing the pouring. The best respond on rehydration had *Cucumis sativus* with a RWC increase of 10 % on further measurements. On the other hand,the slowest had *Cucurbita pepo* with a RWC increase of 10% came up between 6th and 9th day. This experiment demonstrated interspecies difference in the physiological response to water stress. From the monitored species of plants were the most tolerated with water stress and subsequent rehydration *Cucumis sativus* and the most sensitive were *Cucurbita pepo*.

Key words: *Cucurbitaceae*, photosynthesis, transpiration, WUE, VSD, water stress, recovery

Obsah

1. Úvod 1

2. Cíl práce 2

3. Literární rešerše 3

3.1. Botanická charakteristika čeledi *Cucurbitaceae* 3

3.1.1. Botanická charakteristika okurky seté (*Cucumis sativus*) 4

3.1.2. Botanická charakteristika lubenice obecná (*Citrullus lanatus*) 6

3.1.3. Botanická charakteristika tykev obecná (*Cucurbita pepo*) 7

3.2. Historie a současnost pěstování *Cucurbitaceae* 9

3.2.1. Okurka setá 9

3.2.2. Lubenice obecná 10

3.2.3. Tykev obecná 10

3.3. Obecná charakteristika stresu 11

3.4. Vodní deficit 15

3.5. Vliv vodního deficitu na rostliny 17

4. Metodika 20

4.1. Charakteristika pokusného materiálu 20

4.1.1. Tykev obecná 20

4.1.2. Okurka setá ´Ramzes F1´ 20

4.1.3. Lubenice obecná ´Lajko II F1´ 21

4.2. Založení pokusu 22

4.3. Měřené fyziologické charakteristiky 23

4.3.1. Stanovení výměny rychlosti plynů a stomatální vodivosti 23

4.3.2. Efektivita využití vody rostlinami (WUE) 25

4.3.3. Relativní obsah vody (RWC) 25

4.3.4. Vodní sytostní deficit (VSD) 25

5. Výsledky 26

5.1. Rychlost transpirace 26

5.2. Rychlost fotosyntézy 30

5.3. Stomatální vodivost 34

5.4. Efektivita využití vody (WUE) 35

5.5. Relativní obsah vody (RWC) 36

6. Diskuze 38

6.1. Rychlost transpirace 38

6.2. Rychlost fotosyntézy 39

6.3. Stomatální vodivost 40

6.4. Efektivita využití vody (WUE) 40
6.5. Relativní obsah vody (RWC) 41
7. Závěr 43
8. Seznam použité literatury 45
8.1. Seznam internetových zdrojů 51

1. Úvod

Pro 97 % obyvatel naší planety, rostliny představují nejen způsob obživy a krásy, ale také materiál pro výrobu oděvů, léčiva, uměleckých předmětů, potravu pro zvířata nebo výrobu hnojiv. Abiotické stresy (sucho, záplavy, teploty, zasolení, toxické látky v půdě a jiné) ovlivňují nejen růst a vývoj rostlin, ale také celkovou produkci rostlin. Významným abiotickým stresorem je právě vodní stres, postihující nejen Českou republiku, ale i celkovou světovou produkci. Vodní deficit (nedostatek nebo nadbytek vody) je způsoben převážně změnami klimatických podmínek.

Nárůst plochy postižené suchem v EU je za posledních 30 let o 12 %. Vlivem nedostatku vodních srážek, pochází 40 % produkovaných potravin ze zavlažovaných ploch. V Evropě se více vody spotřebuje na zemědělskou výrobu, než je schopno se obnovit z přírodních vodních zdrojů. Dalším faktorem je teplota, která každoročně stoupá, a tím rostliny vyžadují více vody. Ve 20. století se teplota zvýšila o 0,74 °C, předpoklad je, že teplota se v 21. století zvýší až o 2,5-5,4 °C.

Vodní deficit vyvolává v rostlinách stresový stav, který ovlivní jejich životaschopnost. Tento druh stresu způsobuje rostlinám anatomicko-morfologické změny, viditelné na všech rostlinných orgánech. Rostliny se však snaží s tímto stresorem vypořádat neboli adaptovat se na něj. Adaptace je však závislá na druhu rostliny na jejích anatomických, morfologických, metabolických, fytohormonálních charakteristikách. Příjem vody rostlinou je také závislý na vlastnostech půdy (obsahem živin, solí v půdě a půdní reakci) a vlastnostech rostlin. Proto je důležité znát nároky rostlin na prostředí. Důležité je také hledání nových možností, jak zabránit vodnímu deficitu.

Vodní deficit ovlivňuje například rychlost fotosyntézy a transpirace. Proto je cílem práce měření výměny rychlosti plynů a stomatální vodivosti, sledování relativního obsahu vody v rostlině u vybraných druhů rostlin čeledi *Cucurbitaceae*: tykev obecná, okurka setá ´Ramzes F1´ a lubenice obecná ´Lajko II F1´.

2. Cíl práce

Jedním z nejvýznamnějších abiotických stresorů je vodní deficit. Sucho způsobené změnami klimatu, ovlivňuje pěstování všech rostlin nejen v ČR, ale i po celém světě. Vodní deficit se odráží nejen v kvalitě, ale také ve výši produkce. Obecně můžeme říci, že na vodní stres citlivě reaguje zelenina. Včetně plodové zeleniny, a proto byly jako pokusné rostliny vybrány zástupci čeledi tykvovité.

Stanoveny byli následující cíle:

- Sledování vlivu krátkodobého vodního deficitu a následné rehydratace na rychlost výměny plynů u vybraných zástupců čeledi tykvovité.
- Sledování efektivity využití vody u vybraných zástupců čeledi tykvovité.
- Sledování a vyhodnocení mezidruhových rozdílů u vybraných zástupců v souvislosti s vodním stresem.

Z těchto cílů vyplývají následné hypotézy:

- Ovlivňuje vodní deficit rychlost fotosyntézy a transpirace?
- Existují rozdíly mezi sledovanými zástupci čeledi tykvovité ve fyziologické reakci na vodní stres a následnou rehydrataci?
- Lze uvedené metody využít jako ukazatel odolnosti/citlivosti rostlin k vodnímu stresu?

3. Literární rešerše

3.1. Botanická charakteristika čeledi *Cucurbitaceae*

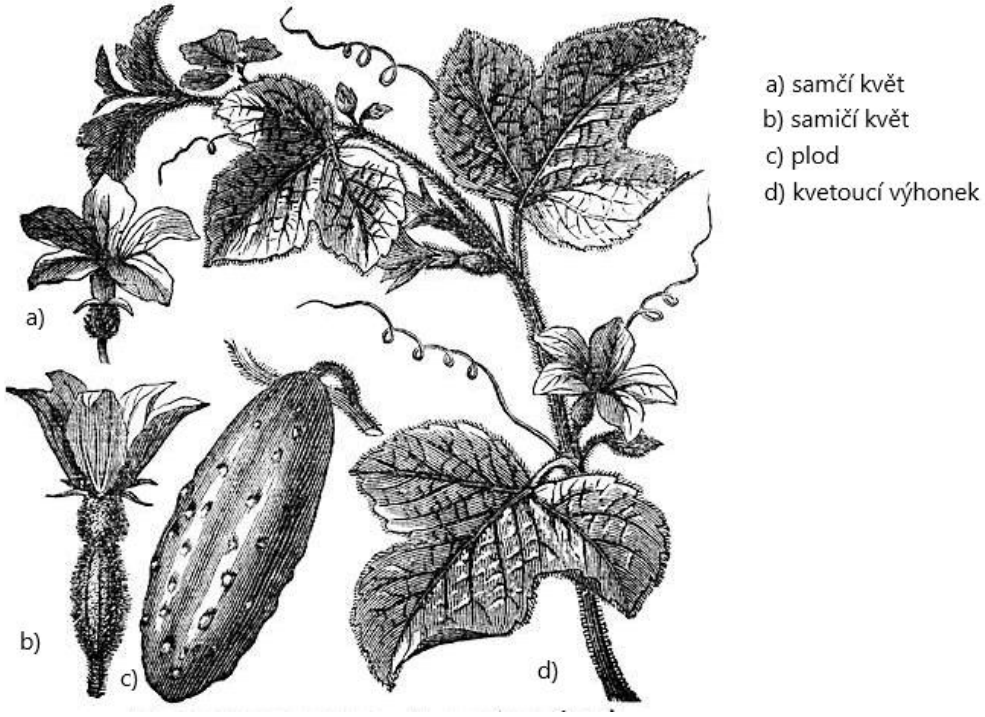
Lebeda (1993) ve své práci uvádí, že čeleď tykvovité je velmi různorodá a velice rozsáhlá skupina rostlin, ve které se nachází 825 druhů a 118 rodů. Rozsáhleji je však pěstováno pouze 16 druhů. V mírném pásu má největší zastoupení rod *Cucumis* a *Cucurbita*. Rod *Cucumis* má velmi rozsáhlou genetickou variabilitu a podle současných poznatků zahrnuje 30 druhů. Hlava a kol. (1998) konstatují, že rod *Cucurbita* zahrnuje kolem 25 druhů a je znám svou morfologickou a pěstitelskou variabilitu. Za genové centrum *Cucumis sativus* je považována Indie, zatímco většina ostatních druhů pochází z afrického genového centra (Křístková a Lebeda, 1995).

Hejný a Slavík (1997) uvádějí, že se jedná o jednoleté až vytrvalé, jednodomé nebo dvoudomé byliny s tenkými větvenými kořeny nebo hlízovitě až řepovitě ztlustlými. Lodyhy popínavé nebo plazivé, často opatřené trichomy. Cévní svazek je bikolaterální. Úponky sloužící k opoře a uchycení rostliny jsou z části listového, z části lodyžního původu, 2-3 x větvené nebo jednoduché, u většiny zástupců vyrůstají po stranách paždí listů. U některých zástupců úponky naopak chybí. Listy střídavé, bez palistů, celistvé nebo dělené se zpeřenou nebo dlanitou žilnatinou.

Květenství vrcholičnaté, květy jednotlivě nebo hroznovitě uspořádané. Květy jednopohlavné, pravidelné. Barva květů je žlutá, bílá, žlutobílá nebo zelenobílá. Kalich a koruna se skládají z 5-6 lístků, srostlé do různé hloubky ve zvonkovitou nebo kalíškovitou šešuli. Samčí a samičí květ je výrazně rozdílný svým tvarem a velikostí. Samičí květ má typický spodní semeník (viz obr. 1). Samčí květ obsahuje 5 tyčinek srostlé po dvou neb jednotlivě (Hlava a kol., 1998).

Plodem je dužnatá, masitá, houbovitá nebo vysýchavá bobule různých tvarů, barev a velikostí. Nezralé plody jsou hořké, nejedlé. Semena plochá bez endospermu. Pylová zrna jsou svou velikostí u některých druhů viditelná pouhým okem (Hejný a Slavík, 1997).

Pro svůj klimatický původ jsou tyto rostliny náročné na živiny, závlahu, teplotu. V našich podmínkách se pěstují na slunných stanovištích, fóliovnících nebo ve sklenících (Hlava a Burešová, 1980).



Obr. 1: Okurka setá (*Cucumis sativus*) (pinterest.co.uk, 2017)

3.1.1. Botanická charakteristika okurky seté (*Cucumis sativus*)

Okurka setá je poléhavá velmi větvená rostlina, tvořící jednoduché úponky. Pochází z Indie, později se rozšířila do všech oblastí mírného podnebného pásma (Pekárková, 2001).

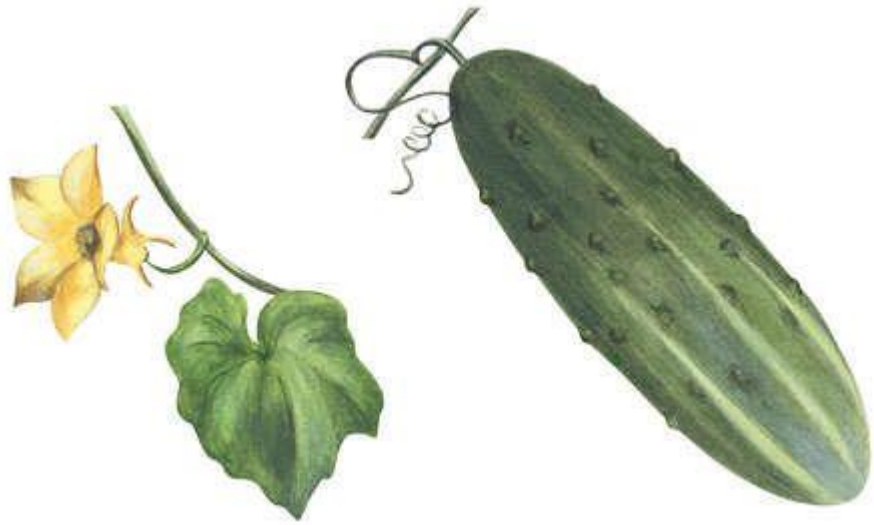
Dle Hejného a Slavíka (1997) jsou rostliny drsně štětinatě chlupaté a dosahují délky 60-200 cm. Kořenový systém je mělce kořenící, a proto je choulostivý na prochladnutí, snadno podléhá přeschnutí a chorobám. Petříková a Malý (1998) uvádí, že rozložení kořenového systému je spíše do šířky, do hloubky dosahuje délky 0,25 m. V porovnání s nadzemní částí je hmotnost kořenů velmi malá 2-5 %.

Hejný a Slavík (1997) dále uvádí, že listy jsou pěti až sedmi úhelníkového tvaru. Na okraji jsou listy zubaté až celokrajné. Květy v průměru 2-4 cm velké, sytě žluté, samčí květy jsou jednotlivé nebo po dvou, zatímco samičí květy mají chudokvěté svazečky až jednotlivé květy.

Tito autoři dále uvádí, že plodem je bobule přímá nebo zahnutá, válcovitého, kyjovitého, elipsoidního tvaru, oblá nebo 3-6 hraná o velikosti 5-40 cm a šířky 2-10 cm. Plody mohou být plstnaté až pichlavé, barvy tmavozelené, světle zeleně žíhané (viz obr. 2) Semena jsou vřetenovitě zploštělé, bělavě šedé až nažloutlé barvy, hladká nebo vrásčitá, 7-10 mm dlouhé a 3-5 mm široké.

Sklizeň se provádí pravidelně před plnou zralostí ruční sklizní, pro větší úrodnost. Plody totiž zastavují vývoj a růst nových květů. Plody jsou bohaté na minerální látky a obsahují 90-96 % vody (Biggs, 1997). Petříková a Malý (1998) uvádí, obsah sušiny 3,5-4,5 %, 0,7 % bílkovin, 0,1 % tuků, 0,75-1,2 % cukrů, ve stopách obsahují beta karoten a 5-8 mg % kyseliny askorbové. Plody nemají vysokou výživovou hodnotu a jsou těžko stravitelné.

Pekárková (2001) řadí mezi nečastější choroby okurky seté padlí okurkové, plíseň okurkovou, černou hnilobu plodů, virovou mozaiku okurky, antraknózu.



Obr. 2: Okurka setá (*Cucumis sativus*) (pinterest.co.uk, 2017)

Okurky se zařazují do I. trati, kdy vhodnými předplodinami jsou hrách, košťáloviny, vojtěška, obilniny (Bartoš a kol., 2000). Okurka je rostlina náročná na teplotu, v optimálních teplotách dobře plodí a roste. V teplotách nižších než 10 °C zastavuje svůj růst. Nedostatek vláhy, živin a teploty rostlinu trvale poškozuje. Okurkám se v našich podmínkách daří na nekrytých záhonech. V krytém prostoru však zvyšují svůj výnos například ve skleníku, pařeništi, fóliovníku. Přímý výsev na stanoviště se provádí do teplé půdy. Vhodná je také předpěstovaná sadba, poté výsadba na záhon dobře zásobený živinami a humusem. Vhodná teplota pro klíčení semen je 25-30 °C, trvanlivost semen 6-8 let, HTS 30 g (Pekárková, 2001).

Dle Steina (1995) je výsev do volné půdy vhodný od poloviny května do začátku června, 2-3 semena na stejné místo do vzdálenosti 30x150 cm. Teploty pod 10 °C omezují vcházení. Předpěstovaná sadba se provádí začátkem dubna pod sklo. Bartoš a kol. (2000) uvádí vhodnost spodní závlahy k omezení napadení plísňovými chorobami, potřebnou hloubku provlhčení u okurek 15-35 cm a VVK (využitelná vodní kapacita) 70 %.

Pro okurky je vhodná propustná, písčitohlinitá až hlinitá půda s dostatkem humusu, který udržuje půdní vlhkost a dostatek vzduchu pro rostlinu. Okurkám vyhovuje pH v rozmezí 6,6-7,2 (Robinson, 1997). Dle Steina (1995) je hnojení vhodné převážně organickými hnojivy, minerální hnojiva by mohla rostliny popálit. Vhodný k hnojení okurky seté je kompost nebo uležený hnůj. Petříková a Malý (1998) udávají vhodnou dávku hnojení 40 $t.ha^{-1}$ chlévského hnoje.

3.1.2. Botanická charakteristika lubenice obecná (*Citrullus lanatus)*

Hejný a Slavík (1997) uvádějí, že se jedná o jednoletou, jednodomou bylinu s popínavými nebo poléhavými výhony delšími než 2 m a s rozvětvenými úponky. Mladé části rostliny jsou plstnaté, postupem času chloupky opadávají a rostlina je lysá. Květy jsou jednopohlavné, pětičetné, po 1-2 vyrůstají v úžlabí listů, ve velikosti 25-30 mm, světle žluté barvy s chlupatými kalichy. V samčích květech se nachází 4 tyčinky srostlé po 2 a 1 tyčinka je samostatně.

Dle těchto autorů je plodem hladká, tvrdá a však ne dřevitá bobule, elipsoidního nebo kulovitého tvaru, barvy tmavě zelené, světle zelené nebo žíhané (viz obr. 3). Semena zploštělé vejcovitého tvaru, dlouhé 5-7 mm a široké 4-5 mm, barva semen černá, hnědá nebo mramorovaná.

Obsah sušiny 3,5 %, 0,06 % tuků, 5,7-8,7 % cukrů, 0,86 % dusíkatých látek. Lubenice obsahuje také 5-10 mg vitamínu C na 100 g čerstvé hmoty (Petříková a Malý, 1998).

Obr. 3: Lubenice obecná (*Citrullus lanatus*) (pinterest.co.uk, 2017)

Pekárková (2001) konstatuje, že lubenice obecná (meloun vodní) je bylina, která má vysoké nároky na teplotu. Klíčí při teplotách 30 °C, klíčivost semen 6-8 let, HTS 30 g. V našich podmínkách se pěstuje výhradně ve skleníku nebo fóliovníku. Při teplotách pod 15 °C zastavuje svůj růst, nižší teploty mohou rostliny i zahubit.

Petříková a Malý (1998) uvádí vhodnost máčení semen ve vlažné vodě po dobu 4 hodin, poté se osivo propere a udržuje ve vlhkém hadříku po dobu 2-3 dnů a až poté vysíváme. Sazenice sázíme do proteplené, propustné půdy přihnojené chlévským hnojem ve vzdálenosti 200x80 cm, 150x100 cm. Vhodné přikrytí půdy netkanou textilií. Rostliny poté necháme volně plazit po zemi, pouze zaštipujeme, abychom podpořili růst a větvení.

Dle Pekárkové (2001) na jedné rostlině dozrávají 2-4 plody. Zralost plodu se nerozezná velikostí ani barvou nýbrž zasycháním a stáčením stopky. Stein (1995) uvádí, že zralost plodu poznáme, když na plod poklepeme, temný zvuk nám prokazuje zralost plodu. Kučera a Janýška (1985) konstatují, že tento ukazatel není příliš spolehlivý, nejspolehlivější metodou je dle obou autorů přímý řez, avšak plod poté musí být rychle zkonzumován. Dle Petříkové a Malého (1998) je doba sklizně od srpna do září s průměrným výnosem 27-32 $t.ha^{-1}$.

Pekárková (2001) řadí mezi nejčastější choroby lubenice obecné antraknózu, padlí okurkové, plíseň okurkovou. Nejčastější škůdci lubenice obecné jsou sviluška a mšice. Jelikož těmto škůdcům vyhovuje suché ovzduší vhodné pro pěstování této plodiny (Macháček, 1945; Pekárková, 2001).

3.1.3. Botanická charakteristika tykev obecná (*Cucurbita pepo*)

Hlava a kol. (1998) uvádí, že rod *Cucurbita* zahrnuje kolem 25 druhů, morfologicky a pěstitelsky variabilní. Stein (1995); Pekárková (2001) konstatují, že druh tykev obecná se rozděluje na několik typů: tykev patison, tykev špagetová, tykev melounová, zeleninová cuketa, zeleninová kabačka, tykev okrasná.

Pekárková (2001) popisuje, že se jedná převážně o plazivé jednoleté rostliny, které dosahují délky až 5 m, mohou se však vyskytovat i v keříčkovitých formách. Dle Hejného a Slavíka (1997) lodyhy dosahují délky od 0,2 m až 12 m, jsou ostře hranaté, popínavé pomocí rozvětvených úponků. Rostliny jsou krátce až drsně chlupaté. Listy dosahují délky v průměru 8-70 cm, jsou dlanitě laločnaté, na bázi srdčité, okraj listu nepravidelně zubatý. Květy jednopohlavné sytě žluté až zlatobílé. Samčí květy se rozvíjejí dříve než samičí. Samičí květy jsou krátce stopkaté, zatímco samčí dlouze stopkaté. Květy dosahují délky 7-11 cm. Dle Pekárkové (2001) rostliny nejsou schopny partenokarpie a potřebují opylení hmyzem. Hejný a Slavík (1997) konstatují, že partenokarpie je u těchto druhů vzácná.

Hejný a Slavík (1997) uvádí velkou rozmanitost plodů, různého tvaru a velikosti. Vyskytují se tvary kulovité, smáčknuté, kyjovité, hruškovité, elipsoidní, zvonkovité, hřibovité, diskovité, talířovité dosahující délky od 3-70 cm (viz obr. 4). Dále uvádí rozmanitost vnějšího a vnitřního oplodí nejen v barevné škále, ale také tvrdosti. Vnitřní oplodí je často vysýchavé. Podle Pekárkové (2001) může hmotnost plodu být až přes 100 kg. Plody tykve obsahují 1 % bílkovin, 6,5 % sacharidů, 0,1 % tuků, 0,5 % minerálních látek, 1,2 % vlákniny a 9 mg % vitamínu C. Dle Staňkové (2008) tykev obsahuje 90 % vody a minerální látky jako je draslík, hořčík, železo a sodík, dále uvádí přítomnost luteinu, alfa a beta karotenu a oranžově zbarvených druhů (Hlava a kol., 1998).

Semena tykve obecné mají široký až úzce vejcovitý, silně zploštělý tvar, bělavé, nažloutlé až našedlé barvy o velikosti 7-15 mm, zvráštěná nebo hladká. Semena jsou olejnatá (Hejný a Slavík, 1997). Podle Hlavy a kol. (1998) semena tykve obsahují 54 % kvalitního oleje. Pekárková (2001) konstatuje, že vhodná teplota pro klíčivost semen je 25-30 °C, klíčivost semen 8-10 let, HTS 45 g.

Obr. 4: Rozmanitost plodů tykve obecné (*Cucurbita pepo*) (pinterest.co.uk, 2017)

Tykve vyžadují slunná stanoviště, dostatek vláhy a organickou hmotu v půdě. I malý mráz může rostliny poškodit, ale za vhodných podmínek tykve velmi rychle, kvalitně rostou a plodí. Pěstování se provádí buď přímým výsevem nebo z předpěstované sadby. Růst můžeme urychlit využitím fóliovníků, pařenišť i skleníků (Hlava a kol., 1998). Je vhodné vysévat

současně s vyššími rostlinami, aby sloužily jako ochrana proti větru, nesnáší otevřené a větrné polohy (Petříková a Malý, 1998).

Vhodné jsou půdy hlinité, typu černozemí, hnědozemí, a však dobře se jim daří i na lehčích humózních půdách. Nesnáší půdy přemokřené ani suché písčité půdy (Petříková a Malý, 1998). Půdní pH by mělo být v rozmezí 5,5-6,8, půda dostatečně vlhká. Především v době vytváření květů a plodů potřebují rostliny dostatek živin a vláhy, půda se nikdy nesmí přemokřit doporučuje se 11 l vody za týden. Vhodné je přihnojování každé 2 týdny základními tekutými hnojivy (Biggs, 1997).

Podle Hejného a Slavíka (1997) se rostliny pěstují na půdách bohatých na živiny, proto je vhodné pěstování na kompostu, kompost zároveň zakryjí svými velkými listy a zabrání tak vysychání. Macháček (1945) ve své práci uvádí, že nevýhodou výsadby tykve na kompost je velká spotřeba živin a vody, která může snížit jeho hodnotu jako hnojiva.

Pekárková (2001) řadí mezi nejčastější choroby tykve obecné padlí, listovou skvrnitost, virovou mozaiku, plíseň šedou.

3.2. Historie a současnost pěstování *Cucurbitaceae*

Zástupci čeledi tykvovité jsou rostliny oblíbené v pěstování u nás i v zahraničí. Pěstované převážně pro své plody, které zajišťují potravu, obsahují látky nezbytné pro organismus, vyrábí se z nich množství pokrmů. Konzumace je možná buď v syrovém, vařeném, konzervovaném stavu (Hlava a Burešová, 1980). Schaffer (2016) ve své práci uvádí, že okurky, lubenice a tykve patří mezi 10 ekonomicky nejvýznamnějších rostlinných komodit.

V některých zemích v době zralosti také slouží jako nádoby na potraviny nebo vodu, dále se z nich vyrábějí i hudební nástroje a umělecké předměty příkladem je lageárie. Její jedlá semena slouží k výrobě oleje (Hlava a kol., 1998).

3.2.1. Okurka setá

. Okurka setá patří k nejstarším kulturně pěstovaným rostlinám, první zmínky o pěstování okurky pochází z 5. stol. př. n l. z Indie (Bartoš a kol., 2000).

Biggs (1997) uvádí, že první záznamy o pěstování okurek z nejstarších známých zahrad světa pocházejí už z Mezopotámie z doby 2 000 let př. n. l. a poté o tisíc let později v Indii. V současné době se v přírodě planě rostoucí rostliny téměř nevyskytují.

Podle Petříkové a Malého (1998) je roční spotřeba u okurky seté 3,5-4,5 kg na osobu. Tito autoři ve své práci uvádí, že v roce 1991 v České republice byla pěstitelská plocha okurek nakládaček 3196 ha, okurek salátovek 1523 ha. Výnos okurek nakládaček 11,13 $t.ha^{-1}$, okurek

salátovek 24,81 t.ha^{-1}. Kortanová (2007) udává v roce 2007 pěstitelskou plochu u okurek salátovek 137 ha a výnos 38,5 t.ha^{-1}. Podle těchto prací je zřejmý pokles pěstitelské plochy mezi rokem 1991 a 2007, ale zvýšený výnos u okurky salátové. Avšak podle údajů MZe (2017) se v roce 2016 pěstební plocha okurek salátovek zvýšila na 296 ha, ale zároveň se snížil výnos na 31,72 t.ha^{-1}. V případě okurek nakládaček byl pěstební plocha ve stejném období u okurky nakládačky 411 ha a výnos 24,91 t.ha^{-1} (Ministerstvo zemědělství, 2017). Srovnání výnosu v roce 2014 ve 117 státech prokázalo, že stát s největším výnosem okurky seté je Nizozemsko, s výnosem 735,786 t.ha^{-1} (helgilibrary.com, 2018).

3.2.2. Lubenice obecná

Lubenice obecná je teplomilná bylina, původem z tropických oblastí Afriky a Asie (Stein, 1995). Harry (2015) ve své práci uvádí, že na základě archeologických nálezů semen lubenice obecné bylo prokázáno, že její pěstování pochází z doby před 5000 lety, v severovýchodní Africe. Podle Welman (2011) původní odrůdy lubenice obecné se téměř neliší od nynějších pěstovaných odrůd.

Kučera a Janýšek (1985) uvádějí propad pěstování melounů na území ČSSR do roku 1983 kdy nastalo ustálení výnosu. Tento propad byl způsoben snížením výměry pěstebních ploch. Podle Českého statistického úřadu (2010) je největším dovozcem melounů Španělsko, Itálie, Maďarsko a Řecko. Jako největší odběratele uvádí Slovensko a Polsko. V roce 1995 byla roční spotřeba lubenice stanovena na 3,4 kg na osobu. O 15 let později v roce 2010 roční spotřeba činila 7,8 kg na osobu.

V roce 2014 proběhlo srovnání výnosu lubenice obecné ve 100 státech, na prvním místě se umístil Omán (Asie) s celkovým výnosem 66,43 t.ha^{-1}, následován Tuniskem a Bahrajnem. Poslední místo obsadila Mauritánie (Afrika) s výnosem 0,459 t.ha^{-1} (helgilibrary.com, 2018).

3.2.3. Tykev obecná

Tykev obecná má původ ve Střední Americe, převážně z jižního Mexika, patří mezi nejstarší pěstované druhy. Semena byla zaznamenána už 5000 let př. n l., pěstovala se převážně pro své léčivé účinky a svá olejnatá semena. Později se rozšířila do USA, východní a jižní Evropy, kde je pěstování nejvíce rozšířené (Hlava a kol., 1998).

V roce 2014 se uskutečnilo srovnání výnosu tykve obecné v 98 státech, na prvním místě se umístil Bahrajn (Asie) s výnosem 105,19 t.ha^{-1}, na dalších místech se nacházelo Nizozemsko, Španělsko a Belgie. Naopak nejmenším pěstitelem tykve je Omán (Asie) s výnosem 0.0118 t.ha^{-1}. V tomto roce činila roční světová produkce 24 514 000 t, nejvyšší výnos byl však

zaznamenán v roce 2012 a to 24 684 000 t. V roce 2016 proběhlo srovnání výnosu ve 22 státech, první místo obsadilo Turecko s výnosem 138 000 t. Dále následovalo Bulharsko, Španělsko a Francie. Na posledním místě bylo Finsko s výnosem 320 t (helgilibrary.com, 2018).

3.3. Obecná charakteristika stresu

Schulze et al. (2002) uvádějí pojem stres. Podle nich je stres určitá odchylka od normálního stavu rostliny, poškozující kvantitu zemědělství, na které rostlina reaguje. Reakce ze stresových odchylek mohou také sloužit jako měřítko intenzity stresu, kterému je rostlina vystavena. Levitt (1980) popisuje stres jako nepříznivé působení přírodních vlivů na rostlinu, uvádí dvě myšlenky chápání stresu. První hypotéza uvádí stres, jako faktor vnějšího prostředí, který je schopen navodit škodlivý účinek v živém organismu. Druhá hypotéza představuje stres, jako biologické napětí, biologický stres nebo jakoukoliv změnu vnějšího prostředí, která nepříznivě ovlivňuje, zpomaluje růst a vývoj rostlin.

Podle Nielsen a Orcutt (1996) je stres dynamickým komplexem mnoha reakcí. Tito autoři dále konstatují, že působením kteréhokoli stresové faktoru, dochází ke kvalitativním i kvantitativním zastoupením proteinů v buňkách (prolin, derivát alaninu a glycinu), během několika desítek minut. Tvorba některých enzymů stoupá, kdy např. u vodního deficitu se zvyšuje koncentrace ribonukleázy, hydrolázy a alfaamylázy, zatímco jiné enzymy se naopak snižují. V případě vodního deficitu se například snižuje množství nitrátreduktázy (Bláha a kol., 2003).

Negativní vlivy z vnějšího prostředí ovlivňující životní funkce rostliny se nazývají stresové faktory neboli stresory. Stresem nemusí být poškozena celá rostlina, ale jen některé rostlinné orgány. Stresory mohou rostlinu poškodit na tolik, že dochází k nevratnému poškození dokonce i k úhynu. Postihují jak kořeny, nadzemní části, ale také vyvíjející se semena. Stresované rostliny, produkují méně života schopná semena a tím ovlivní další generace rostlin, i když na další generace stejný stres již nepůsobí (Bláha a kol., 2003).

Negativní vlivy na rostlinu rozdělujeme na faktory abiotické (fyzikálně-chemické) a biotické (způsobené živý organismem, včetně člověka). Tyto faktory ovlivňují nejen životní funkce, ale také kvalitu a výnos získaných produktů.

Rozdělení stresorů podle Procházky et al. (1989):

Abiotické faktory

1) Fyzikální
   - mechanické účinky větru,
   - záření (UV, viditelné),
   - teplota (Nízká, vysoká),
   - nedostatek, nadbytek vody.
2) Chemické
   - nedostatek kyslíku v půdě,
   - nedostatek/nadbytek živin v půdě,
   - zasolení,
   - toxické látky v půdě,
   - toxické látky ve vzduchu,
   - těžké rizikové látky.

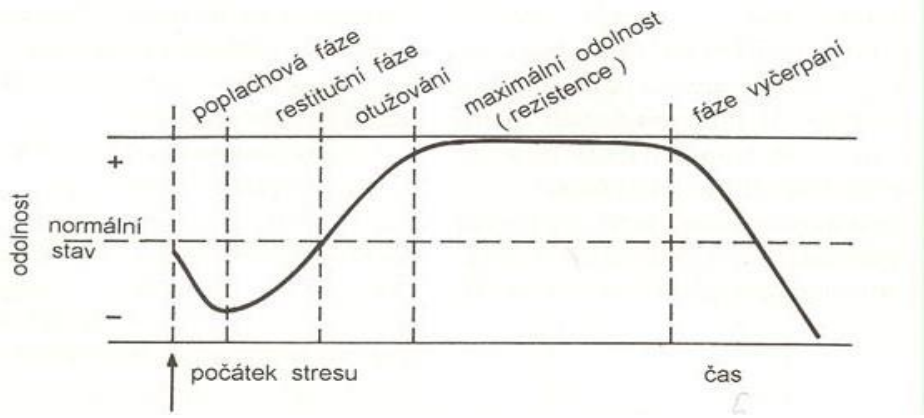
a) Biotické faktory
   - herbivorní organismy,
   - patogenní organismy,
   - vzájemné ovlivňování rostlin (parazitismus, alelopatie),
   - antropogenní působení.

Působení abiotických faktorů zesiluje účinky biotických stresů a naopak, výsledkem je tudíž oslabená rostlina s méně kvalitním semenem (Bláha a kol., 2003). Hnilička a Hniličková (2016) konstatují, že rostliny jsou stresu vystavovány po celý svůj život, avšak nemusí vždy působit negativně, což je známo z evoluce rostlinných druhů. Autoři dále konstatují, komplikovanost stresu vyvíjeného na rostlinu, vzhledem k přisedlému způsobu života rostlin, kdy rostliny nejsou schopny se stresu vyhnout. Dle Larchera (2003) je komplikovanost ovlivňována mezidruhovou variabilitou, fyzikálně-chemickými vlastnostmi buňky a heterogenitou vnitřního prostředí.

Na rostlinu působí více negativních vlivů s různou intenzitou současně, rostlina na stres reaguje a snaží se zabránit poškození (Petříková a kol., 2012). Selye (1966) ve své práci uvádí, že v určité fázi se může stát rostlina rezistentní vůči stresovému faktoru. Lichtenthaler (2006) rozděluje reakce na stres podle doby působení na reakci akutní neboli krátkodobou a reakci chronickou neboli dlouhodobou. V akutní fázi je reakce nápadnější, silnější, s rychlejším vznikem poškození. Chronická fáze je naopak pozvolnější, k většímu poškození rostliny

dochází až po delší době. Lichtenthaler (1998) uvádí pojmy eustres a distres. Pojem eustres vysvětluje jako aktivační stres s pozitivním účinkem (pro rostlinu nepředstavuje poškození), avšak má dlouhodobé působení. Distres autor popisuje jako stres s negativním účinkem. Působení stresoru je do takové fáze, kdy rostlina není schopna se se stresem vypořádat a dochází tak k poškození.

Obranné reakce rostlin se označují jako stresové reakce, viz obr. 5. Jak z něho vyplývá má stresová reakce čtyři fáze: poplachovou, restituční, rezistentní a fázi vyčerpání. V poplachové fázi dochází k narušení buněčných funkcí a struktur. Pokud tato fáze není pro rostlinu letální, přechází ve fázi restituční, kde dochází k mobilizaci kompenzačních mechanismů a tím vede k fázi rezistence vůči působícím stresorům. Při dlouhodobém působení stresoru dojde k vyčerpání rostliny a tím k jejímu úhynu (Larcher, 1995).



Obr. 5: Obranné reakce podle Lacher (1995)

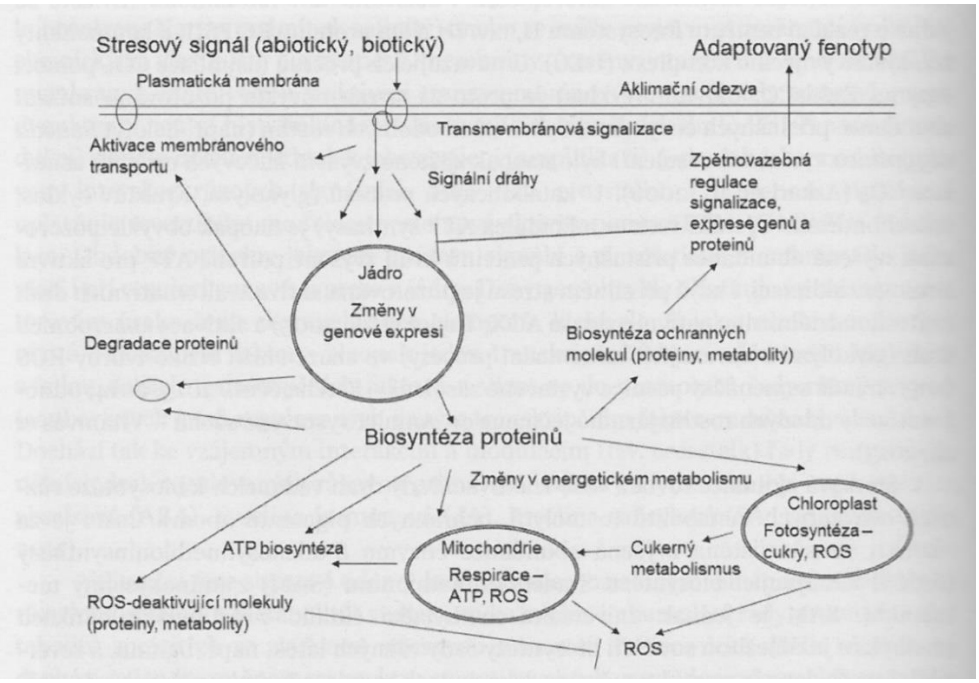
Oproti tomu Levitt (1980) rozděluje reakce na stres na fázi alarmu, fázi aklamační a tolerance. První fázi uvádí jako alarm, fázi, která začíná ihned po začátku působení stresu, její trvání je krátké, a to minuty až hodiny. V této fázi dle tohoto autora dochází k přechodnému narušení rovnováhy mezi rostlinou a prostředím, nastává aktivace signálu a k jeho přenesení do jádra, kde dojde ke změně genové exprese. Na tuto fázi navazuje fáze aklimační, její trvání může být až několik dní, odvíjí se od intenzity a druhu stresového faktoru. Rostlina se adaptuje na stres a vytváří si toleranci vůči stresu změnou rostlinného proteomu a metabolomu. Bláha a kol. (2003) uvádí, že adaptací rostliny dochází k přechodnému zvýšení odolnosti proti abiotickým stresům.

Nielsen a Orcutt (1996) pojem aklimace popisují jako fenotypové přizpůsobení podmínkám prostředí. Podle Levitta (1980) se tento jev nazývá avoidance neboli vyhnutí se stresu. Blum (2005) charakterizuje avoidanci, jako schopnost rostliny si udržet vysoký vodní potenciál nebo hydrataci buněk pod vlivem stresu. Petříková a kol. (2012) ve své práci uvádí, že

schopnost adaptace závisí na anatomických, morfologických, metabolických charakteristikách rostliny, ale také na regulátorech růstu. Například v případě vodního deficitu se zvýší koncentrace kysliny abscisové až 40x, což ve své práci uvedli Nielsen a Orcutt (1996). Kyselina abscisová je látka, ovlivňující vývojové fáze rostlin, regulující vodní režim rostlin, ovlivňuje stárnutí rostliny, stimuluje opad listů, inhibuje prodlužovací růst rostlin a reguluje dormanci (Škodáček a kol., 2011). Mezi další adaptační mechanismy Petříková a kol. (2012) uvádějí tvorbu suchem indukovaných proteinů, prolinu a dehydrinu apod.

Levitt (1980) udává, že fáze tolerance nastává při plné adaptaci na stres, v této fázi se rostlina muže nacházet až několik týdnů s ohledem na působení stresu. Některé rostlinné druhy jsou schopny tolerance vůči stresu, zmírnění stresu pomocí specifických reparačních procesů. Pokud jsou stresové faktory příliš intenzivní, může dojít k vyčerpání rostliny a poté dojde k úhynu rostliny. Při ukončení působení stresoru můžeme pozorovat fázi recovery (obnovy) dochází k odbourávání proteinů, vyvolaných ve fázi tolerance, nastává opět rovnováha mezi rostlinou a prostředím.

Dle Bláhy a kol. (2003) působí stresor na různých úrovních rostliny: na úrovni organel (aktivity jejích enzymů), na úrovni buňky (období hodin až týdnů, viz obr. 6) či pletiva. V různém časovém rozmezí: na úrovni ekosystému, na úrovni individuální rostliny, na úrovni celého rostlinného společenstva. Petříková a kol. (2012) uvádí možnost, snížení stresového faktoru pomocí antistresových látek, převážně přírodních látek, které neznečišťují životní prostředí a tím možnost užívání tohoto opatření i v ekologickém zemědělství.



Obr. 6: Generalizované schéma stresové odezvy na buněčné úrovni (Kosová a kol., 2011)

Dle Kirdyho (2002) je třeba nových inovací, jak zefektivnit dostupnost a efektivitu využití vody pro rostlinu. Petříková a kol. (2012) uvádí jako možnost zabránění vodního deficitu, použití antistresových látek. Jedná se např. o 5-aminolevulovou kyselinu (ALA), která dle Rosy (2007) zvyšuje rychlost fotosyntézy, reguluje temnostní fázi fotosyntézy, zlepšuje růst při nedostatku světla, zvýšení odolnosti vůči chladu a zasolení. Jako další možnost tito autoři uvádějí použití mykorhizních hub, které zvětšují tvorbu kořenového systému, a tím zlepšují příjem vody a živin přístupných pro rostlinu. Podle hodnocení přírodních a syntetických antioxidantů, uskutečněných MacDonaldem et al. (2009) vyplývá, že působením beta-karotenu a Ambiolu (R), dochází ke zvýšení syntézy bílkovin, které napomáhají toleranci vůči suchu. Nastává tak zlepšení růstu kořenů, listové plochy, fotosyntézy a efektivity využití vody.

3.4. Vodní deficit

Dle Levitt (1980) můžeme vodní stres definovat jako nedostatek nebo nadbytek vody. Blum (2005) popisuje vodní deficit jako poptávku rostliny po vodě, která není uspokojena. Vodní deficit také můžeme definovat narušením vodní bilance rostlin. Brestič a Olšovská (2001) uvádí vodní deficit (nedostatek vody, sucho, přísušek) jako jeden z nejvýznamnějších stresových faktorů.

Sucho (nedostatek srážek), sucho doprovázené vysokými teplotami, celovegetační sucho je v přírodě a v zemědělství nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím výkon (vývin) rostlin. V současné době je ve světě 40 % potravin, produkováno pouze ze zavlažovaných zemědělských ploch. V EU je 70 % vody využito na závlahu (Hnilička a kol., 2010). Kožnarová a Klabzuba (2010) definují pojem sucho jako nedostatek vody v půdě, rostlinách nebo i v atmosféře. Autoři uvádějí dvě rozdělení sucha, a to agronomické sucho a meteorologické sucho. Meteorologické sucho, můžeme definovat časovými a prostorovými srážkovými poměry. Určuje se pomocí množství a intenzity srážek (v daném území a danou roční dobu), teploty vzduchu, rychlosti větru, výparu, vlhkosti vzduchu. Agronomické sucho, vyjadřuje nedostatek vody v půdě ovlivněný předchozím nebo trvajícím výskytem meteorologického sucha, vlastností půdy, úroveň zemědělské techniky a nespočet jiných dalších faktorů. Nepředpokládané neboli nahodilé sucho se vyskytuje nepravidelně s trváním několika dnů, týdnů, měsíců i roků. Je často doprovázené vysokými teplotami, nízkou poměrnou vlhkostí vzduchu, větším počtem hodin slunečního svitu a nízkou oblačností. Nahodilé sucho je tedy nebezpečné pro svoji nepředvídatelnost (nepravidelný a neočekávaný výskyt).

Petříková a kol. (2003) konstatují, že teplota a srážky, jsou jedny ze základních faktorů ovlivňující výnos a kvalitu zemědělských plodin. V řadě zemí je větší spotřeba vody, než se

obnoví z přírodních zdrojů. Hnilička a kol. (2010) udávají, že velkým nedostatkem v Evropě trpí například Řecko, Portugalsko, nejhorší oblastí je Balkán. Z důvodu poklesu spodních vod, nízkým počtem srážek a růst průměrné roční teploty. Proto je třeba hledání možností, jak sucho neovlivní kvalitu a výnos zemědělské produkce (Petříková a kol., 2003).

Blum (2005) uvádí, že vodní deficit nastává při porušení optimální vodní bilance rostlin, tato bilance závisí na příjmu a výdeji vody. Při nasycení rostliny vodou, nastává optimální vodní bilance, zatímco při vyčerpání fyziologicky dostupné vody může docházet k nedostatku a tím dochází k vodnímu deficitu. Hraničním případem vodního deficitu je subletální vodní deficit, kdy dochází k poškození 5-10 % listové plochy (Brestič a Olšovská, 2001). Příjem vody je ovlivněn rostlinou biomasou, evaporací (výpar vody z půdního povrchu), transpirací (výpar vody z povrchu rostliny). Celkový výpar vody tedy nazýváme evapotranspirace (Novák, 2001).

Bláha a kol. (2003) uvádějí jako příčinu vodního deficitu nejčastěji klimatické podmínky, vlastní příjem vody rostlinou je však ovlivněn také obsahem živin, solí v půdě a půdní reakcí. Kirda (2002) uvádí, rozdílnost potřeb přijmu vody, na základě vlastností půdy, na které jsou rostliny pěstovány a vlastnostmi rostlin.

Holubec (2016) konstatuje, že rostliny mají různé nároky na příjem vody z důvodu rozložení rostlin na zemském povrchu. Příjem vody je závislý především na atmosférických srážkách, které se během roku mění a spolu s nimi se mění i teplota. Rostliny jsou tomuto kolísání vody a teploty přizpůsobeny. Podle nároku na vodu je můžeme rozdělit na: hygrofyty (vlhkomilné), xerofyty (suchomilné), mezofyty (střední nároky na příjem vody).

Autor dále uvádí, že rostliny jsou schopny nedostatku vody dlouho vzdorovat. Například u jednoletých, zejména plevelů, tím že zmenší své rozměry, vykvetou a dokončí svůj generativní cyklus za kratší dobu. Semena však mají menší hmotnost, v některých případech je zmenšení hmotnosti až na 50 % své normální hodnoty. U dvouletých rostlin je proces redukce rostlinné plochy stejný, a však není u těchto rostlin jisté, zda dokončí svůj generativní cyklus. Rostliny vloží energii do tvorby zásobních orgánů. Hnilička a Hniličková (2012) ve své práci uvádí, že rostliny jsou nejvíce citlivé na vodní stres v době vzcházení, odnožování, diferenciaci pohlavních orgánů a při růstu vegetativních orgánů.

Podle Loomis (1983) je příjem vody důležitý pro růst a vývoj rostlin. Vodní deficit se vyskytuje především v suchých oblastech s nízkým počtem srážek. Dále uvádí snahu zemědělců na odstranění nebo zlepšení tohoto problému, jelikož může vést k malému výnosu rostlin a tím například i k hladomoru nebo migraci. Jako řešení uvádí například volbu rostlin, popřípadě kultivarů, které jsou odolné vůči suchu a správné dodržení agrotechnické praxe.

Čimo et al. (2008) uvádí, sucho jako přírodní katastrofu, neboť je v EU nárůst plochy postižené suchem. Za posledních 30 let došlo ke zvýšení ze 6 % na 18 %. To je dle Havrila a Nováka (2006) ovlivněno změnou klimatu, snížením atmosférických srážek a zvýšením průměrné roční teploty vzduchu, což zapříčiní zvýšení požadavků přijmu vody pro rostlinu. Klimešová a kol. (2016) konstatují, že ve 20. století se teplota vzduchu zvýšila o 0,74 °C a předpoklad zvýšení teploty vzduchu v 21. století o 2,5-5,4 °C což ve své práci uvedl Ciscar (2012). Bláha a kol. (2003) konstatují, že vodní deficit může také nastat v zimních měsících, jelikož rostlina je schopna přijmout vodu pouze v kapalném skupenství. U rostlin tak nedochází ke zmrznutí, ale spíše vyschnutí.

Podle Holubce (2016) vodní stres ovlivňuje také příjem kyslíku pro rostliny z půdního profilu, jelikož rostliny mohou přijímat kyslík kořenovým systémem. Půdní vzduch a voda jsou obsaženy v různém poměru. V zamokřených půdách je tedy kyslíku pro rostliny v půdě méně, jako možnost adaptace na nízký příjem kyslíku z půdy slouží vzdušné kořeny.

3.5. Vliv vodního deficitu na rostliny

Bláha a kol. (2003) konstatují, že vodní stres je nejvíce limitující stresor pro rostliny, který snižuje aktivitu enzymů, poškozuje membrány a zpomaluje růst rostlin. Brestič a Olšovská (2001) uvádí, že při narušením vodní bilance, kdy výdej vody je větší než příjem, dochází ke ztrátě pevnosti a vadnutí rostliny (viz obr. 7).

Klimešová a kol. (2016) konstatují, že vodní stres můžeme stanovit pomocí vodního potenciálu, který charakterizuje stav vody v rostlině a je uváděn v jednotkách MPa. Mírný stres suchem, kdy zpomalení růstu nastává při hodnotě -0,5 MPa, zatímco při hodnotách -1,5 MPa dochází k výraznému stresu a nastává ztráta turgescence buněk a vadnutí rostliny, což ve své práci již uvedli Gloser a Prášil (1998). Dalším ukazatelem je efektivita využití vody rostlinou jedná se o poměr mezi fotosyntézou a transpirací (Šantrůček, 2010). Efektivita využití vody je podle Sekhon et al. (2010) rychlým přehledem o tom, jak efektivně je voda přeměněna ve výnos.

Bláha a kol. (2003) uvádí, důležitou úlohu vody při udržení turgidity. Turgor má důležitou úlohu při prodlužování a růstu buněk, turgor také zajišťuje otevírání a zavírání průduchů, pohyb listů a květních obalů. Podle Tardieu (2013) snížení turgoru vede nejen k zavírání průduchů, poklesu fotosyntézy, změně aktivity enzymů, ale také ke zvýšení permeability membrán, denaturaci a inaktivaci proteinů, metabolickým poruchám a nedostatku živin. Autoři dále konstatují, že zpomalení růstu buněk nastává při poklesu hodnoty turgoru pod 0,1-0,2 MPa, k zastavení růstu buněk dochází při poklesu hodnoty na -0,3 MPa. Zastavení růstu

buněk je tedy dřívější, než nastane viditelný projev (vadnutí listů) a ovlivnění hlavních metabolických procesů. Na rozpínavost buněčné stěny má také vodní potenciál, při nedostatku vody se nově vyvíjející buňky méně rozpínají a tím je velikost buňky menší.

Při poklesu vodního potenciálu pod -0,2 MPa nastává změna aktivity enzymů zvýšení činnosti ribonukleázy, hydrolázy a snížení aktivity nitrátreduktázy. Pokles pod -1,0 MPa způsobuje tvorbu amynokyselin prolinu, alkoholů, cukrů a dalších sloučenin. Při dalším poklesu vodního potenciálu nastávají další metabolické změny, především u transportních pochodů v buňce a rychlostí fotosyntézy (Bláha a kol., 2003).

Nedostatkem vody dochází k uzavírání průduchů a tím je omezen přísun CO_2. To zapříčiní nedostatku produktů ze světelné fáze fotosyntézy, dochází k nahromadění přebytečné energie, může docházet až k poškození fotosyntetického aparátu (Grzesiak et al., 2007). Nielsen a Orcutt (1996) konstatují, že nedostatkem vody dochází ke zmenšení velikosti rostlinných buněk a ke zvýšení pružnosti buněk. Delší působení nedostatku vody, zapříčiní projev několika metabolických změn, například snížení fotosyntézy, omezení transpirace.

Obr. 7: Vliv vodního deficitu na pozorovaných rostlinách čeledi *Cucurbitaceae* (foto autor)

Kosová a kol. (2011) konstatují, že vlivem sucha dochází ke snížení exprese transkriptů kódujících protein buněčné stěny bohatý na prolin, akvaporin a další proteiny spojené s fotosyntetickou asimilací. Na proteinové úrovni byl také zaznamenán nárůst akumulace proteinů spojené s fotosyntézou. Jedná se například o snížení aktivity ribolozobisfosfátkarbolázaaktivásy a pokles chaperonů a HSP proteinů. Pandey et al. (2008) ve své studii složení jaderného proteomu uvádějí zvýšení exprese proteinů souvisejících

s buněčnou signalizací, enzymů souvisejících s detoxikací ROS (reaktivní formy kyslíku) a proteinů s ochrannou funkcí (sukrózosyntasa, transportéry cukrů, ubikvitin, calenxin a jiné).

Bláha a kol. (2003) uvádějí vlivem vodního deficitu zvyšování kyseliny abscisové (ABA), kyseliny jasmonové a etylénu (Thakura et al., 2010). Zvýšená koncentrace kyseliny abscisové zapříčiní zavírání průduchů. Což omezí výměnu plynů a tím se sníží rychlost fotosyntézy a transpirace. Postupné vysychání způsobí dehydrataci protoplazmy a tím i fotosyntetickou kapacitu. Probíhá také snížení koncentrace chlorofylu, akumulace sušiny, omezení transportu látek, hromadění jak energeticky bohatých látek, tak i toxických látek. Nastat může také porušení membrán, způsobující úhyn rostliny.

Nastávají však i anatomicko-morfologické změny viditelné na všech rostlinných orgánech (rolování listů apod.). Příjem vody a živiny je ovlivněn především schopností kořenů, zabezpečujících příjem těchto látek do nadzemních částí rostliny. Dlouhodobý vodní deficit zapříčiní zastavení růstu, tvorby kořenů a kořen poté uhyne. Podle Penky (1985) je první viditelný projev nedostatku vody u starších listů. Dle Ismail a Hall (1999) se stres na rostlinách může projevovat inhibicí růstu podzemních i nadzemních orgánů, stárnutím až opadem listů, opadem poupat, zasycháním květů, poškozením plodů, a to vede k snížení výnosu a kvality rostlin. Bláha a kol. (2003) konstatují, že pokud vodní deficit nastane při tvorbě a vývoji květů, rostlina zredukuje počet květů, tím dojde k ohrožení celé reprodukce. Vodní deficit při tvorbě plodů zapříčiní snížení hmotnosti semen (semena jsou menší, s menším počtem zásobních látek a malou klíčivostí) a opad plodů.

Blum (2005) konstatuje, že pomocí hloubky kořenového systému, zmenšení listové plochy a nižším vzrůstem se rostlina snaží adaptovat a vyhnout se tak vodnímu stresu. Dle Premachander et al. (1994) se rostlina nedostatku vody brání svinováním listů a vytvořením voskové vrstvy. Vosková vrstva brání transpiraci odrážením sluneční radiace, to zapříčiní ochlazování listu a sníží tak rychlost transpirace i bez uzavření průduchů. S touto prací se také shodují Richards et al. (1996), při sledování voskové vrstvy na využití efektivity vody u pšenice. Holubec (2016) ve své práci uvádí, že rostliny si působením stresorů vytvořily možnosti adaptace hospodaření s vodou. V extrémních podmínkách jsou rostliny schopny si uchovat vodu v kořenech, stoncích a pletivech v listů. Buňky parenchymu se rozšiřují na úkor intercelulárních prostor a dochází ke zvětšování vakuol. Do vakuol rostlina načerpá vodu za deštivého počasí. Při období sucha rostlina vodu postupně uvolňuje, rostliny ztrácejí turgor a dochází k jejich svraštění.

4. Metodika

Cílem pokusu bylo sledování krátkodobého vodního deficitu a následné rehydrataci na rostlinách z čeledi tykvovité. Jako modelové rostliny byly vybrány: tykev obecná, okurka setá ´Ramzes´, lubenice obecná ´Lajko II F1´. U juvenilních rostlin byla měřena výměna rychlosti plynů a stomatální vodivost, efektivita využití vody rostlinami a relativní obsah vody.

4.1. Charakteristika pokusného materiálu

Osivo pokusných rostlin pocházelo z komerčního zdroje.

4.1.1. Tykev obecná

Tykve zařazujeme do první trati, pokud možno z přímého výsevu v půlce května. Tykvím vyhovují středně těžké, humózní půdy dostatečně zásobené živinami. Nejvhodnější jsou slunné polohy a ochrana před silnými větry. Proto je vhodné s tykvemi pěstovat vyšší rostliny, aby zabránily větru. Plody jsou různého tvaru a velikosti (viz obr. 8) (SEMO a.s., 2017).

Obr. 8: Tykev obecná (pinterest.co.uk, 2017)

4.1.2. Okurka setá ´Ramzes F1´

Raná odrůda s vysokým výnosem, určená na pěstování na poli, fóliovníku a pařeništi. Plody protáhlé, bradavičnaté o délce 18-20 cm (viz obr. 9). Výsadba se provádí z předpěstované sadby od ledna do dubna (SEMO a.s., 2017).

Obr. 9: Okurka setá ´Ramzes F1´ (pinterest.co.uk, 2017)

4.1.3. Lubenice obecná ´Lajko II F1´

Odrůda ´Lajko II F1´ je raný hybrid s vysokým výnosem, který je odolný proti nepříznivým podmínkám a chorobám. Plody kulovitého tvaru, středně velkého vzrůstu o hmotnosti 4,5 kg s hladkým, tmavozeleným povrchem. Výsadba se provádí z předpěstované sadby od poloviny května. Doporučený spon je 90-120 x 40-50 cm, zálivka přiměřená, vyšší dávky vody způsobují praskání plodů (SEMO a.s., 2017).

Kučera a Janýška (1985) o této odrůdě uvádí, že je to meziodrůdový hybrid rodičovských odrůd ´Dunaj´ x ´Sugar Baby´, HTS 44 g, dužina je růžové až červené barvy, sladká, jemná, šťavnatá až rozplývavá (viz obr. 10).

Obr. 10: Lubenice obecná ´Lajko II F1´ (semo.cz, 2017)

4.2. Založení pokusu

Pokus byl založen na České zemědělské univerzitě v Praze v prostorách částečně řízených skleníků KBFR FAPPZ. Teplotní režim byl 25 °C ve dne a 19 °C v noci při přirozeném světelném osvětlení 14 hodin světla, 10 hodin tmy.

Rostliny byly pěstovány ve směsi křemičitého písku a zahradního substrátu s vysokým podílem organických látek, v poměru 1:2. Zahradní substrát obsahuje 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku, pH 5,5-6,5, maximálně 10 % částic nad 10 mm a 5 % částic nad 25 mm, bez plevelů a škůdců, nezasolený, bez sléhavosti s obsahem živin: N: 80120 mg 1^{-1}, P_2O_5: 50-100 mg 1^{-1}, K_2O: 100-150 mg 1^{-1}. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity $mg.kg^{-1}$ sušiny. Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (agrocs.cz, 2015). Výsev se uskutečnil do nádob o velikosti 50x25 cm (viz obr. 11). Poté byly rostliny přesazeny do nádob o velikosti 11x11 cm (viz obr. 12). Schéma pokusu zahrnuje dvě varianty.

Kontrolní varianta byla zavlažována na úroveň VVK 70 %, což představovalo 150 ml vody na jednu nádobu. Stresovaná varianta byla vystavena vodnímu deficitu po dobu 15- ti dnů a ponechána přirozenému vysychání. Rehydratace rostlin, byla provedena stejným zavlažováním jako u kontrolních rostlin, ve fázi 4 pravých listů 15. den pokusu po dobu 9 dnů.

Obr. 11: Výsev pokusu (foto autor, 2016)

Obr. 12: Rostliny lubenice obecné, okurky seté, tykve obecné na počátku působení stresu (foto autor, 2016)

4.3. Měřené fyziologické charakteristiky

4.3.1. Stanovení výměny rychlosti plynů a stomatální vodivosti

Rychlost výměny plynů a stomatální vodivost byly sledovány pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCpro+ (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Velká Británie). LCpro+ je gazometrický přenosný přístroj (viz obr. 13) určený pro měření fyziologických parametrů, jako je například fotosyntéza a transpirace, substomatální CO_2 a stomatální vodivost. Měřící hlavice (viz obr. 14) umožní regulovat teploty +/- 14 °C od teploty okolí (Ekotechnika.cz, 2017).

LCpro+ je přístroj na měření CO_2 a využívá k měření nerozptýlené infračervené záření. CO_2 absorbuje infračervené oblasti v poměru ke koncentraci plynu. Měřící cyklus trvá 16-20 sekund, dochází při něm ke střídání plynu retenčních (vstupujících do komůrky) a analyzovaných (vystupujících z komůrky) s takzvaným nulovým plynem. Rychlost fotosyntézy a transpirace se vypočítá z průtoku a změny koncentrace retenčních a analyzovaných plynů. Uvedené fyziologické charakteristiky byly měřeny při teplotě 25 °C a hustotě ozáření 650 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ u zástupců čeledi tykvovité. Měření rychlosti výměny plynů se uskutečnilo na základě metodických pokusů Holé a kol. (2012)

Obr. 13: LCpro+ (foto autor, 2016)

Obr. 14: Měřící hlavice (foto autor, 2016)

4.3.2. Efektivita využití vody rostlinami (WUE)

Šantrůček (2010) ve své práci definuje efektivitu využití vody rostlinami (water use efficienci, WUE) jako poměr rychlosti čisté fotosyntézy A, k rychlosti transpirace E.

$$WUE = \frac{A\ (\mu mol\ CO_2.m^{-2}.s^{-1})}{E(mmol\ H_2O.m^{-2}.s^{-1})}$$

4.3.3. Relativní obsah vody (RWC)

Relativní obsah vody (relative water content, RWC) vyjadřuje kolik H_2O z maximálního množství rostlina skutečně obsahuje (Larcher, 1988).

$$RWC\ (\%) = \frac{čerstvá\ hmota - hmotnost\ sušiny}{hmotnost\ po\ nasycení\ H_2O - hmotnost\ sušiny}\ x\ 100$$

4.3.4. Vodní sytostní deficit (VSD)

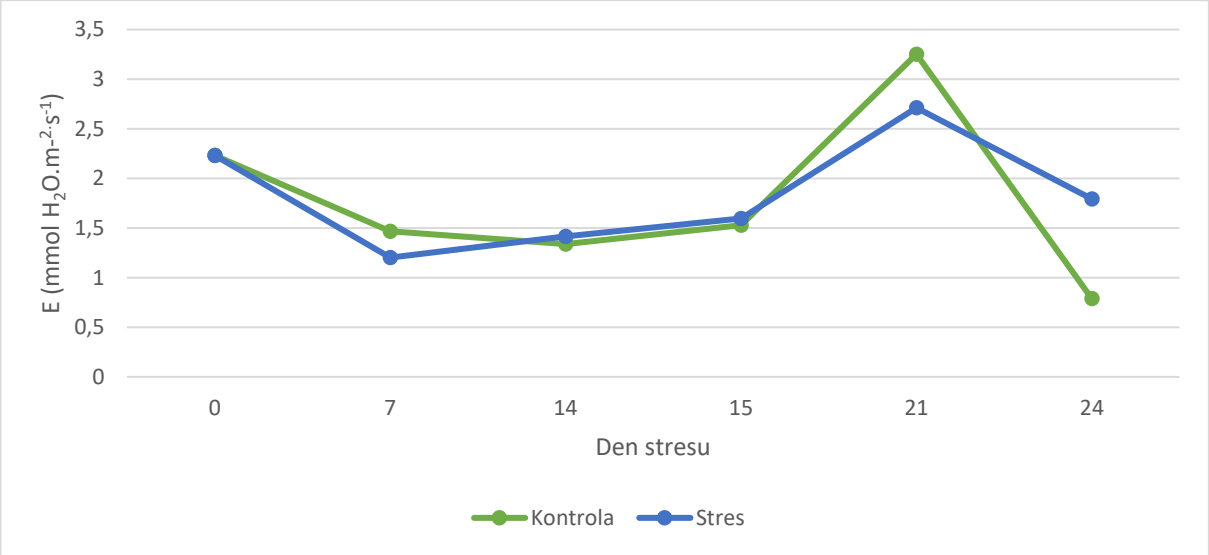
Vodní sytostní deficit udává, kolik H_2O rostlině nebo její části chybí do maximálního nasycení (Larcher, 1988).

$$VSD\ (\%) = \frac{hmotnost\ po\ nasycení\ H_2O - čerstvá\ hmotnost}{hmotnost\ po\ nasycení\ H_2O - hmotnost\ sušiny}\ x\ 100$$

5. Výsledky

5.1. Rychlost transpirace

Graf 1 uvádí rychlost transpirace juvenilních rostlin lubenice obecné v závislosti na délce působení stresoru. Z uvedeného grafu vyplývá, že nejnižší rychlost transpirace u kontrolní varianty byla 24. den pokusu (0,78 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a nejvyšší transpirace byla 21. den pokusu (3,25 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). U stresované varianty byla nejnižší hodnota transpirace zaznamenána 7. den pokusu (1,2 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a 21. den pokusu (2,71 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$).

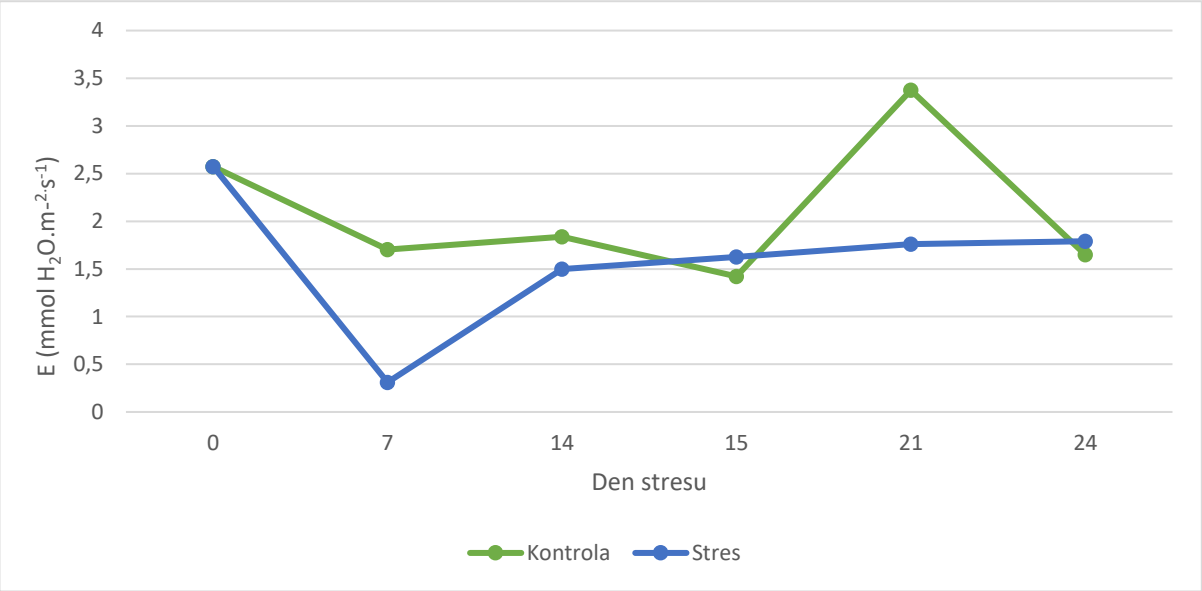


Graf 1: Změny rychlosti transpirace (mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) lubenice obecné v závislosti na variantě a délce působení stresu.

Vysoký nárůst hodnot transpirace se u obou variant projevil mezi 15. a 21. dnem, kdy byla nastolena u stresované varianty rehydratace. Kontrolní varianta rostlin měla nárůst o 1,73 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ a stresovaná varianta 1,12 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ v porovnání s předcházejícím termínem měření. V tomto termínu měření, byla naměřena rychlost transpirace kontrolních rostlin 3,25 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ a stresovaných 2,71 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$.

Nejvyšší pokles hodnot u kontrolní varianty byl naměřen mezi 21. a 24. dnem pokusu, kdy se hodnoty lišily o 2,47 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, neboť vyšší hodnota transpirace byla v termínu 21. dne měření. Hodnota 24. den měření klesla až na 0,79 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$. V případě stresovaných rostlin byl zaznamenán pokles transpirace ve shodném období s kontrolními rostlinami. Tento pokles činil 0,92 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ na hodnotu 1,79 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, viz graf 1.

Rychlost transpirace juvenilních rostlin tykve obecné v závislosti na délce působení stresoru je uveden v grafu 2. Nejnižší rychlost transpirace u kontrolní varianty byla naměřena 24. den pokusu (1,64 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a nejvyšší 21. den pokusu (3,37 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). U stresované varianty byla nejnižší hodnota rychlosti transpirace zaznamenána 7. den pokusu (0,31 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a nejvyšší na počátku pokusu (2,71 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$).

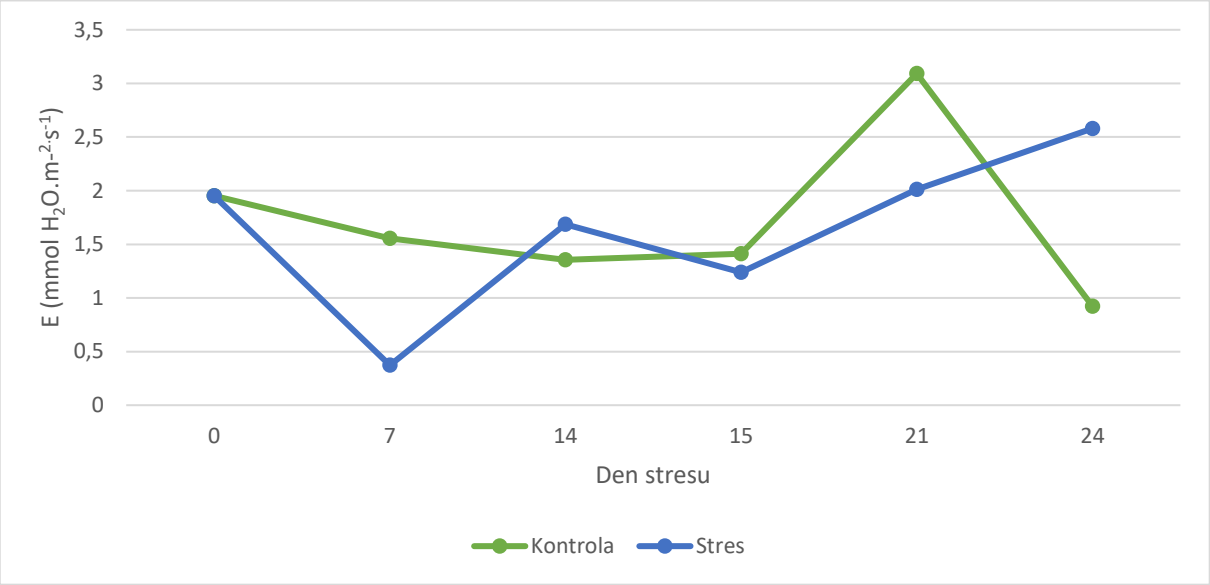


Graf 2: Změny rychlosti transpirace (mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) tykve obecné v závislosti na variantě a délce působení stresu.

Vysoký nárůst transpirace u rostlin kontrolní varianty byl naměřen mezi 15. a 21. dnem o 1,95 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ v porovnání s předcházejícím termínem měření. V tomto termínu měření byla rychlost transpirace kontrolních rostlin 3,37 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$. Vlivem postupného vysychání substrátu se rychlost transpirace u stresovaných rostlin posupně snižovala. V případě stresovaných rostlin byl zaznamenán pokles transpirace mezi 0. a 7. dnem měření. Tento pokles činil 2,26 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ na hodnotu 0,31 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, viz graf 2. U stresované varianty bylo zaznamenáno zvýšení rychlosti transpirace mezi 7. a 14. dnem měření o 1,18 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ na 1,49 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ v důsledku obnovení zálivky.

Nejvyšší pokles hodnot u kontrolní varianty byl naměřen mezi 21. a 24. dnem pokusu, kdy se hodnoty lišily o 1,73 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, neboť na konci pokusu byla rychlost transpirace 1,64 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$.

Graf 3 uvádí rychlost transpirace juvenilních rostlin okurky seté v závislosti na délce působení stresoru. Z uvedeného grafu vyplývá, že nejnižší rychlost transpirace u kontrolní varianty byla na konci pokusu (24. den pokusu, 0,92 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a nejvyšší 21. den pokusu (3,09 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). U stresované varianty byla nejnižší hodnota transpirace zaznamenána 7. den pokusu a to 0,37 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, kdežto nejvyšší hodnota 24. den pokusu 2,58 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$.

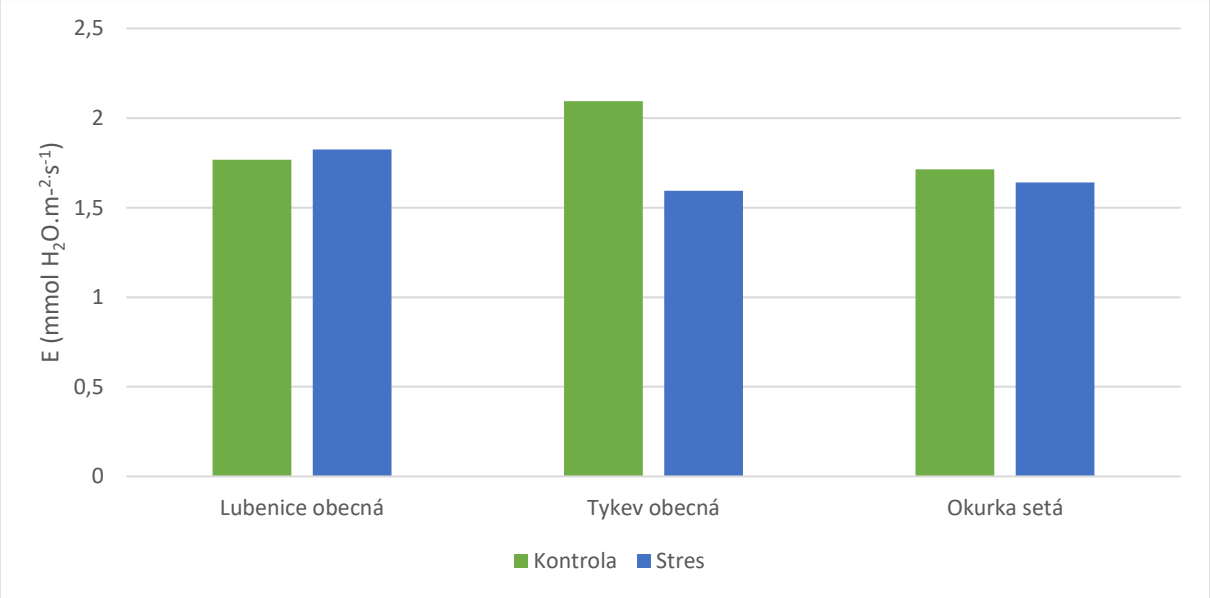


Graf 3: Změny rychlosti transpirace (mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) okurky seté v závislosti na variantě a délce působení stresu

Zvýšení rychlosti transpirace se u obou variant projevilo mezi 15. a 21. dnem, kdy byla nastolena u stresované varianty rehydratace. V případě kontrolních rostlin se jednalo o zvýšení transpirace o 1,68 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ na hodnotu 3,09 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$. A u rostlin stresovaných byl nárůst transpirace o 0,78 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$ na hodnot 2,01 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$.

Nejvyšší pokles hodnot transpirace kontrolních rostlin byl opět naměřen mezi 21. a 24. dnem pokusu, kdy se hodnoty lišily o 2,17 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, neboť na konci pokusu byla rychlost transpirace 0,92 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$. V případě stresovaných rostlin byl zaznamenán pokles transpirace mezi 0. a 7. dnem měření, v důsledku působení vodního deficitu. Na počátku působení vodního stresu byla rychlost transpirace 1,95 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$. Na konci období působení vodního deficitu byla transpirace 1,68 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, viz graf 3.

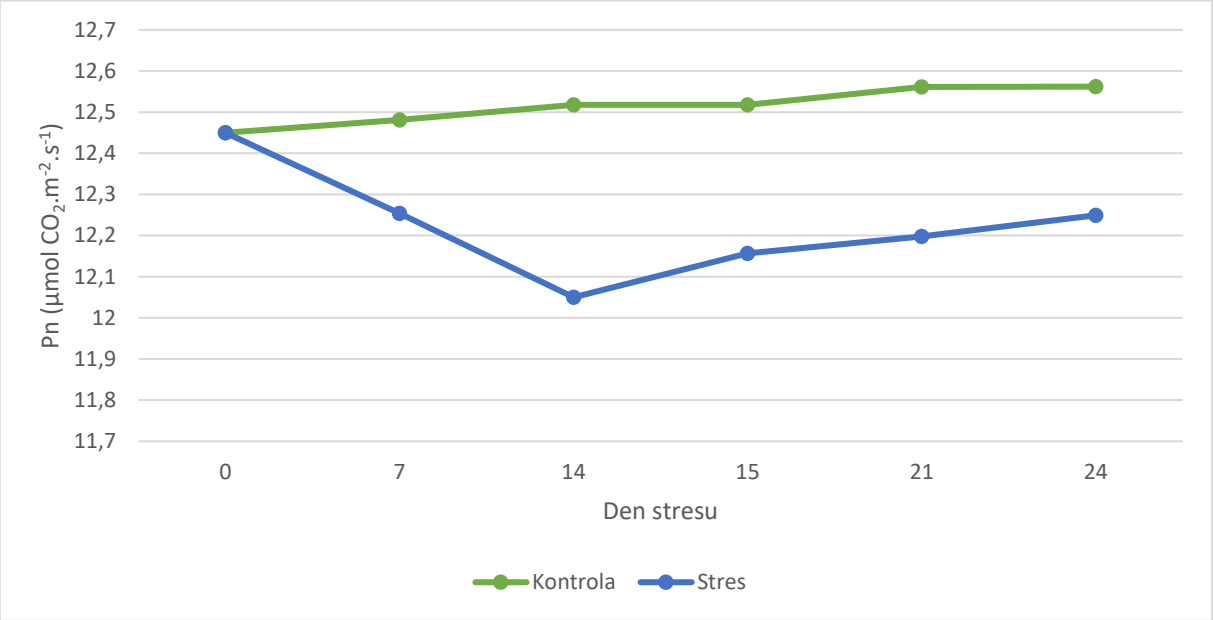
Reakce u jednotlivých druhů juvenilních dýňovitých rostlin na vodní stres je patrná z grafu 4. Z uvedeného grafu jsou patrné rozdíly mezi vybranými druhy rostlin. U kontrolní varianty byla nejvyšší hodnota rychlosti transpirace u tykve obecné (2,09 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a nejnižší u okurky seté (1,71 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). V případě stresovaných rostlin byla nejvyšší rychlost transpirace zaznamenána u lubenice obecné (1,82 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a nejnižší u tykve obecné (1,59 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$). Nejvyšší rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou měla tykev obecná (0,5 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) ve prospěch zavlažovaných rostlin. Oproti tomu nejnižší byl u lubenice obecné (0,06 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$), ve prospěch stresovaných rostlin.



Graf 4: Porovnání průměrné rychlosti transpirace (mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) u jednotlivých druhu rostlin a variant pokusu

5.2. Rychlost fotosyntézy

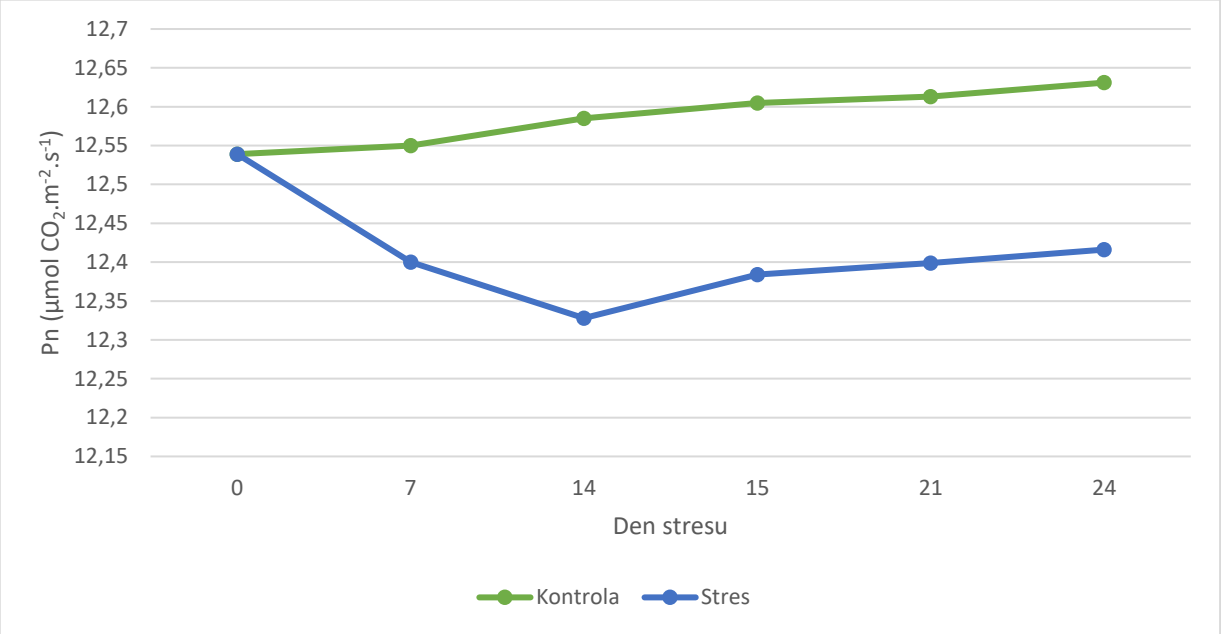
Graf 5 uvádí rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin lubenice obecné v závislosti na délce působení stresoru. Z uvedeného grafu vyplývá, že rychlost fotosyntézy byla na počátku měření u kontrolních rostlin nejnižší (12,45 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) a naopak nevyšší po 21. dni pokusu (12,56 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$). V případě stresovaných rostlin nejnižší hodnoty fotosyntézy naměřeny 14. den měření (12,05 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) a nejvyšší na začátku pokusu (12,45 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$).



Graf 5: Změny rychlosti fotosyntézy (µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) lubenice obecné v závislosti na variantě a délce působení stresu

U rostlin z kontrolních podmínek se v průběhu jejich ontogenetického vývoje rychlost fotosyntézy zvyšovala, neboť její maximální hodnota byla zjištěna na konci pokusu. Na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy 12,56 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. U stresované varianty byl nejvyšší nárůst rychlosti fotosyntézy zaznamenán mezi 14. a 15. dnem, kdy byla u stresovaných rostlin nastolena rehydratace. V tomto období byla rychlost fotosyntézy 12,15 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ a na konci pokusu 12,24 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. V období působení vodního deficitu byl zaznamenán pokles fotosyntézy z hodnoty 12,45 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (0. den) na 12,05 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (14. den), jak dokládá graf 5.

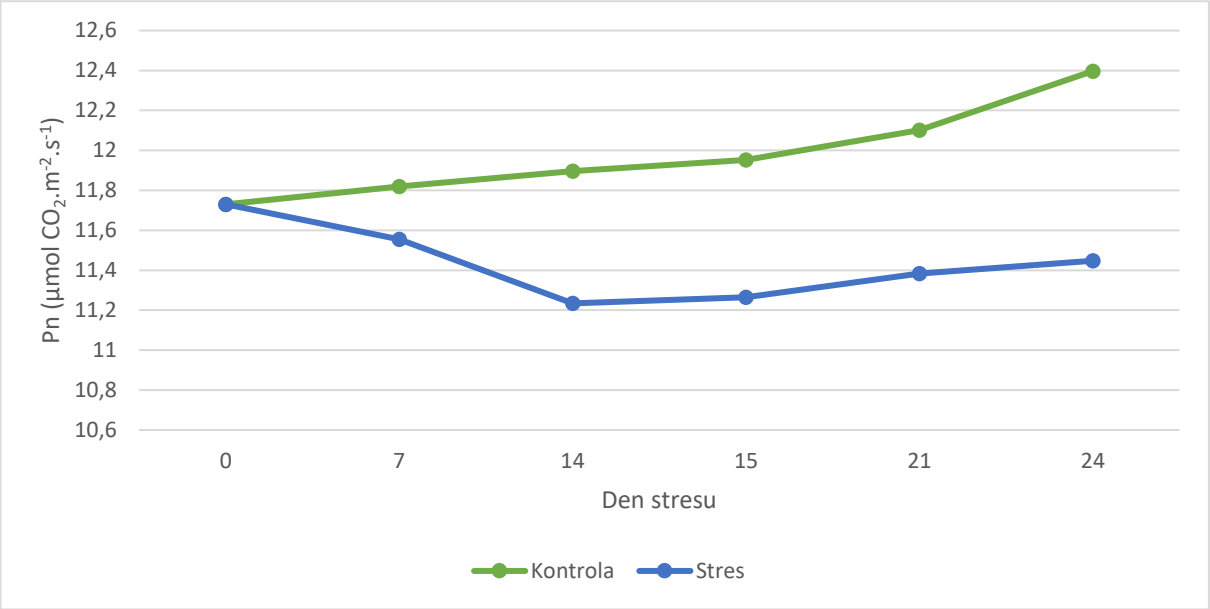
V grafu 6 je uvedena rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin tykve obecné v závislosti na délce působení stresoru. Z uvedeného grafu je patrné, že rychlost fotosyntézy na počátku měření u kontrolních rostlin byla nejnižší (12,54 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$). Na straně druhé nejvyšší rychlost fotosyntézy byla naměřena na konci pokusu (12,63 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$). U rostlin stresovaných vodním deficitem byla nejnižší fotosyntéza naměřena na konci období stresu, kdy dosáhla hodnoty 12,32 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ a naopak nejvyšší na počátku působení vodního deficitu 12,54 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$.



Graf 6: Změny rychlosti fotosyntézy (µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) tykve obecné v závislosti na variantě a délce působení stresu

Shodně s předcházejícím druhem se rychlost fotosyntézy u tykve obecné zvyšovala v závislosti na vývoji rostlin. Proto nejvyšší rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin byla naměřena na konci pokusu. Na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin ve výši 12,63 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. V případě rostlin stresovaných byl nejprve zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy v době působení vodního deficitu. Před zahájením pokusu byla rychlost fotosyntézy 12,54 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ a na konci vodního stresu činila 12,32 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ Jednalo se o pokles ve výši 1,75 %. Bezprostředně po obnovení zálivky se rychlost fotosyntézy zvýšila na 12,38 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (15. den). Do konce pokusu se rychlost fotosyntézy stresovaných rostlin zvyšovala až na hodnotu 12,42 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$, ale tato hodnota byla nižší než u kontrolních rostlin, jak dokládá graf 6.

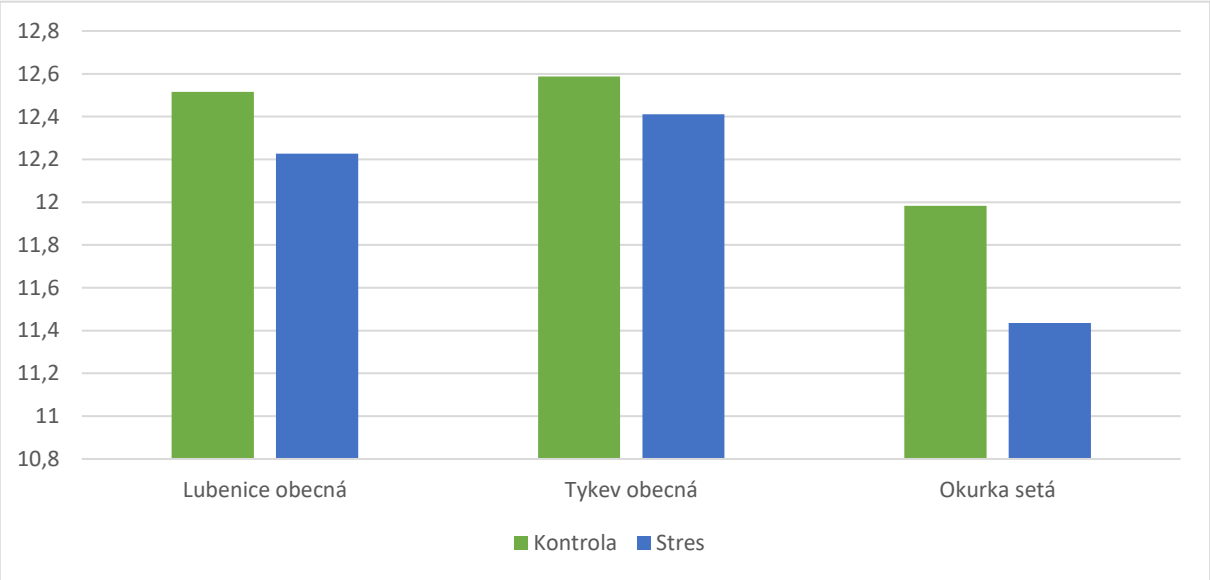
Rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin okurky seté v závislosti na délce působení stresoru je uvedena v grafu 7. Z něho je patrné, že nejnižší rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin byla opět na počátku pokusu (11,73 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) a nejvyšší 12,4 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (24. den). V případě rostlin stresovaných vodním deficitem byl interval naměřených hodnot fotosyntézy 11,23 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (14. den) až 11,73 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (0. den).



Graf 7: Změny rychlosti fotosyntézy (µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) okurky seté v závislosti na variantě a délce působení stresu

Jako v předcházejících případech, tak také u okurky seté se rychlost fotosyntézy v průběhu pokusu zvyšovala. Nejnižší rychlost fotosyntézy byla naměřena na začátku pokusu (11,73 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) a naopak nejvyšší na konci pokusu (12,4 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$). V případě stresovaných rostlin se v období působení vodního stresu rychlost fotosyntézy snižovala. Před zahájením pokusu byla rychlost fotosyntézy u rostlin okurky seté ve výši 11,73 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Na konci působení stresu byla fotosyntéza nižší o 0,5 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Po obnovení zálivky se opět rychlost fotosyntézy zvýšila na hodnotu 11,26 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ Toto zvýšení je možné zaznamenat až do konce sledovaného období, kdy byla rychlost fotosyntézy 11,44 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$, jak dokumentuje graf. 7.

Reakce u jednotlivých druhů juvenilních rostlin na vodní stres je uvedena v grafu 8. Z něho jsou patrné rozdíly v rychlosti fotosyntézy mezi vybranými druhy rostlin v závislosti na působení stresu. U kontrolní varianty byla nejvyšší rychlost fotosyntézy zaznamenaná u rostlin tykve obecné (12,58 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) a nejnižší u okurky seté (11,983 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$). Obdobné výsledky byly zaznamenány také u rostlin stresovaných, kdy nejvyšší hodnoty fotosyntézy vykazovaly rostliny tykve obecné (12,41 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) a nejnižší rostliny okurky seté (11,43 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$).

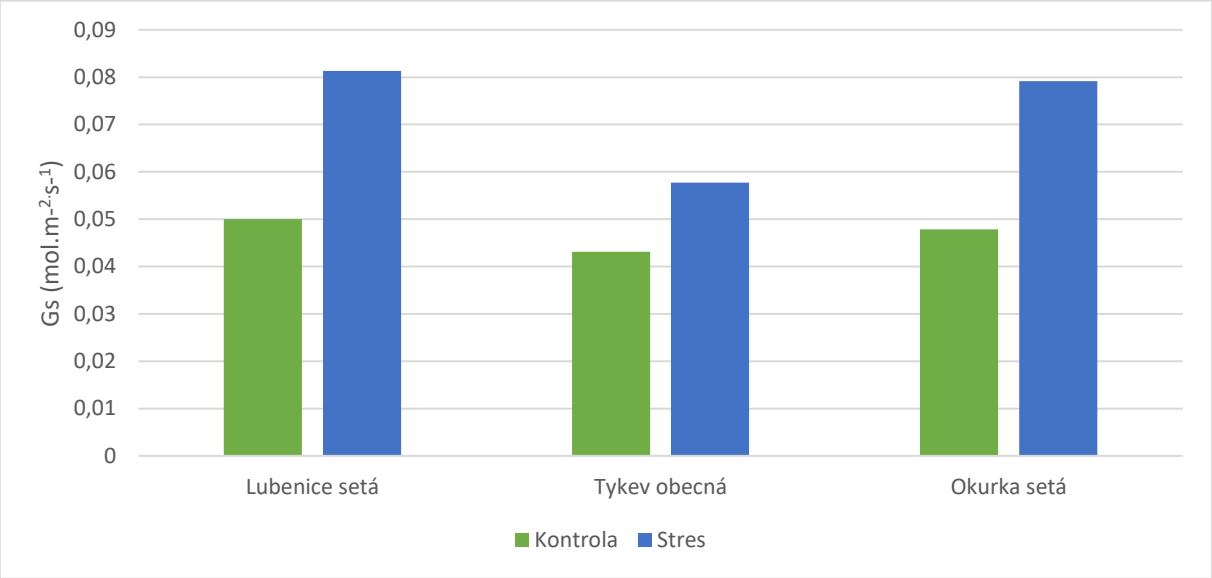


Graf 8: Porovnání průměrné rychlosti fotosyntézy (µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) u jednotlivých druhu rostlin a variant pokusu

Z grafu 8 je dále patrné, že nejcitlivěji na vodní deficit u rychlosti fotosyntézy reagovala okurka setá, kdy rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou byl 0,55 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Naopak nejméně citlivě na vodní stres reagovala tykev obecná, u níž byl rozdíl mezi variantami 0,17 µmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$.

5.3. Stomatální vodivost

Hodnoty stomatální vodivosti jsou uvedeny v grafu 9. Z něho je patrné, že nejvyšší stomatální vodivost u kontrolní varianty měla lubenice obecná (0,05 $mol.m^{-2}.s^{-1}$). Nejnižší hodnotu stomatální vodivosti u kontrolní varianty měla tykev obecná (0,04 $mol.m^{-2}.s^{-1}$). U stresovaných rostlin nejvyšší hodnota stomatální vodivosti byla u lubenice obecné (0,081 $mol.m^{-2}.s^{-1}$) a nejnižší průměrná hodnota stomatální vodivosti byla u rostlin tykve obecné (0,06 $mol.m^{-2}.s^{-1}$).

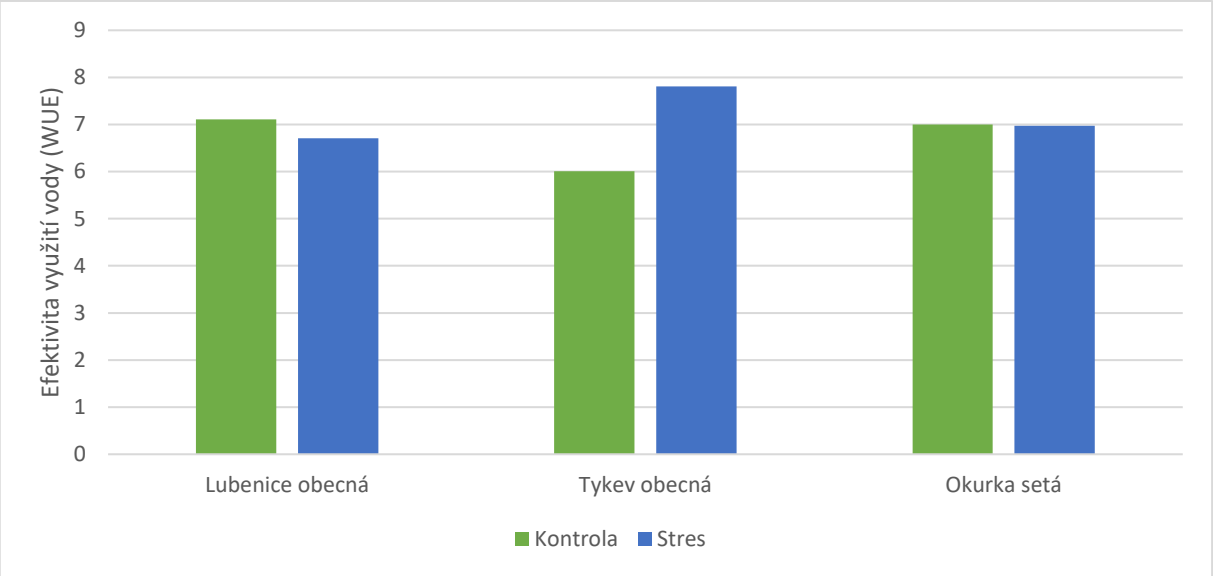


Graf 9: Změny průchodnosti CO_2 průduchy ($mol.m^{-2}.s^{-1}$) u jednotlivých druhu rostlin a variant pokusu

Ze získaných výsledků měření stomatální vodivosti dále vyplývá, viz graf 9, že nejméně citlivě na vodní deficit reagovaly rostliny tykve obecné. U tohoto druhu byl naměřen rozdíl mezi stresovanou a kontrolní variantou byl 0,01 $mol.m^{-2}.s^{-1}$, zatímco u rostlin okurky seté a lubenice obecné byl rozdíl mezi stresovanou a kontrolní variantou 0,03 $mol.m^{-2}.s^{-1}$. Výsledky prokázaly, že vyšší hodnoty průchodnosti CO_2 průduchy měly stresované rostliny všech druhů rostlin.

5.4. Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody (WUE) je poměr mezi rychlostí fotosyntézy a rychlostí transpirace. Čím je hodnota WUE vyšší, tím je podle předpokladů rostlina odolnější vůči vodnímu stresu. Reakce jednotlivých druhů rostlin je uvedena v grafu 10. U stresované varianty nejvyšší hodnoty WUE vykazovala tykev obecná 7,81 (10^{-3}). Na straně druhé byla nejnižší hodnota WUE stanovena u lubenice obecné 6,71 (10^{-3}). V případě rostlin kontrolních bylo zjištěno, že nejnižší hodnota efektivity využití vody byla u tykve obecné 6,01 (10^{-3}) a naopak nejvyšší u lubenice obecné 7,11 (10^{-3}).

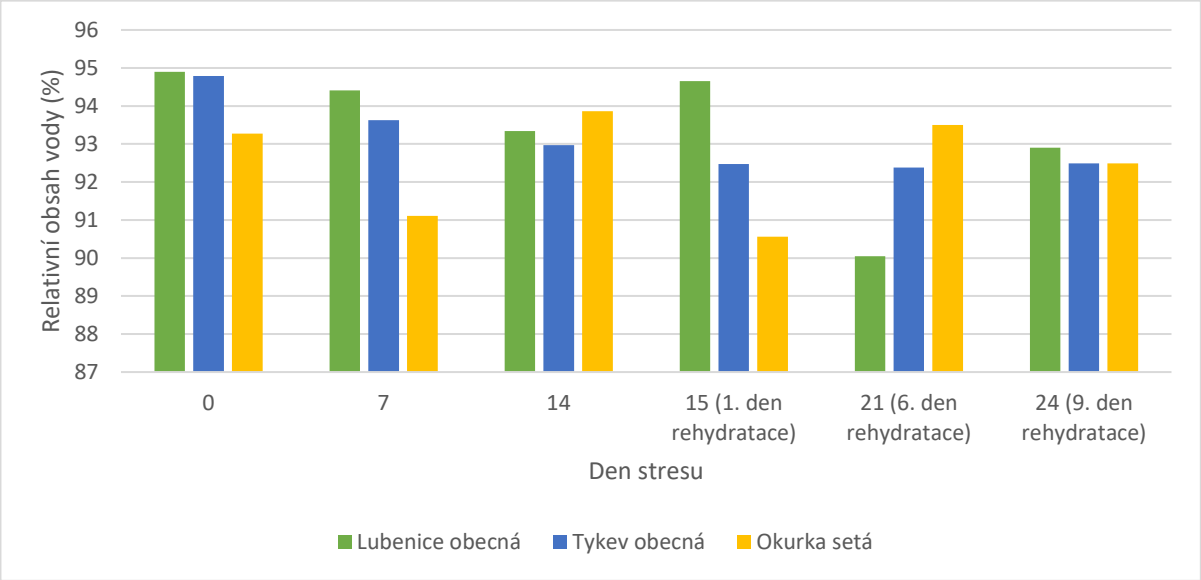


Graf 10: Porovnání efektivity využití vody (WUE) v rámci jednotlivých variant pokusu v závislosti na druhu rostliny

Z grafu 10 je dále patrné, že nejcitlivěji na tento druh stresu reaguje tykev obecná, kdy její rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou byl 1,8 (10^{-3}) ve prospěch stresovaných rostlin. Jako tolerantní se naopak jeví okurka setá. U tohoto druhu byl rozdíl mezi kontrolními a stresovanými rostlinami 0,03 (10^{-3}) ve prospěch kontrolních rostlin (7,0 (10^{-3})).

5.5. Relativní obsah vody (RWC)

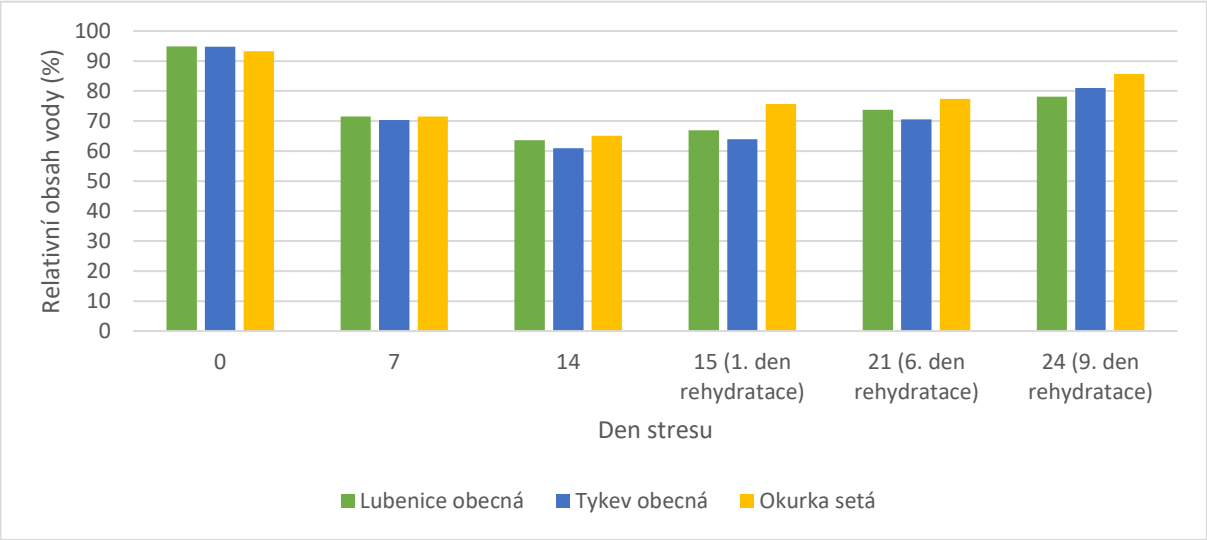
V grafu 11 jsou uvedeny hodnoty relativního obsahu vody kontrolních rostlin. Na počátku pokusu byl relativní obsah vody v rostlinách lubenice obecné 94,9 %, tykve obecné 94,8 % a okurky seté 93,27 %. U rostlin okurky seté a lubenice obecné bylo zaznamenáno výrazné snížení hodnot RWC mezi 15. a 21. dnem. V tomto termínu měření byly hodnoty RWC u lubenice obecné 94,56 %, a 90,05 % (15. a 21. den). V případě rostlin okurky seté byl hodnoty RWC v tomto období 90,56 % a 93,5 %. Tykev obecná vykazovala po celou dobu pozorování podobné hodnoty s maximálním výkyvem 1 %, konečná hodnota RWC v 24. den pozorování byla 92,49 %. Průměrný relativní obsah vody v listech pokusných kontrolních rostlin byl u lubenice obecné 93,38 %, tykve obecné 93,12 % a okurky seté 92,47 %. Z těchto výsledků je patrné, že rostliny se nachází v provozním vodním sytostním deficitu.



Graf 11: Relativní obsah vody (%) u kontrolní varianty

Hodnoty relativního obsahu vody stresované varianty jsou uvedeny v grafu 12. Z něho je patrné, že u stresovaných rostlin se relativní obsah vody snížil v období působení vodního deficitu, kdy v době před zahájením stresu byl relativní obsah vody v intervalu hodnot od 93,27 % (okurka setá) do 94,9 % (lubenice obecná). Po 14. dnech působení vodního deficitu se relativní obsah vody v listech pokusných rostlin snížil nejvýrazněji u tykve obecné (o 33,81 %), a naopak nejnižší snížení bylo u okurky seté (o 28,16 %). Po obnovení zálivky se relativní obsah vody zvýšil. Snížení relativního obsahu vody signalizuje působení vodního deficitu, neboť provozní RWC se pohybuje v rozpětí hodnot od 80 do 90 %.

Na obnovení zálivky nejlépe reagovala okurka setá, s rozdílem 10 %, neboť na konci působení vodního stresu byla hodnota relativní obsahu vody 65,11 %. Naopak tykev obecná na rehydrataci reagovala pomaleji, rozdíl 10 % nastal až mezi 6. a 9. dnem rehydratace. U tohoto druhu byl hodnota relativního obsahu vody ve výši 80,1 %. I po obnovení zálivky u stresované varianty rostliny nedosahovaly hodnot RWC kontrolních rostlin. Průměrný relativní obsah vody v listech pokusných stresovaných rostlin byl u lubenice obecné 74,8 %, tykve obecné 73,58 % a okurky seté 78,1 %.



Graf 12: Relativní obsah vody (%) u stresované varianty

6. Diskuze

Během ontogenetického vývoje rostlin z čeledi tykvovité (*Cucurbitaceae*): okurka setá (*Cucumis sativus*), lubenice obecná (*Citrullus lanatus*), tykev obecná (*Cucurbita pepo*) byl sledován vliv vodního deficitu a následné rehydratace. Při pozorování byly sledovány následující fyziologické charakteristiky: rychlost transpirace, rychlost fotosyntézy, stomatální vodivost. Sledován byl také relativní obsah vody (RWC) a tím i vodní sytostní deficit (VSD). Z hodnot transpirace a fotosyntézy byla následně vypočítána efektivita využití vody (WUE).

6.1. Rychlost transpirace

Vlivem působení vodního deficitu dochází ke zvýšení koncentrace kyseliny abscisové a tím ke snížení rychlosti transpirace a fotosyntézy (Bláha a kol., 2003). Snížení rychlosti výměny plynů vlivem vodního stresu byl potvrzen u zástupců čeledi dýňovité, kdy v průběhu působení vodního deficitu bylo zaznamenáno snížení transpirace o 36,77 % (lubenice obecná, 14. den), 41,63 % (tykev obecná, 14. den), 36,92 % (okurka setá, 15. den). Poté byla nastolena rehydratace a transpirace se opět zvyšovala. Průměrná rychlost transpirace byla u kontrolních rostlin: lubenice obecná 1,76 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, tykev obecná 2,09 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, okurka setá 1,71 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$. U rostlin stresovaných: lubenice obecná 1,82 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, tykev obecná 1,59 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$, okurka setá 1,64 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$. Zvýšení rychlosti transpirace vlivem následné rehydratace uvádí např. Wang et al. (2010) u okurky seté nebo Vomáčka a Pospíšilová (2003) u rostlin cukrové řepy.

Hnilička a kol. (2011) sledovali vliv vodního deficitu na rostlinách kukuřice seté, v jejich případě byli průměrné hodnoty transpirace kontrolních rostlin vyšší o 18,34 % než u rostlin stresovaných, což je v souladu s námi sledovanými rostlinami okurky seté a tykve obecné (nárůst o 4,09 % okurka setá, 23,92 % tykev obecná). Rozdíl v naměřených hodnotách rychlosti transpirace mezi kontrolními a stresovanými rostlinami byl dán nejenom délkou působení vodního deficitu, ale také rostlinným druhem. Kukuřice patří mezi rostliny C4, u nichž je lepší adaptace na vodní deficit ve srovnání s rostlinami C3.

Dle pokusu Downes (1970) na rostlinách čiroku a pšenice nastává pokles transpirace také v důsledku ontogenetického vývoje. Tento závěr byl částečně potvrzen u rostlin kontrolních. U těchto rostlin byl zaznamenán pokles transpirace až do 15. dne pokusu a poté se transpirace zvyšovala. Kaufman a Hall (1974) konstatují, že skleníkové podmínky jsou výhodnější pro studium rychlost transpirace (lépe ovlivnitelné) u rostlin slunečnice než polní podmínky, tuto skutečnost uvádějí také Martínková a kol. (2011) při sledování vlivu vodního deficitu a mulče

na rostlinách okurky seté. Anyia a Herzog (2004) na listech vigny čínské prokázali, že vlivem vodního deficitu dochází ke snížení biomasy, nastává tak změna rychlosti transpirace, shodný závěr uvádějí u ibiškovce jedlého i Sankar et al. (2008). Snížení transpirace uvádějí také Jaleel et al. (2008) na listech barvínku růžového. Tyto závěry byly potvrzeny také v případě zástupců čeledi dýňovité.

6.2. Rychlost fotosyntézy

Pokles rychlosti fotosyntézy se projeví již při malém, či krátkodobém působení vodního deficitu (Kaiser, 1987). Tento závěr byl potvrzen také u vybraných zástupců plodové zeleniny, neboť vodní stres byl navozen po dobu 14. dnů.

Flexas a Medrano (2002) konstatují, že srovnání výsledků je obtížné z důvodu mezidruhových rozdílů. Vybrané druhy rostlin pod vlivem vodního deficitu prokázaly pokles rychlosti fotosyntézy již při druhém měření (7. den). Tento pokles pokračoval až do 15. dne. Ze získaných výsledků vyplývá mezidruhový rozdíl, neboť na vodní deficit citlivěji reagovaly rostliny okurky seté, kdežto rostliny tykve obecné se jeví jako tolerantnější vůči nedostatku vody. Na rychlost fotosyntézy pod vlivem vodního deficitu nejlépe reagovaly rostliny tykve obecné s rozdílem průměrných hodnot mezi kontrolní a stresovanou variantou 0,18 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Nejhůře na vodní deficit reagovaly rostliny okurky seté, rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou byl 0,55 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$.

Po uplynutí 14. dnů vodního deficitu byla u stresovaných rostlin nastolena rehydratace. Po rehydrataci se rychlost fotosyntézy zvyšovala, ale nedosáhla hodnot kontrolních rostlin. Nejvyšší pokles rychlosti fotosyntézy mezi stresovanými rostlinami měla 14. den okurka setá 11,23 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ s rozdílem 0,5 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ od prvního dne měření, vyšší pokles fotosyntézy potvrzují u okurky seté také Martinková a kol. (2011). Oproti tomu tykev obecná na vodní deficit reagovala nejlépe ze sledovaných druhů, rozdíl mezi měřeními činil 0,21 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Uvedený výsledek je v souladu s prací Bota et al. (2004), uvádějící postupné snižování rychlosti fotosyntézy u rostlin řešetláku, tabáku, vinné révy a fazole.

Pokles fotosyntézy pod vlivem vodního deficitu, ve své práci také potvrzují Hnilička a kol. (2011) u rostlin kukuřice seté, kdy průměrná rychlost fotosyntézy u kontrolní varanty byla naměřena 9,27 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ a u stresované varianty 7,47 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ u tohoto pokusu byl rozdíl mezi pozorovanými variantami 1,8 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Výrazné snížení rychlosti fotosyntézy konstatují i Stępień a Kłbus (2006) při vystavení stresu zasolením u rostlin okurky seté a Rouphael et al. (2012) u rostlin lubenice obecné a okurky seté. Z naměřených výsledků

rychlosti fotosyntézy vyplývá, že kontrolní rostliny měly vyšší průměrnou rychlost fotosyntézy než rostliny stresované. Uvedený závěr je tedy shodný s tvrzením Kaiser (1987).

6.3. Stomatální vodivost

U kontrolní varianty rostlin byly hodnoty g_s od 0,016 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ (21. den, tykev obecná) do 0,125 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ (0. den, lubenice obecná). Při působení vodního deficitu se hodnoty g_s pohybovaly od 0,019 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ (15. den, lubenice obecná) do 0,189 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ (21. den, okurka setá). Z výsledků vyplynulo, že rostliny tykve obecné nejlépe reagovaly s rozdílem průměrných hodnot 0,01 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ ve prospěch stresovaných rostlin. Okurka setá a lubenice obecná měly stejný rozdíl hodnot mezi kontrolní a stresovanou variantou, a to 0,03 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ ve prospěch stresovaných rostlin. Zhang et al. (2011) ve svém výzkumu na rostlinách lubenice obecné poukazují na snížení průchodnosti CO_2 průduchy během působení vodního deficitu. Stejně tomu tak bylo i v případě rajčete, kterým se zabývali Silva et al. (2012).

Z uvedeného vyplývá, že tento závěr nebyl u stresovaných rostlin potvrzen. Rozdílný závěr může být způsoben řadou faktorů, neboť např. podle Maroco et al. (1997) dochází k uzavírání průduchů také v případě nižší vlhkosti vzduchu. Vzhledem k tomu, že rostliny byly pěstovány ve skleníkových podmínkách, tak nízká relativní vlhkost vzduchu nenastala. Daumour et al. (2010) ve své studii uvádějí, že stomatální vodivost ovlivňuje míra čisté asimilace CO_2, která je závislá na vlhkosti vzduchu, teplotě, intenzitě světla a biochemických vlastnostech rostlin. Dále také koncentrace CO_2 v mezibuněčných prostorech. Dále se může jednat o vlivy související se s cirkadiálním rytmem, jak uvádí např. Chaves et al. (2002). Podle Manzoni et al. (2011) je problematika vodivosti průduchů a její ovlivnění vnitřními a vnějšími podněty velmi složité a problematické.

6.4. Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody (WUE) je rozdíl mezi rychlostí fotosyntézy a rychlostí transpirace, dá se tedy předpokládat, že čím je hodnota WUE vyšší, tím je vyšší pravděpodobnost odolnosti rostlin vůči vodnímu stresu (Šantrůček, 2010). Nejvyšší hodnoty WUE u kontrolních rostlin měla lubenice obecná 7,11 (10^{-3}) a rozdíl mezi kontrolní stresovanou variantou byl 0,4 (10^{-3}) ve prospěch kontrolních rostlin. Vliv vodního deficitu na hodnoty WUE uvádí např. Gao et al. (2006) a Sun et al. (2006). Podle těchto autorů dochází vlivem vodního deficitu ke zvýšení efektivity využití vody.

Nejnižší hodnoty WUE měla tykev obecná (6,01 (10^{-3})), avšak rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou byl 1,8 (10^{-3}) ve prospěch stresovaných rostlin, které měly hodnotu WUE

7,81 (10^{-3}). Nejnižší rozdíl mezi variantami měla okurka setá 0,03 (10^{-3}). Na základě tohoto výsledku se okurka jeví jako tolerantnější vůči tomuto druhu stresu. Mezidruhové rozdíly v hodnotách efektivity využití vody ve své práci potvrzují Klein et al. (2013) na listech borovice halepské a dubu palestinského.

Touto problematikou se ve své práci zabýval Zhang et al. (2004) na rostlinách pšenice seté a kukuřice seté, kdy v obou případech bylo snížení hodnoty WUE minimální. Sun et al. (2006) na listech pšenice seté uvádí vlivem vodního deficitu navýšení efektivity využití vody. Navýšení WUE se potvrdilo u tykve obecné. Gao et al. (2006) zkoumali vliv aplikace křemíku (Si) a vodního deficitu na rostliny kukuřice seté, výzkum prokázal, že při aplikaci křemíku a působení vodního deficitu, dochází ke snížení transpirace a tím je hodnota WUE vyšší. Stresovaná varianta měla až o 35 % vyšší hodnoty, u varianty pouze s působením Si byli hodnoty WUE o 20 % vyšší než u varianty kontrolní. Při působení vodního deficitu byly hodnoty WUE nižší než u kontrolních variant lubenice obecná o 5,62 %, okurka setá 0,42 %. U okurky seté se potvrdil stejný závěr, jako uvádí Zhang et al. (2004). Tito autoři ve své práci konstatují, že snížení hodnot WUE je minimální. Vyšší hodnoty WUE prokazovala u stresované varianty tykev obecná o 29,95 %, tím se potvrdila možnost zvýšení efektivity využití vody, jak ve své práci uvádějí Gao et al. (2006), ale bez vlivu Si.

6.5. Relativní obsah vody (RWC)

Vlivem vodního deficitu a délky jeho působení dochází ke snižování relativního obsahu vody v rostlinách. Pokles RWC během působení stresu konstatují Stępień a Kłbus (2006) u rostlin okurky seté. Rostliny z kontrolních podmínek vykazovaly hodnoty RWC v rozmezí od 90,05 % (21. den, lubenice obecná) do 94,9 % (0. den, lubenice obecná). Během působení čtrnácti denního vodního deficitu měly rostliny tykve obecné nejvyšší pokles hodnot, a to s rozdílem 33,81 % od prvního dne měření a to z 94,79 % na 60,98 %. O den později byla nastolena u stresovaných rostlin rehydratace, která vedla k navýšení relativního obsahu vody. Snížení relativního obsahu vody (zvýšení VSD) v důsledku navození vodního deficitu uvádí Tale a Haddad (2011) u rostlin pšenice seté. Z jejich výsledků je patrné, že rostliny kontrolní varianty v průběhu pokusu neprokázaly pokles hodnot RWC, zatímco stresované rostliny snížily RWC až na 44,37 %. Pozitivní vliv rehydratace na relativní obsah vody vyplývá z práce Akinci a Losel (2010) u dvou kultivarů okurky seté.

Nejlépe na rehydrataci 15. den reagovala okurka setá s rozdílem 9,5 % od předchozího měření (65,11%). Po ukončení pokusu stresované rostliny však nedosáhly stejných hodnot, které byly naměřeny u kontrolní varianty. Relativní obsah vody stoupal na konci pokusu v následujícím

pořadí: tykev obecná (73,58 %), lubenice obecná (74,8 %), okurka setá (78,1 %). Snížení RWC pod vlivem vodního deficitu, je v souladu s pracemi Akinci a Losel (2010), Stępień a Kłbus (2006), Tale a Haddad (2011). Ze získaných výsledků je dále patrná odlišná reakce sledovaných druhů zelenin na vodní deficit a následnou rehydrataci. Mezidruhový rozdíl potvrzují Bota et al. (2004) na rostlinách tabáku, řešetláku, vinné révy a fazole. Výrazné snížení RWC autoři zaznamenali u řešetláku, oproti tomu rostliny tabáku a fazole reagovaly na vodní deficit a snížení RWC lépe.

7. Závěr

Cílem této práce bylo sledování krátkodobého vodního deficitu a rehydratace u rostlin čeledi *Cucurbitaceae*. Jeho vliv na rychlost výměny plynů, efektivitu využití vody a tím i vodního sytostního deficitu. Z výsledků byli určeny následující závěry:

- Vodní deficit způsobil snížení rychlosti fotosyntézy u všech sledovaných druhů, následnou rehydratací se rychlost fotosyntézy zvýšila, avšak rostliny nedosáhly stejných hodnot jako kontrolní varianta.
- Nejcitlivěji na vodní deficit reagovala okurka setá, kdy rozdíl v rychlosti fotosyntézy mezi variantami byl 0,55 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. Oproti tomu tykev obecná se vůči vodnímu stresu jeví tolerantnější, neboť u ní byl rozdíl mezi variantami 0,17 μmol $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$.
- Pokles transpirace vlivem vodního deficitu byl zaznamenán u všech sledovaných druhů.
- Okurka setá se v případě rychlosti transpirace jevila jako tolerantní (rozdíl variant 0,07 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$) a tykev obecná jako citlivější (rozdíl 0,5 mmol $H_2O.m^{-2}.s^{-1}$).
- Stresované rostliny měly vyšší stomatální vodivost než kontrolní rostliny.
- Nejvyšší stomatální vodivost u rostlin vystavených vodnímu deficitu, měly rostliny lubenice obecné 0,081 $mol.m^{-2}.s^{-1}$ a nejnižší tykve obecné 0,06 $mol.m^{-2}.s^{-1}$.
- Stresovaná varianta (7,81 (10^{-3})) tykve obecné, měla vyšší hodnotu WUE než varianta kontrolní (6,01 (10^{-3})).
- U kontrolních rostlin okurky seté a lubenice obecné byla efektivita využití vody vyšší (7 (10^{-3}); 7,11 (10^{-3}) v daném pořadí) a u stresovaných rostlin nižší (6,97 (10^{-3}); 6,71 (10^{-3}) v daném pořadí).
- Po obnovení zálivky se u všech druhů zvýšil relativní obsah vody.
- Nejlépe na rehydrataci reagovaly rostliny okurky seté s nárůstem RWC o 10 % při dalším měření, nejpomaleji na rehydrataci reagovaly rostliny tykve obecné, nárůst 10 % po obnovení zálivky nastal až mezi 6. až 9. dnem.
- Rostliny vystavené vodnímu deficitu nedosáhly na konci pokusu stejných hodnot RWC jako zavlažované rostliny.
- Měření prokázalo u stresovaných rostlin snížení rychlosti fotosyntézy, relativního obsahu vody, čímž byla potvrzena navrhovaná hypotéza.

- Byly prokázány mezidruhové rozdíly ve fyziologické reakci na vodní stres. Ze sledovaných druhů rostlin se jako tolerantní vůči vodnímu stresu a následné rehydrataci jeví okurka setá, a naopak jako citlivá tykev obecná.
- Uvedené metody lze využít jako ukazatel odolnosti/citlivosti rostlin k vodnímu stresu.

8. Seznam použité literatury

Akinci, S., Losel, D. M. 2010. The effects of water stress and recovery periods on soluble sugars and starch content in cucumber cultivars. Fresenius Environmental Bulletin, 19 (2), 164-171.

Anyia, A. O., Herzog, H. 2004. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. European Journal of Agronomy, 20(4), 327-339.

Bartoš, J., Kopec, K., Mydlil, V., Peza, Z., Rod, J., 2000. Pěstování a odbyt zeleniny. Praha: Agrospoj. Semafor. ISBN: 80-239-4242-5.

Biggs, M., 1997. Zelenina: velká kniha zeleninových druhů. Praha: Volvox Globator. ISBN: 80-720-7053-3.

Bláha, L. 2003. Rostlina a stres. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 80-8655532-1.

Bláha, L., Bojanská, K, Čegan, R., Dotlačil, L., Faltus, M., Ferus, P., Gubiš, J., Haberle, J., Hniličková, H., Hnilička, F., Hobza, R., Holubec, V., Jadrná, P., Janků, L´., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnarová, V., Kráľová K., Maršík, P., Martinková, J., Masár, Š., Masarovičová, E., Nevrtalová, Pastirčák, M., Pazderů, K., Peško, M., Prášil, I. T., Prášilová, P., Raimanová, I., Straka, J., Straková, M., Šantrůček, J., Škodáček, Z., Trčková, M., Užík, M., Vaněk, T., Vejl, P., Vítámvás, P., Vyskot, B., Vyvadilová, M., Zámečník, J., Zelenková, S., Žofájová, A., Živčák, M., 2010. Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly). Praha. Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN: 978-80-7427-023-9

Bláha, L., Burketová, L., Dotlačil, L., Faberová, I., Ferus, P., Gogoláková, A., Holubec, V., Jánská, A., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnarová, V., Kráľová, K., Májeková, M., Masarovičová, E., Matušíková, I., Ovesná, J., Pišelová, B., Prášil, I. T., Stehno, Z., Šerá, B., Škodáček, Z., Štrba, P., Užík, M., Vrchotová, N., Věchet, L., Vítámvás, P., Vlasáková, E., Vykoukalová, I., Žofajová, A. 2011. Aktuální kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu. Praha. ISBN: 978-80-213-2159-5

Bláha, L., Hnilička, F., Martinková, J., Matoušek, J., Matějovič, M., Věchet, L., Vozábová, T., Jírovec, P., Wachtl, J. 2011. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i Praha-Ruzyně ISBN: 978-80-7427-068-0

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research, 56(11), 1159-1168.

Bota, J., Medrano, H., Flexas, J. 2004. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress?. New phytologist, 162(3), 671-681.

Brestič M., Olšovská K. 2001. Vodný stres rastlín, príčiny, dôsledky, perspektívy. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, pp.149. ISBN 80-7137-902-6

Čimo J., Igaz D., Bárek V.: Hodnotenie sucha na základe agroklimatických a pôdnych faktorov. In: Rožňovský J., Litschmann T. (ed.): Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině. 2008. pp. 51-59. ISBN 978-80-86690-55-1

Damour, G., Simonneau, T., Cochard, H., Urban, L. 2010. An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. Plant, Cell & Environment, 33(9), 1419-1438.

Downes, R. W. 1970. Effect of Light Intensity and Leaf Temperature on Photosynthesis and Transpiration in Wheat and Sorghum. Australian Journal of Biological Sciences. 23 (4). p. 775-782.

Flexas, J., Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. Annals of botany, 89(2), 183-189.

Gao, X., Zou, C., Wang, L., Zhang, F. 2005. Silicon improves water use efficiency in maize plants. Journal of plant nutrition, 27(8), 1457-1470.

Gloser, J., Prášil, I. 1998. Fyziologie stresu. Academia Praha, 412-430.

Grzesiak, M. T., Rzepka, A., Hura, T., Hura, K., Skoczowski, A. 2007. Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. Photosynthetica, 45(2), 280-287.

Harry. S. 2015. Origin and emergence of the sweet dessert watermelon, Citrullus lanatus. Annals of botany, Paris 116(2), 133-148.

Hejný, S., Slavík, B. (eds.). 2003. Květena České republiky. 2. vyd. Praha: Academia. ISBN: 80-200-1089-0.

Hlava, B., Burešová, M., 1980. Zelinářství a ovocnářství I. (Zelinářství). MON-VŠZ v Praze

Hlava, B., Táborský, V., Valíček, P. 1998. Tropické a subtropické zeleniny: pěstování a využití. 1. vyd. Praha: Brázda. 146 s. ISBN 80-209-0274-0.

Hnilička, F., Hniličková, H. 2012. Vodní režim polních plodin. Úroda, 60 (8), 36-37.

Hnilička, F., Hniličková, H., Holková., L., Holubec, V., Chuchma, F., Khel, T., Klimešová, J., Kosová, K., Krtková, J., Kukla, J., Kuklová, M., Prášil, I. T., Rožnovský, J., Středa, T.,

Středová, H., Urban, M. O., Vintrlíková, E., Vítámvás, P., Vopravil, J.2016. Rostliny v podmínkách stresu abiotické stresory. Praha. ISBN: 978-80-213-2680-4

Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. Annals of botany, 89(7), 907-916.

Ismail, A. M., Hall, A. E. 1999. Reproductive-stage heat tolerance, leaf membrane thermostability and plant morphology in cowpea. Crop Science, 39(6), 1762-1768.

Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M., Panneerselvam, R. 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of Catharanthus roseus under drought stress. Comptes Rendus Biologies, 331(1), 42-47.

Kaiser, W. M. 1987. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. Physiologia plantarum, 71(1), 142-149.

Kaufmann, M. R., Hall, A. E. 1974. Plant water balance—its relationship to atmospheric and edaphic conditions. Agricultural Meteorology, 14(1-2), 85-98.

Kirda, C. 2002. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Deficit Irrigation Practices, Water Reports, 22: 102.

Klein, T., Shpringer, I., Fikler, B., Elbaz, G., Cohen, S., Yakir, D. (2013). Relationships between stomatal regulation, water-use, and water-use efficiency of two coexisting key Mediterranean tree species. Forest Ecology and Management, 302, 34-42.

Kučera, J., Janýška., A. 1985. Nové možnosti v pěstování vodních melounů. Výzkumný šlechtitelský ústav zelinářský v Olomouci.

Larcher, W. 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia. Praha. p. 368

Larcher, W. 1995. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin, 340-353.

Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer Science and Business Media.

Lebeda, A., Křístková, E. 1993. Genetická variabilita rodu Cucumis a její využití ve šlechtění, součástí Genetika a šlechtění. Genetics and plant breeding. Institute of Agricultural and Food Information. Genetika a šlechtění roč. 29, č. 1, s. 59-66 29:1 Praha

Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. Academic Press

Lichtenthaler, H. K. 1998. The stress concept in plants: an introduction. Annals of the New York Academy of Sciences, 851(1), 187-198.

Loomis, R. S. 1983. Crop manipulations for efficient use of water: an overview. Limitations to efficient water use in crop production, limitationstoef: 345-374.

MacDonald, M. T., Lada, R. R., Robinson, A. R., Hoyle, J. 2009. Seed preconditioning with natural and synthetic antioxidants induces drought tolerance in tomato seedlings. HortScience, 44(5), 1323-1329.

Macháček, F. 1945. Racionální zelinářství-pěstování jednotlivých druhů zeleninových. Nakladatelství Ferdinand Macháček Praha

Manzoni, S., Vico, G., Katul, G., Fay, P. A., Polley, W., Palmroth, S., Porporato, A. 2011. Optimizing stomatal conductance for maximum carbon gain under water stress: a meta-analysis across plant functional types and climates. Functional Ecology, 25(3), 456-467.

Novák, V., Havrila, J. 2006. Method to estimate the critical soil water content of limited availability for plants. Biologia, 61(19), S289-S293.

Pandey, A., Chakraborty, S., Datta, A., Chakraborty, N. 2008. Proteomics approach to identify dehydration responsive nuclear proteins from chickpea (Cicer arietinum L.). Molecular a cellular proteomics, 7(1), 88-107.

Pekárková, E. 2001. Pěstujeme rajčata, papriky a další plodové zeleniny. Grada Publishing, spol. S. r. o. 72 s. ISBN: 80-247-0170-7.

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

Petříková, K., Malý, I. 1998. Základy pěstování plodové zeleniny. Institut výchovy a vzdělání MZe ČR. Praha ISBN 80-7105-165-9

Petříková, K., Pokluda, R., Koudela. M., Hnilička, F., Jezdniský, A., Jurica, M., Vojtíšková. J., Kopta, T., Martinková, J., Nedorost, J. 2012.Omezení negativních důsledků vláhového deficitu na hospodářské ukazatele zeleniny. Editační středisko Mendelovy university v Brně. p. 50. ISBN: 9788021323346

Premachandra, G. S., Hahn, D. T., Axtell, J. D., Joly, R. J. 1994. Epicuticular wax load and water-use efficiency in bloomless and sparse-bloom mutants of Sorghum bicolor L. Environmental and Experimental Botany, 34(3), 293-301.

Richards, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant growth regulation, 20(2), 157-166.

Robinson, R.W., Decker-Walters, D. S. 1997. Cucurbits. Wallingford: CABI Publishing. ISBN 0-85199-133-5

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Colla, G. 2012. Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrid rootstocks. Photosynthetica, 50 (2), 180-188

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. 2008. Relative efficacy of water use in five varieties of Abelmoschus esculentus (L.) Moench. under water-limited conditions. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 62(1), 125-129.

Sekhon, H. S., Singh, G., Sharma, P., Bains, T. S. 2010. Water use efficiency under stress environments. In Climate change and management of cool season grain legume crops (pp. 207-227). Springer Netherlands.

Selye, H., Chorvát, J., Illeková, E., Kondáš, O., Jurčo, M. 1966. Život a stres. Obzor.

Schaffer, A. A., Paris, H. S. 2015. Melons, squashes, and gourds.

Schulze, E. D., Beck, E., & Müller-Hohenstein, K. 2002. Pflanzenökologie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Silva, O. N., Lobato, A. K. S., Avila, F. W., Costa, R. C. L., Oliveira Neto, C. F., Santos Filho, B. G., Cardoso, M. S. 2012. Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. Plant Soil Environ, 58, 481-486.

Stein, S. 1995. Gemüse. BLV Verlagsgesell-schaft, München. ISBN 80-07-01074-2

Stępień, P., Kłbus, G. 2006. Water relations and photosynthesis in Cucumis sativus L. leaves under salt stress. Biologia Plantarum, 50(4), 610.

Sun, H. Y., Liu, C. M., Zhang, X. Y., Shen, Y. J., Zhang, Y. Q. 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. Agricultural water management, 85(1-2), 211-218.

Tale, A., Haddad, R. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 47(1), 17-27.

Tardieu, F. 2013. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. Frontiers in physiology, 4, 17.

Vomáčka, L., Pospíšilová, J. 2003. Rehydration of sugar beet plants after water stress: effect of cytokinins. Biologia plantarum, 46(1), 57-62.

Wang, S., Sui, X., Hu, L., Sun, J., Wei, Y., & Zhang, Z. 2010. Effects of exogenous abscisic acid pre-treatment of cucumber (Cucumis sativus) seeds on seedling growth and water-stress tolerance. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 38(1), 7-18.

Welman, M. 2011. Citrullus lanatus (Thunb.) Matsum. & Nakai (Cucurbitaceae).

Zhang, H. X., Chi, D. C., Qun, W., Jun, F. A. N. G., Fang, X. Y. 2011. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under subsurface drip irrigation in solar greenhouse. Agricultural Sciences in China, 10 (6), 921-930.

Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., & Hongyong, S. 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. Agricultural Water Management, 64(2), 107-122.

Zitter, T. A.; Hopkins, D. L.; Thomas, C. E. 1996. Compendium of cucurbit diseases. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn. (EUA)

8.1. Seznam internetových zdrojů

Charakteristika lubenice obecné [online]. 2011. [cit. 2018-02-15]
Dostupné z: <http://pza.sanbi.org/citrullus-lanatus>

Charakteristika lubenice obecné ´Lajko II F1´ [online]. [cit. 2018-01-20]
Dostupné z: <https://www.semo.cz/osivo-semena/hobby/zelenina/meloun-vodni/>

Charakteristika okurky seté ´Ramzes´ [online]. [cit. 2018-01-20]
Dostupné z: <https://www.semo.cz/osivo-semena/hobby/zelenina/okurka-seta>

Charakteristika tykve obecné [online]. [cit. 2018-01-20]
Dostupné z: <https://www.semo.cz/osivo-semena/hobby/zelenina/tykev/>

Kortanová, E. Výnos okurky seté [online]., 2007 [cit. 2018-03-07].
Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/jak_vypada_letosni_okurkova_sezona>

Obrázky plodin [online]. Dostupné z: <www.pinterest.co.uk>

Popis LCpro+ [online]. 2014. [cit. 2018-01-20].
Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/lcpro-sd-gazomericky-pristroj-pro-mereni-prubehu-fotosyntezy>

Staňková, H. Dýně – zelenina mnoha tváří [online]., [cit. 2018-03-07].
Dostupné z: <http://www.rozhlas.cz/leonardo/priroda/_zprava/389738>

Výnos a spotřeba lubenice obecné [online]. 2011. [cit. 2018-04-01].
Dostupné z: <https://www.czso.cz>

Výnos lubenice obecné [online]. 2014. [cit. 2018-04-01].
Dostupné z: <http://www.helgilibrary.com/indicators/watermelons-yield>

Výnos okurky seté [online]. 2014. [cit. 2018-04-01].
Dostupné z: <http://www.helgilibrary.com/indicators/cucumbers-and-gherkins-yield>

Výnos tykve obecné [online]. 2014. [cit. 2018-04-01].
Dostupné z: <http://www.helgilibrary.com/sectors/agriculture/crops/pumpkins-squash-and-gourds>

Zahradní substrát [online]. 2015. [cit. 2018-01-20].
Dostupné z: <http://www.agrocs.cz/zahradni-divize/produkty-a-sluzby>