

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv vodního stresu na rychlost fotosyntézy a transpirace
mladých rostlin chmele (*Humulus lupulus L.*)**

Bakalářská práce

Autor práce: Romana Bláhová

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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Vliv vodního stresu na rychlost fotosyntézy a transpirace mladých rostlin chmele (*Humulus lupulus L.*) " 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 12. 4. 2013 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Heleně Hniličkové, Ph.D. za odborné konzultace při vedení mé bakalářské práce a za pozornost a trpělivost při zpracování.

Vliv vodního stresu na rychlost fotosyntézy a transpirace mladých rostlin chmele (*Humulus lupulus L.*)

The effect of water stress on the rate of photosynthesis and transpiration in juvenile hop plants (*Humulus lupulus L.*)

Souhrn

Bakalářská práce byla vypracována na téma „Vliv vodního stresu na rychlost fotosyntézy a transpirace mladých rostlin chmele (*Humulus Lupulus L.*)“. Chmel otáčivý je vytrvalá, dvoudomá, pravotočivá bylina. V České republice se pěstování chmele rozděluje do 3 hlavních chmelařských oblastí a to na Žatecko, Ústěcko a Tršicko. Optimální pro pěstování je půda hlinitá až jílovitohlinitá, nebo také červenka permského původu, která je typická pro Žatecko. Chmel dobře odolává vymrznutí, avšak je velmi citlivý na vodní deficit. Důležitým faktorem pro dobré hlávkování a následnou pivovarnickou hodnotu je dostatek slunečního záření v období od května do června, kdy je fotosyntéza nejvyšší.

Pokus byl zaměřen na vodní stres, který působí na změny ve fotosyntéze, transpiraci a půdní vlhkosti. Samotný pokus se zakládal ve sklenících ČZU na jaře od 21. 5 – 8. 6. 2012 u odrůdy Bohemie. Byla založena kontrolní varianta, která měla pravidelnou zálivku a stresovaná varianta zcela bez zálivky. K měření bylo použito dvou přístrojů a to LC pro + k měření fotosyntézy a transpirace a přístroj Theta Probe pro zjištění půdní vlhkosti.

Nejvyšší intenzita fotosyntézy byla u kontrolní a stresované varianty naměřena v prvním dni působení vodního stresu. Rozdíl mezi fotosyntézou kontrolní a stresované varianty byl o pouhých $0,07 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tento pokles procentuálně vyjadřoval u stresované varianty 99,3 % oproti kontrolní variantě (100 %). Nejnižší intenzita fotosyntézy u stresované varianty byla 17. den působení vodního stresu a činila $0,99 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, v porovnání s kontrolní variantou byla nižší o $5,3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Procentuálně tento pokles u stresované varianty představoval 15,7 % vzhledem ke kontrolní variantě (100 %).

Intenzita transpirace byla nejvyšší v prvním dni působení vodního stresu, jak u kontrolní tak stresované varianty. Nejnižší intenzita transpirace u stresované varianty byla naměřena 6. 6. 2012 (17. den působení vodního stresu) a dosahovala pouhých 36,4 % oproti kontrolní variantě (100 %), která byla o $0,70 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ vyšší.

Půdní vlhkost, která se převedla pomocí kalibračního grafu na hmotnostní vlhkost zeminy, měla největší hodnoty v prvním dni působení vodního stresu a poté u stresované

varianty klesala. Nejnižší hmotností vlhkost zeminy u stresované varianty byla v posledním dni působení vodního stresu a činila $0,09 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$, což oproti kontrolní variantě (100 %) představovalo 24,3 %.

Klíčová slova: *Humulus lupulus L.*, vegetační faktory, vodní stres, fotosyntéza, transpirace

Summary

The topic of the bachelor's thesis is „The effect of water stress on the rate of photosynthesis and transpiration in juvenile hop plants (*Humulus lupulus L.*)“. *Humulus Lupulus L.* is perennial, dioecious, dextrorotary herb. There is three main parts of the cultivation of *Humulus lupulus L.* in the Czech Republic: region Žatecko, region Ústěcko and region Tršicko. The optimal cultivation needs loam, clay - loam soil or „červenka“ of Permian which is typical for region Žatecko. *Humulus lupulus L.* good resists to the freezing, but is very sensible on the water deficit. The important factor for the good hop cone formation and the consecutive brewer's value is the enough of sunshine in the period from May to June, when the photosynthesis is the highest.

The experiment was focused on the water stress, which has an effect to changes of the photosynthesis, the transpiration and the soil humidity. The experiment was accomplished in the spring from 21st of May to 8th of June 2012 by the species Bohemia. There were two types of specimens. One of them was for control which had a regular watering and the second of them was out of water completely. The measurement was provided by two apparatuses: LC pro + for the measurement of the photosynthesis and Theta Probe for the detection of the soil humidity.

The highest intensity of the photosynthesis was measured for the controlled and the stressed variant in the first day of the effect of the water stress. The difference between the average intensities was only $0,07 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. This decrease should be expressed in the percents: stressed variant – 99,3 % to controlled variant (100 %). The lowest intensity of the stressed variant was the 17th day of the effect of the water stress, amounted $0,99 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. In the comparison, the controlled variant was lower of $5,3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. In percents, stressed variant – 15,7 % to controlled variant (100 %). The controlled variant was higher of $0,7 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

The highest intensity of the transpiration of cotrolled and stressed variant was in the first day of the effect of the water stress. The lowest intensity of the transpiration of stressed variant amounted 36,4 % at the 6th of June 2012 (the 17th day) againts controlled variant (100 %), which was higher of $0,70 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

The soil humidity, which was subsequently transferred with help of the calibration graph to the weight humidity substrate, amounted the highest values in the first day of the effect of water stress and thereafter it decreased with the stressed variant. The lowest weight

humidity substrate of the stressed variant came to $0,09 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ the last day of the effect of water stress. In percents, stressed variant – 24,3 % to controlled variant (100 %).

Keywords: *Humulus lupulus L.*, vegetation factors, water stress, photosynthesis, transpiration

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Hypotézy	3
4. Literární přehled	4
1.1 Chmel otáčivý (<i>Humulus lupulus L.</i>)	4
1.1.1 Lodyhy	4
1.1.2 Listy	4
1.1.3 Květenství.....	5
1.1.4 Chmelová hlávka	5
1.2 Historie chmele	5
1.3 Chmelové oblasti	7
1.3.1 Žatecká oblast	7
1.3.2 Úštěcká oblast.....	7
1.3.3 Tršická oblast	8
1.4 Vegetační faktory	8
1.4.1 Světlo	8
1.4.2 Voda	9
1.4.3 Teplota	10
1.4.4 Vzduch.....	10
1.4.5 Půda	11
1.4.6 Živiny	11
1.5 Význam fyziologie stresu pro rostliny	11
1.5.1 Studium stresu	12
1.5.2 Vodní stres	12
1.5.3 Příčiny vodního stresu.....	13
1.5.4 Adaptace	14
1.6 Fotosyntéza	14
1.6.1 Záření	14
1.6.2 Fotochemický proces	15
1.6.3 Sluneční záření.....	15
1.6.4 Fotosyntetické struktury.....	15
1.6.5 Fotosyntetické pigmenty	16
1.6.6 Fotorespirace	17
1.6.7 Fotofosforylace	17

1.6.8	Temnostní fáze.....	17
1.7	Transpirace	17
1.8	Transport vody u chmele	18
1.9	Vodní bilance	19
5.	Metodika	21
1.9.1	Bohemie	21
1.9.2	Metoda pokusu	22
1.9.3	Metodika měření	23
6.	Výsledky	25
7.	Diskuze	32
8.	Závěr	34
10.	Použitá literatura	35

1. Úvod

Chmel (*Humulus lupulus L.*) patří do čeledi konopovité (*Cannabaceae*). *Humulus lupulus L.* je vytrvalá, dvoudomá, pravotočivá bylina, která se vyznačuje mohutným svislým oddenkem a silnou, pevnou lodyhou. Chmel je velmi citlivý na vodní deficit. Pro dobrý růst a vývoj potřebuje dostatek vláhy a to obzvláště v období hlávkování. Kvalitu hlávek sledujeme dle různých kritérií jako například dobrá vzrostlost, velikost, správnost česání a zdraví hlávek. Důležitým faktorem je rovněž obsah lupulinu a alfa hořkých kyselin.

Chmel se pěstuje ve třech hlavních chmelařských oblastech, a to na Žatecku, Ústěcku a Tršicku. Žatecká chmelařská oblast je největší a její plocha činí cca 4 600 ha, je typická nízkým úhrnem srážek, jelikož se nachází v tak zvaném dešťovém stínu Krušných a Doupovských hor. Problém s nízkým úhrnem srážek se dá vyřešit použitím vhodného závlahového systému. Slavík (2000) udává za perspektivní závlahový systém mikropostřik a kapkovovou závlahu. Oba systémy zajistily stabilizaci výnosu hlávek.

Vodní deficit je největším limitujícím stresorem, který působí na změny metabolických procesů a to obzvláště na poruchy růstu u rostlin. Cílem této práce bylo sledovat, jak rostliny chmele odrůdy Bohemie reagují na vodní stres fyziologickými změnami v intenzitě fotosyntézy, transpirace a půdní vlhkosti.

2. Cíle práce

Chmel (*Humulus lupulus L.*) je rostlina náročná na dostatečné množství srážek během vegetačního období. Vodní deficit vyvolá stresovou odezvu, která se projevuje poruchami v růstu a změnami v průběhu fyziologických procesů, jako je fotosyntéza a transpirace. Cílem této práce bylo sledovat, jak mladé rostliny chmele odrůdy Bohemie reagují na postupně vznikající vodní stres změnami v intenzitě fotosyntézy a transpirace.

3. Hypotézy

Předpokládá se že:

- u stresované varianty dojde ke snížení intenzity fotosyntézy
- u stresované varianty se sníží intenzita transpirace
- bude nalezena závislost intenzity fotosyntézy a transpirace na obsahu vody v půdě vyjádřené hmotnostní vlhkostí

4. Literární přehled

1.1 Chmel otáčivý (*Humulus lupulus L.*)

Chmel řadíme do čeledi konopovitých (*Cannabaceae*). Jedná se o vytrvalou, dvoudomou bylinu nebo také liánu, která je pravotočivá a vyznačuje se silným svislým oddenkem a pevnou, drsnou lodyhou (Hejný a Slavík, 1997).

1.1.1 Lodyhy

Lodyhy tvoří hlavní kostru nadzemní soustavy. Základní rozdělení lodyhy je na hlavní révu a na postranní větve (pazochy). Pokud mají lodyhy vhodný chmelovod prodlužují se až na 9 m a po obvodu tloustnou. Lodyha je hranatá a na sobě má krátké chlupy. Pomocí těchto chloupků, nebo můžeme říct křemičitých háčků, se chmel zachytí i na hladké opory (Rybáček a kol., 1980).

1.1.2 Listy

Listy vyrůstají z nodů révy a pazochu, nejběžnější rozložení je po dvou vstřícně proti sobě. Dále listy rozdělujeme na pazochové a révové a to dle místa odkud vyrůstají. Révové listy jsou oproti pazochým menší a vyrůstají dříve (Rybáček a kol., 1980).

Listy jsou ve střední části lodyhy vstřícné a dlouze řapíkaté s čepelí tří až pětiklanou, která bývá pětidílná. V horní části lodyhy jsou listy obvykle menší, střídavé a celistvé nebo laločnaté. Okraje listů jsou pilovité. Svrchní část listu je tmavě zelená a drsná, oproti spodní straně, která je světle zelená se žlutými žlázkami. Na rubu uvnitř listů jsou roztroušené žlásky, které obsahují silice a pryskyřice (Hejný a Slavík, 1997).

1.1.3 Květenství

Chmel je rostlinou dvoudomou, čili rozdělujeme květenství na samčí a samičí. Prašnickové květy jsou uloženy v řídkých mnohokvětých vrcholičnatých latách, které jsou 2 - 3mm dlouhé a až 1,9 mm široké (Hejný a Slavík, 1997).

Toto květenství se skládá z 5 korunních plátků, 5 tyčinek a prašníků, v nichž se tvoří žlutý pyl. Lupulinové žlázy jsou vytvářeny na korunních plátcích, avšak v menší míře jak u samičího květenství (Rybáček a kol., 1980).

Samičí květenství, nebo také pestíkové květy, mají nepatrné pohárkovité okvěti a jsou uspořádány v hustých svazečcích s dlouze vyčnívajícími bliznami (Hejný a Slavík, 1997).

Blizny jsou srostlé u mikropyle, pokud jsou volné mohou zachycovat rozptýlený pyl ze vzduchu. Jsou bělavé, při stárnutí hnědnou a ztrácejí schopnost přijímat pyl. Touto ztrátou končí hlavní funkce květu a květenství, které se změní na plodenství (Rybáček a kol., 1980).

1.1.4 Chmelová hlávka

Plodenství u chmele je chmelová hlávka nebo z botanického hlediska tzv. šišťice. Z morfologického hlediska vznikla hlávka z jehnědovitého květenství. Dle Kaviny (1925) a Osvalda (1946) jsou kromě modifikovaného stonku a věténka hlávky podstatnější částí rostliny, a to palisty a listeny modifikované v pravé a krycí listeny.

Typickými orgány chmelových hlávek jsou lupulinové žlázy, jednosemenné plody a nažky či neúplné plody bez semen. Nejdůležitější složkou hlávek je lupulin, který se vytváří z buněk epidermis (Rybáček a kol., 1980).

1.2 Historie chmele

Pěstování chmele má v České republice téměř tisíciletou historii. Již ve středověku se pěstitelé chmele sdružovali do samostatných cechů nebo cechy vytvářeli společně s vinaři. Souběžně s utvářením cechů vznikalo chmelařské názvosloví, které je v určitých termínech shodné s názvoslovím vinařským. Odborné názvosloví se uchovalo až do současnosti (Rybáček a kol., 1980).

V roce 1921 byly uzákoněny chmelařské výrobní oblasti, vznikaly oblasti Roudnická, Ústěcká, Žatecká, Dubská a Tršická. Od roku 1934 je zavedeno povinné známkování chmele. K uznání populací chmele byla v roce 1940 zřízena Listina povolených odrůd. Po skončení 2.

světové války došlo k redukování neudržovaných chmelnic až o 30 %. V roce 1948 byla půda znárodněná a pěstitelé byli donuceni ke vstupu do JZD. Důsledkem zvětšování ploch chmelnic bylo zapotřebí přejít k mechanizované sklizni.

První česačky značky Bruff a Rotobank k nám byly přivezeny roku 1954. K výrobě první české sekačky došlo v roce 1959 a v tom samém roce byla přivezena pásová sušárna. V roce 1973 byla zprovozněna granulační linka a od té doby je produkce zpracována tímto způsobem. Jediný pivovar v ČR, který používá původní zpracování pomocí lisované chmelové hlávky je Budějovický Budvar.

V roce 2000 byl novelizován zákon na ochranu chmele z roku 1997 a proběhlo nové stanovení chmelařské polohy a chmelařských oblastí. Nyní je chmelařství rozloženo do třech hlavních oblastí – Tršicko, Žatecko a Ústěcko (<http://chmelar.hajsl.cz>).

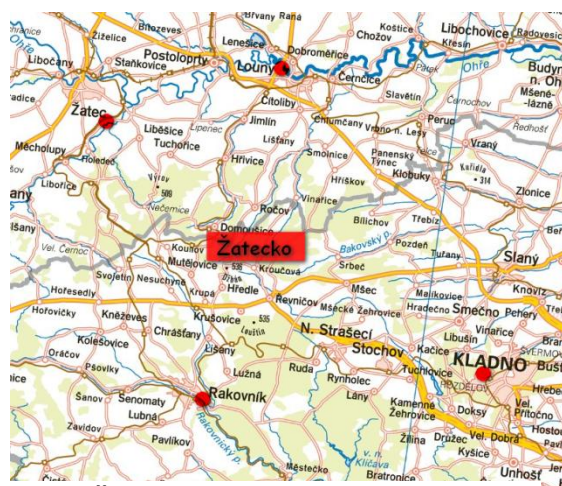
1.3 Chmelové oblasti

Chmel roste především v termofytiku a nižších polohách mezofytika. Zřídka na příhodných stanovištích ve vyšších polohách mezofytika a nejnižších polohách oreofytika. V České republice pěstování chmele rozdělujeme do 3 hlavních chmelařských oblastí (Rybáček a kol., 1980).

1.3.1 Žatecká oblast

Žatecký chmel je pěstován v katastrálním území, kam spadají okresy Louny, Rakovník, Chomutov, Kladno, Plzeň-sever a Rokycany. Oblast je chráněná Doupovskými vrchy, Krušnými horami a Českým středohoří, které vytváří dešťový stín. Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje kolem 450 mm.

Pozitivně na chmel působí jak klimatické podmínky s průměrnou roční teplotou 8-9 C°, tak typ půdy, kterým je permská červenka a opukové půdy. Na vývoj chmele také působí samotná poloha chmelnic. V žatecké oblasti se jedná především o otevřená údolí s volným prouděním vzduchu (www.zateckychmel.eu).



Obrázek 1 Žatecká oblast

1.3.2 Ústěcká oblast

Ústecko zahrnuje okresy Česká Lípa, část okresu Kladno, Kutná Hora, Litoměřice a Mělník. Oblast se rozkládá v širším Polabí a zčásti v Poohří. V okrese Litoměřice a České Lípě dochází ke střídání s vinicemi a ovocnými sady. Nadmořská výška zde dosahuje od 150 m do 400 m. V této oblasti dochází často k rušením chmelnic (www.zemedskeinfo.net).



Obrázek 2 Ústěcká oblast

1.3.3 Tršická oblast

Tršická oblast se rozkládá na střední Moravě, konkrétně v okresech Olomouc, Přerov a zčásti v Prostějově. Nadmořská výška v této oblasti sahá do 320 m. Pro tuto chmelařskou oblast jsou typická mělká údolí kolem potoků, které se vlévají do řeky Běčvy nebo do řeky Moravy. Nyní se produkce chmele snižuje a chmelařský areál je používán pouze sezóně (www.zemedelskeinfo.net).



Obrázek 3 Tršická oblast

1.4 Vegetační faktory

Vegetační faktory jsou činitelé, kteří působí na rostliny a vztahují se hlavně na růst a vývoj rostlin. Do vegetačních faktorů řadíme světlo, teplo, vzduch, živiny a vodu. Každá kulturní rostlina je spojena velkým množstvím vazeb s vnějším prostředím. U každého rostlinného druhu jsou známy jeho optimální požadavky na vnější podmínky a zároveň jsou dány maximální a minimální hodnoty, při kterých může rostlina přežít (www.agrokrom.cz).

Základním cílem ekologie kulturního chmele je zkoumání na sebe vzájemně působících vztahů mezi živým organismem a vnějším prostředím. Pro správné rozpoznání ekologických vztahů je nutné se zajímat o chmelové rostliny tak o vnější prostředí, které na rostliny přímo působí (Rybáček a kol., 1980).

1.4.1 Světlo

Světlo je nepostradatelným faktorem pro vyšší rostliny, jež obsahují chlorofyl. Rozhodujícím zdrojem světla je Slunce, které obsahuje dvě složky a to světelné a tepelné záření. Rostliny využívají interval vlnové délky mezi 380 – 700 nm (www.agrokrom.cz).

Optimální intenzita světla se pohybuje mezi 20 – 30 klux. V ročních obdobích se intenzita mění, v zimě zaznamenáváme nejnižší intenzitu světla a to až 10x menší. Nároky na světlo jsou rozdílné dle odrůd a druhů rostlin (Malý, 1998).

Zelené rostliny jsou schopny přeměňovat zářivou sluneční energii na energii chemických vazeb a nadále ji ukládat do organické hmoty svého těla. Tento proces nazýváme fotosyntéza. Rostliny schopné fotosyntézy označujeme za fotoautotrofní a můžeme je dělit na eukaryotní organismy (vyšší rostliny a řasy) a prokaryotní organismy (jednobuněčné sinice) (www.agrokrom.cz).

Pěstitel chmele může ovlivňovat vegetační faktor světla volbou pozemku (sklon pozemku či orientace ke světovým stranám). U chmele dáváme důraz na světlo hlavně na jaře, kdy dochází k nejintenzivnějšímu osvětlení mladých rostlin. V průběhu růstu dochází k zahušťování a rozvětvení rév, důsledkem zahušťování se intenzita světla zmenšuje. V případě, že dojde k poklesu světla, u rostlin zaznamenáme menší obsah lupulinu. Pro chmel je nejvýhodnější roční trvání slunečního svitu 1 300 – 1 500 hodin (Rybáček a kol., 1980).

1.4.2 Voda

Voda představuje nejdůležitější vegetační faktor a je nezbytnou podmínkou pro růst u všech rostlin. Slouží k transportu asimilátů do celé rostliny. Voda je také termoregulátorem vnitřní energie, který slouží k vyrovnání teplot mezi prostředím a rostlinou tak, aby nedošlo k přehřátí. Zároveň je voda velmi důležitá v tak zvaných kritických fázích růstu, které také označujeme jako vláhovou potřebu plodin. Chmel je velmi citlivý na nedostatek vody obzvláště v době hlávkování. Pokud chmel nemá dostatek vláhy, začíná vadnout a je nutné tento problém vyřešit vhodným závlahovým systémem (Rybáček a kol., 1980).

Chmel je vlhkomilnou rostlinou. Hlavním zdrojem vody je půdní vláha a zásoba podzemní vody. Pan Rybáček (1980) zjistil při lysimetrických stanovení spotřebu vody chmelových rostlin, při čtyřrévovém vedení v období od počátku dubna do konce října v desetiletém průměru 482 mm srážek.

Pro příjem dešťové vody a rosy slouží nadzemní orgány. U srážek nezáleží jen na množství, ale hlavně na jejich rozložení v průběhu vegetace. Srážkám zaznamenaných v období od dubna do května nedáváme značnou váhu, jelikož nemají takřka žádný vliv na výnos a chmel v tomto období nepotřebuje závlahu. Nejvíce srážek nebo závlah je zapotřebí od konce května do poloviny srpna. V dalších obdobích nejsou srážky žádané, poněvadž ztěžují dozrávání i samotnou sklizeň (Rybáček a kol., 1980).

1.4.3 Teplota

Teplota je bezesporu další vegetační faktor, který ovlivňuje vývoj a růst rostliny. Rostliny bývají na výkyvy teplot velmi citlivé, avšak stává se, že se adaptují na teplotu v které dlouhodobě žijí. Rychlost růstu se zpravidla zpomaluje při teplotě nad 30 °C a zcela ustává při dosažení maximální teploty. Teplota působí na buněčné dělení a objemový růst. Zároveň indukuje nástupy životních cyklů u rostlin (Macháčková, 1998).

Chmel prospívá v oblastech s průměrnou roční teplotou od 8 °C do 10 °C. Tepelná konstanta je od 2000 °C do 2800 °C. K růstu nadzemních částí rostlin je zapotřebí teploty nad minimální hranicí 8 °C. V případě, že teploty překročí hranici 35 °C, dochází ke zpomalení růstu nebo k poškození pletiv úžehem. Velké změny teplot na jaře způsobují zpomalení a zadržování růstu, zatímco v období dozrávání hlávek se tento proces urychluje a také se urychlí nástup technické zralosti (Rybáček a kol., 1980).

Chmel odolává vymrzání, avšak je velmi citlivý na jarní mrazíky. V situaci kdy teplota klesne pod hranici 2 °C, dojde ke zpomalení růstu chmele. Při nižších teplotách kolem -4 °C dochází ke spálení listů. Prvotnímu vývoji chmele vyhovuje mírný teplý duben, ve kterém jsou vyšší teploty (Rybáček a kol., 1980).

1.4.4 Vzduch

Vzduch je nezastupitelným činitelem pro dýchání rostlin, čili vdechování kyslíku a vydechování CO₂. Složení vzduchu je následující: 78% dusíku, 21% kyslíku, 0,4% H₂O, 0,03% CO₂ a zbytek je zastoupený vzácnými plyny (www.agrokrom.cz).

1.4.4.1 Dýchání

Dýchání je komplex procesů, které rostlina využívá k nakládání s asimiláty pro růst, transport látek a udržení struktury. Jedná se o reakce organického substrátu s molekulárním kyslíkem. V procesu dýchání se stejně jako u fotosyntézy vytváří ATP (krátkodobá energetická zásoba). Dýchání je nepostradatelné jak pro samotnou fotosyntézu, tak pro tvorbu biomasy (Nátr, 1998).

1.4.5 Půda

Půda slouží jako prostředí pro rostliny a organismy. Je vystavena neustálým změnám souvisejících se zráním a stárnutím půdy. Půda je mnohofázový systém (pevná, kapalná a plynná fáze), která poskytuje obrovskou kapacitu pro příjem a uchování látek (Larcher, 1984).

Chmel potřebuje půdy s vyhovující mocností orniční vrstvy a s dobrou vodní jímavostí. Pěstuje se na hlinitých až jílovitohlinitých půdách. Vyhovující půda je také tak zvaná červenka permského původu s převládajícím typem hnědozemě, která je typická pro chmelařskou oblast na Žatecku. Spodní hladina vody by měla dosahovat 1,2-2 m. Vyhovující pH pro chmel je neutrální reakce pohybující se kolem 6,5 pH. Půdy by měly být dále dobře výhřevné, dobře zadržující živiny a vodu. Důležitým faktorem, na který nesmíme zapomenout je i poloha chmelnic (Rybáček a kol, 1980).

1.4.6 Živiny

Živiny jsou v půdě vázané nebo ve formě roztoku. V roztoku je obsaženo jen nepatrné množství z celkové zásoby živin. Až na 98 % biologických prvků je uloženo v humusu, opadu a nebo zabudováno v minerálech (Larcher, 1984).

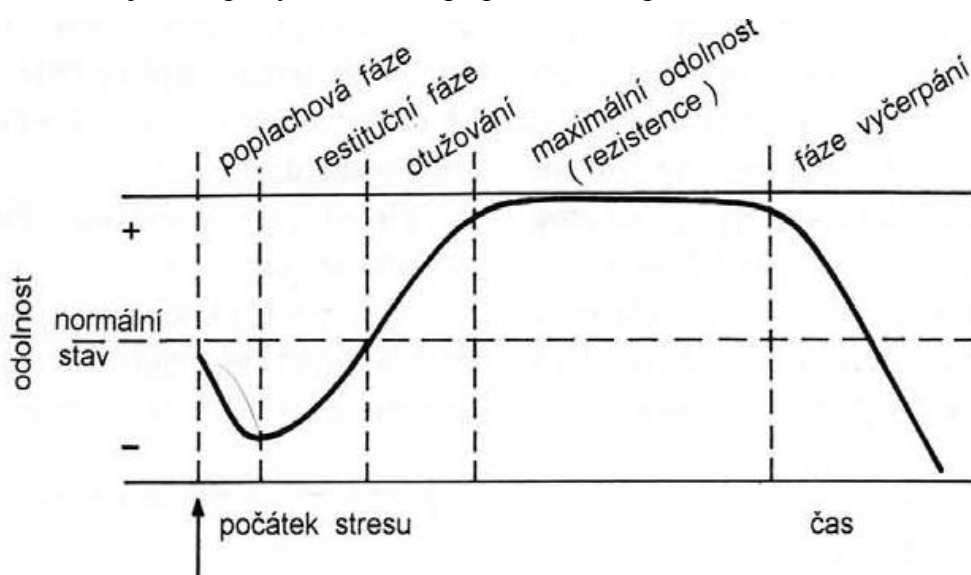
Chmel patří mezi rostliny, které jsou velmi náročné na živiny a to jak na mikroelementy, tak na makroelementy. Potřeba a množství živin se v růstových obdobích mění. Požadavek na živiny se na jaře zvyšuje – jedná se o období hlávkování. Kromě hlavních produktů fotosyntézy (C, O, H) je nezbytná přítomnost makroelementů (N, P, K, S, Ca, Mg) a mikroelementů (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B) (Rybáček a kol, 1980).

1.5 Význam fyziologie stresu pro rostliny

V přírodních systémech se každá rostlina dostává do stresových podmínek. Rostlinné druhy nemohou často dosahovat svých základních schopností a to z důvodu omezení zdrojů či stresových situací v jejich přirozeném prostředí. V zemědělství jsou rostliny omezeny jen na 25 % svého potenciálu a to důsledkem zatížení životního prostředí. Stres v životním prostředí napomáhá formulovat fyziologii, anatomii a chování rostlin. Zároveň také ovlivňuje procesy adaptace a aklimatizace druhů (Nielsen and Orcutt, 1996).

1.5.1 Studium stresu

Pro studium stresu u rostlin jsou hlavními pilíři informace ze studií o reakci rostlin na stres, pochopení celé rostliny a pohled na její funkce. Výzkumy slouží k předpovědi důsledků klimatických změn a vedou k novým technologiím v zemědělství a genetice. U planě rostoucích rostlin byl například zaznamenán gen, který reguluje toleranci stresu, a proto mohou být tyto rostliny převedeny do kulturních plodin za účelem zvýšení produktivity v regionech s chudšími zemědělskými podmínkami. Pochopení odpovědí rostlin na stres může vést k rozvoji biologických technologií pro toxikologii (Nielsen and Orcutt, 1996).



Obrázek 4 Idealizovaný průběh stresové reakce (Larcher, 1984)

1.5.2 Vodní stres

Vodní stres neboli sucho představuje pro rostliny nejvíce limitující stresor. Nedostatečný příjem vody je závislý na průběhu počasí a klimatických poměrech. Nepostradatelnou vlastností vody je udržování turgidity.

Turgor má u rostlin nezastupitelnou úlohu jak při růstu, prodlužování buněk tak při otevírání průduch a pohybu listů. Pokud dojde ke snížení turgoru prodlužování listů je redukováno a posléze dojde i k redukcí fotosyntézy. Nejcitlivěji na nedostatek vody reaguje prodlužovací růst, který je inhibován v procesech vkládání nových stavebních látek mezi staré (Bláha a kol., 2003).

Dle Boyera (1970) však turgor nemusí být vždy spojen se změnou fyziologických funkcí vyvolaných vodním deficitem. Například u turgoru v kukuřici v různých vývojových fázích byly zaznamenány odlišné reakce na vodní stres.

Zpomalení růstu je měřitelné již při malých ztrátách vody, u nichž klesne turgor o 0,1-0,2 MPa. Zastavení růstu nastane, pokud turgor klesne na -0,3-0,4 MPa. U rostlin se dříve zastaví růst, než dojde k vadnutí či zastavení metabolických procesů společně s fotosyntézou. V případě, že vodní potenciál klesne na 0,2 - 0,8 MPa, dojde k rychlým změnám aktivity enzymů, roste činnost alfa amylázy, hydrolázy, ribonukleázy a naopak se snižuje aktivita nitrátreduktázy a syntézy proteinů. Při dlouhodobém nedostatku vody dochází k dalším změnám v metabolických procesech a to zejména změny ve fotosyntéze a transportních pochodech v buňce (Bláha a kol., 2003).

Rostlina na nedostatek vody reaguje tvorbou látek jako například kyseliny abscisové (ABA). ABA je důležitý fytohormon, který umožňuje rostlinám přežít stresovou situaci. Kyselina abscisová má schopnost ovládat průduchy, jestliže je zastoupena ve větším množství zavírá průduchy a po zálivce množství naopak klesá a průduchy se otvírají. Při dlouhotrvajícím stresu je ABA zastoupena aktivací genů a antistresových proteinů (www.ueb.cas.cz).

Jak už bylo zmíněno deficit působí na fotosyntézu, která souvisí s transpirací. Pokud rostlina nemá dostatek srážek, rostliny omezují otvírání průduch a dobu jejich otevření. Na počátku stresu se transpirace snižuje a poté se opět obnovuje. U pokračujícího deficitu vody se opětované zvýšení transpirace neobjevuje a dále se průduchy otvírají jen málo důsledkem relativního ochlazení. Nakonec, avšak v době kdy má rostlina dostačující obsah vody průduchová transpirace ustává a rostlina transpiruje jen kutikulou (Bláha a kol., 2003).

1.5.3 Příčiny vodního stresu

Omezená dostupnost vody v buňkách může být zapříčiněná fyzikálními a klimatickými charakteristiky. Bereme v úvahu také vztahy mezi půdou a srážkami a půdou a rostlinou. Je zřejmé, že nízké srážky jsou příčinou vodního deficitu. Například nejsušší místo je v Americe v Atacamské poušti, kde byly zaznamenány nejmenší srážky v průběhu posledních 100let (Rundel et al., 1991).

Množství srážek je závislé na regionální topografii. Topografické parametry, které jsou spojené s nadmořskou výškou a pohybem vzduchu. Srážky jsou největší na návětrné straně výškového gradientu a nejmenší na závětrné straně. Dešťový stín může ovlivnit velké

plochy rovinatého pozemku na závětrné straně hor, jako například na závětrné straně The Rocky Mountains ve Spojených státech.(Nielsen and Orcutt, 1996).

Další příčinou je například období zimy, kdy rostlina trpí vodním stresem důsledkem toho, že není schopna přijímat vodu v pevném skupenství. Proto v období zimy často nedochází k zmrznutí rostlin, ale k vyschnutí. Ku příkladu dřeviny jsou závislé na vlhkostních poměrech z předešlého roku a ne jen v aktuálním roce (Bláha a kol., 2003).

1.5.4 **Adaptace**

Jedna z účinných adaptací k omezení ztrát vody jsou asimilační cesty Hatch – Slackova cyklu (C4), který se nachází u tropických rostlin, které musí šetřit s vodou. Rostliny si mohou také vytvořit schopnost snášet sucho, ovšem je dána schopností protoplazmy a druhem rostliny. Pro způsoby adaptace a chování vůči vodnímu nedostatku se rostliny člení na poikilohydrické, které jsou přizpůsobivé k vodnímu stresu a na homoiohydrické, které jsou k vysušení citlivé a po vyschnutí ztrácí schopnost revitalizace (Bláha a kol., 2003).

1.6 **Fotosyntéza**

Rostliny jsou otevřené systémy, u kterých dochází k výměně hmot jako CO₂, O₂, H₂O a dále k výměně energie a informací s okolním prostředím. Většinu rostlin řadíme do autotrofních, jejichž zdrojem energie je fotoautotrofie neboli záření.

Rostliny, které jsou fotoautotrofní si energii opatřují za pomoci energie záření, která vzniká při procesu fotosyntéza. Tímto procesem dochází ke zpřístupnění energie pro metabolismus. Zároveň mohou mít rostliny speciální orgány, jež jsou uzpůsobeny tak, že svou energetickou potřebu kryjí rozkladem organických látek při procesu dýchání (Nátr, 1998).

Fotosyntéza představuje fotochemické procesy, jež ke svému průběhu potřebují světlo a enzymatické procesy, které jsou schopny fungovat bez světla. Dalším procesem je difúze, čili výměna kyslíku a oxidu uhličitého mezi chloroplasty rostliny a vnějším vzduchem (Larcher, 1984).

1.6.1 **Záření**

Prostřednictvím záření se energie šíří prostorem. Všechny druhy záření, které jsou schopny se šířit v prázdném prostoru označujeme jako elektromagnetické. Základním parametrem elektromagnetického záření je vlnová délka, jež udává vzdálenost za jeden cyklus. Hlavní jednotkou záření je foton, jehož energie není přímo úměrná vlnové délce.

Důsledkem toho je energeticky bohatší záření s krátkými vlnovými délkami oproti delším vlnovým délkám (Nátr, 1998).

1.6.2 Fotochemický proces

Hlavním požadavkem pro fotosyntézu je absorpce v chloroplastech. Míra využití záření je bezprostředně spojena s koncentrací fotosynteticky aktivních pigmentů. Deficit fotosynteticky aktivních pigmentů způsobí na listy v podobě chlorózy, což zapříčiní snížení fotosyntézy. Chlorózu můžeme sledovat v období sucha či při problémech s minerální výživou (Larcher, 1984).

Fotochemický proces započíná v momentech, kdy chloroplasty zachytí využitelné záření. Tento proces můžeme dále dělit na fotosystém I., kde je převládající složkou chlorofyl a, který v souvislosti s absorpcí značíme také P700 a fotosystém II. s převahou chlorofylu b, jenž značíme P680 (Larcher, 1984).

1.6.3 Sluneční záření

Pokud opomeneme elektrické zdroje, které se používají k výzkumu skleníkového provozu tak považujeme za jediný zdroj zářivé energie Slunce. Množství sluneční energie, které dopadá na povrch Země je závislé na výšce Slunce, složení atmosféry a na oblačnosti (Nátr, 1998).

Do slunečního záření řadíme všechny varianty záření elektromagnetické povahy. Fotosynteticky účinné záření (FAR) je v oblasti vlnových délek od 400nm do 700nm elektromagnetické záření. FAR můžeme tedy popsat jako oblast v které je rozčleněna absorpce asimilačních pigmentů a je schopna vyvolávat v rostlině fotosyntézu. Pro proces fotosyntézy je důležité zohlednit energii fotonu a celkové množství fotonů v záření (Kubín, 1973).

1.6.4 Fotosyntetické struktury

Mezi fotosyntetické struktury řadíme listy a chloroplasty. Listy považujeme za nejvýznamnější strukturu, která je schopna zabezpečit složitý proces fotosyntézy. Listy jsou orgány rostlin, které představují tenké a ploché útvary, morfologicky naznačující přizpůsobení k absorpci slunečního záření a ke zkrácení transportních drah při výměně plynů (Nátr, 1998).

Významným faktorem je vnitřní povrch listu, který je 10-20x větší jak povrch listu vnějšího. Pro fyziologii fotosyntézy je velmi důležitá struktura listu, kterou Haberlandt (1914) pojmenoval jako „vňčitý typ“ již v minulém století a i nadále je toto označení používané zejména u rostlin C4.

Chloroplasty považujeme strukturně za nejmenší jednotku. Tato jednotka slouží k absorpci záření i po izolaci a dále fixuje CO₂ a zabudovává uhlík do sacharidů.

V chloroplastech je obsažen chlorofyl a další asimilační barviva (karotenoidy, xantofyly). Mohou mít různý tvar, u vyšších rostlin se chloroplasty vyznačují čočkovitým tvarem. Každý chloroplast je obklopen dvojistou biomembránou jenž uzavírá bílkovinnou plazmu. Systém tylakoidů vzniká odškrcením vnitřní membrány od stomatu. Pokud se diskové tylakoidy vrství, vzniká granum, což je postavení tylakoidů, které jsou řazeny na sebe. Majoritní část molekul chlorofylů vytváří na tylakoidech anténní neboli světlosběrné systémy, za jejichž pomocí se záření zachytí a nadále se získávaná elektronová excitační energie převede do reakčního centra (Nátr, 1998).

1.6.5 Fotosyntetické pigmenty

1.6.5.1 Chlorofyly

Von Wettstein et al.(1995) uvádí, že běžný list je tvořen až na 70mil. buněk, které obsahují přibližně 5.10⁹ chloroplastů. V každém z chloroplastů je 600mil. molekul chlorofylu. Chlorofyl a je potřebným ve fotosyntéze k přeměně vlastní energie. Ostatní pigmenty jsou tzv. pomocné, slouží k předávání své excitované energie chlorofylu a (Nátr, 1998).

1.6.5.2 Karotenoidy

Karotenoidy můžeme rozdělit na karoteny, což jsou uhlovodíky a na xantofyly. U vyšších rostlin se v listech objevuje beta - karoten a z xantofylů pak violaxantin, zeaxantin a lutein. Karotenoidy jsou pomocné pigmenty, které slouží k ochraně fotosyntetického aparátu před nevratnou fotooxidací (Nátr, 1998).

1.6.5.3 Fykobiliny

Tyto pigmenty se vyznačují vlastním chromoforem bílkovin a fykobilinu. Stejně jako karotenoidy jsou doplňkovým pigmentem a svou excitační energii předávají na chlorofyl a (Léblková a Sofrová, 1982).

1.6.6 Fotorespirace

Fotorespirace probíhá v rostlinných buňkách, které obsahují chlorofyl. Společně s fotosyntézou probíhá metabolický proces, jenž je podobný dýchání. Při metabolickém procesu se na světle spotřebovává a uvolňuje CO_2 . Tento proces probíhá pouze za světlených podmínek, ve tmě ustane. Substrátem pro fotorespirační metabolismus je ribulózabifosfát, který je akceptorem pro CO_2 a O_2 (Larcher, 1984).

1.6.7 Fotofosforylace

Pro tvorbu ATP-syntázy jsou využívány nahromaděné proteiny a jejich elektromotorická síla. Fotofosforylace se dělí na cyklickou a necyklickou. Necyklický přenos elektronů souvisí s elektrony, které jsou uvolněné rozložením molekuly vod. U necyklické fosforylace se využívají oba systémy fotosyntézy, pomocí nichž dojde k přenosu na NADP^+ . U NADP^+ dochází k redukci za pomoci 2 elektronů a 2 vodíkových protonů na $\text{NADPH} + \text{H}^+$. Cyklická fosforylace neboli také cyklický přenos elektronů, probíhá pouze za přítomnosti PSI a uplatňuje se zde fotosystém I. Fixovaná energie se využívá na vytváření protonového gradientu a následně k zabezpečení tvorby ATP.

Protonový gradient vzniká přes membránu tylakoidů, avšak doposud ještě není vyjasněna otázka ohledně lokalizované oblasti protonu. Místní lokalizované protonové gradienty zabraňují nadměrnému okyselení tylakoidu po osvětlení. (Nátr, 1998)

1.6.8 Temnostní fáze

Temnostní fáze je soubor reakcí, které fixují a zároveň redukují CO_2 . Tento soubor reakcí je označován jako Calvinův cyklus. V první řadě dochází k navázání CO_2 na pětiuhlíkatý glycid ribulozu 1,5 - bisfosfát. Vzniká šestiuhlíkatý meziprodukt, ten se štěpí na 3- fosfoglycerát a ten je okamžitě fosforylován ATP za vzniku 1,3 - bisfosfoglycerátu. Následuje redukce na glyceraldehyd – 3 - fosfát. Stálé produkty fotosyntézy (škrob, bílkoviny, tuky) vznikají enzymatickými reakcemi (Nátr, 1998).

1.7 Transpirace

Jedním ze způsobů jak rostliny ztrácejí vodu je transpirace čili vypařování a příležitostně ve formě gutace, což je jen zanedbatelné množství oproti transpiraci. Z rostliny

se voda vypařuje ze všech vnitřních povrchů, které přijdou do styku se vzduchem. Transpiraci můžeme dělit na stomatární, peridermální, kutikulární a hraniční a to dle typu rostliny (Larcher, 1984).

Voda v rostlinných orgánech se vypařuje z povrchů buněk hraničních s mezibuněčným vzdušným prostorem, takový způsob transpirace označujeme jako stomatární. V této situaci dochází k přechodu vody z kapalně fáze do plynné a právě až vodní pára uniká průduchy. Všechna následující pohyby vodní páry do atmosféry probíhá difúzí. Intenzitu transpirace vyjadřujeme v jednotkách hmotnosti vypařené vody za jednotku času a jednotku plochy. Transpirační schopnost udává intenzitu kutikulárního a stomatárního výdeje vody z listů či jiných povrchů za přesně definovaných atributů. Vypařování úzce souvisí s morfológickými a anatomickými vlastnostmi listu (Larcher, 1984).

Transpirace listů je důležitým parametrem vztahů rostlina - voda, jelikož definují rychlost, při které se voda dostává ven z rostliny. Tyto vztahy slouží k pochopení koloběhu vody v ekosystémech a následně jsou využívány v zemědělské technice hospodaření s vodou (Nielsen and Orcutt, 1996).

Šantrůček (1998) udává, že listy zdravé rostliny jsou schopny za 20-60 minut odpařit tolik vody, kolik sami váží, aby nedošlo k poškození rostliny, stačí však snížit obsah vody v listu jen na 60%.

Transpirace je závislá na fyzikálních podmínkách, jenž působí na výpar pouze v situaci kdy se stav průduch nemění. Rostliny jsou schopny řídit otevírání průduch a tím regulovat rychlost transpirace ke svým vlastním potřebám na vodní bilanci.

Příjem CO_2 je s transpirací neodmyslitelně propojen průduchy, kterými zajišťuje transport vodní páry a CO_2 . Rostlina k příjmu CO_2 musí ztrácet vodu, v případě, že nastane ke snížení ztráty vody, snižuje se rovněž příjem CO_2 (Larcher, 1984).

1.8 Transport vody u chmele

V současnosti se výnos chmele snižuje, jednou z příčin poklesu jsou změny v množství srážek v chmelařských oblastech. Tyto změny ve výnosu směřovaly k dokonalejším a přesnějším znalostem z oblasti vodního provozu chmele.

Gloser a kolektiv (2012) se touto problematikou zabývali. Následující studie, směřuje ke zdokonalení agrotechniky i šlechtění odrůd chmele, které by byly za určitých předpokladů odolnější.

Pokus probíhal na experimentálních rostlinách chmele v nádobovém pokusu. Na těchto rostlinách se sledovaly: transportní kapacity, průduchové regulace a hydraulický odpor kořenů.

Výsledky pokusu ukázaly, že za slunečního dne je rostlina schopna využívat max.30 % vodivé kapacity stonku. Pokud dojde k deficitu vody je část cév stonku postižená kavitací. V souvislosti s kavitací se zjišťovalo poškození cév u chmelových rostlin, které může vyvolat významné omezení transportní kapacity stonku.

Transportní procesy chmelového stonku za normálních podmínek využívá rezervu 40 – 60 % vodivé kapacity pro výjimečné změny mikroklimatu. Dále byla zaznamenána stejná rychlost transpirace s potenciální rychlostí evaporace. Přítomnost kořenového systému je schopen omezovat rychlost toku vody v rostlině a to až o 20 % (Gloser a kol., 2012).

1.9 Vodní bilance

Vodní bilance je dána rozdílem mezi absorpcí vody a transpirací. Pomocí vodní bilance se procenticky vypočítá podíl obsahu vody v listu rostliny, kterou rostlina ztrácí za určitou dobu a kterou musí opětovaně přijmout z půdy, aby se vodní bilance zachovala v rovnováze. V případě, že rostlina postrádá dostatečný příjem vody se transpirace zpomaluje, průduchy se zužují a vodní bilance je záporná. Do nové rovnováhy se vodní bilance dostává s původním příjmem vody. Vodní bilance se neustále pohybuje mezi kladnými a zápornými odchylkami.

Významnější odchylky sledujeme v průběhu dne, kdy je vždy záporná a až večer nebo v noci dochází k obnově počátečního obsahu vody. V období sucha se vodní bilance nestačí vyrovnat ani v průběhu noci. K vyrovnání dochází po příchodu srážek (Larcher, 1984).

Vodní bilanci určujeme z přesně naměřených hodnot transpirace a příjmu vody a rovněž za pomoci nepřímé metody. Nepřímá metoda spočívá ve sledování účinku působení na obsah vody. Záporná bilance zapříčiní snížení turgoru, jehož působení je znatelné na listech, u nichž dochází k nejintenzivnějšímu výparu (Larcher, 1984).

Barrs (1968) popsal relativní obsah vody za pomoci procentického podílu obsahu vody v daném čase při nasycení.

$$RWC = \frac{W_{act}}{W_s} * 100 (\%)$$

Dalším parametrem je vodní sytostní deficit dle Stockera (1929), který udává, kolik vody pletivu chybí do úplného nasycení.

$$\text{WSD} = \frac{W_s - W^{\text{act}}}{W_s} * 100 (\%)$$

Při stále záporné bilanci dochází ke zvýšení vodního deficitu a snížení relativního obsahu vody.

Dle vodní bilance rozdělujeme rostliny do dvou základních skupin na hydrostabilní a hydrolabilní. Mezi hydrostabilní rostliny řadíme stromy, sukulenty a některé trávy. Tato skupina udržuje příznivý obsah vody po celý den. Průduchy jsou velmi citlivé na vodní deficit, obsah vody je stabilizován v protoplazmě, kde jsou zásoby uložené v kořenech, kůře, dřevě a v listech. Do hydrolabilních rostlin patří převážně rostliny cévnaté, u kterých je protoplazma nucena snášet široké výkyvy vodního potenciálu bez poškození (Larcher, 1984).

Dvouděložné rostliny jsou přechodné mezi hydrostabilní a hydrolabilní skupinou. Při dostatečné dávce vody z půdy transpirují nepřetržitě přes celý den a to rychlostí dle okolního ovzduší. Některé druhy rostlin jsou schopny transpiraci omezovat v poledních hodinách, nebo řídit maximální otvírání průduchů jen na ráno a večer (Larcher, 1984).

5. Metodika

Hlavním cílem této práce bylo získání nových skutečností o fyziologii chmelových rostlin u odrůdy Bohemie. Sledovanou odrůdu Bohemii jsme podrobili vodnímu stresu ve varietě „S“ a rovněž jsme založili kontrolní varietu „K“, která měla pravidelnou závlivku. U chmelových rostlin jsme zjišťovali rychlost fotosyntézy, transpiraci a půdní vlhkost.

1.9.1 Bohemie

Registrace této odrůdy proběhla v roce 2010. Bohemie vznikla výběrem z F1 potomstva po matečné, aromatické odrůdě Sládek a z rozpracovaného materiálu původem z Žateckého poloraného červeňáku. Aroma je slabě kořenité, chmelové. Tvar chmelových hlávek je středně až dlouze vejčitý. Hmotnost 100 hlávek se pohybuje mezi 17 – 20 g. Vřeténko je 16 – 20 mm dlouhé, pravidelné. Využití Bohemie je především na druhé chmelení a k výrobě pelet (Atlas českých odrůd chmele, 2012).



Obrázek 5 Hlávka Bohemie (Atlas českých odrůd chmele, 2012)

Chmelové pryskyřice

Celkové pryskyřice (% hm.)	22 - 26
Alfa kyseliny (% hm.)	5,0 - 8,0
Beta kyseliny (% hm.)	6,0 - 9,0
Poměr α / β	0,8 - 1,0
Kohumulon (% rel.)	23 - 26
Kolupulon (% rel.)	40 - 45

Tabulka 1 Chmelové pryskyřice

Chmelové polyfenoly

Celkové polyfenoly (% hm.)	1,8 - 2,5
Xanthohumol (% hm.)	0,50 - 0,75
DMX (% hm.)	0,10 - 0,20

Tabulka 2 Chmelové polyfenoly

Chmelové silice

Hmonost silic (% hm.)	1,0 - 1,5
Myrcen (% rel.)	30 - 40
Linaloon (% rel.)	0,6 - 0,8
2-undekanon (% rel.)	0,5 - 0,7
Methyl-4-decenoat (% rel.)	0,9 - 1,3
Karyofylen (% rel.)	7,0 - 10,0
Humulen (% rel.)	17 - 23
Farnesen (% rel.)	≤ 1,0
α,β-selineny (% rel.)	8,0 - 12,0

Tabulka 3 Chmelové silice

1.9.2 Metoda pokusu

Pokus se zakládal na jaře v roce 2012. U odrůdy Bohemie se pokus zaměřil na vliv vodního stresu, který působí na fyziologické charakteristiky chmele. Rostliny byly pěstovány ve sklenících ČZU, při stále teplotě 28 ° C. V plastových nádobách naplněnými substrátem rašeliny a písku. Každá rostlina byla pěstovaná s opěrnou tyčí, na kterou jsme vždy zaváděli 2 révy. Chmelové rostliny byly pěstovány ve dvou variantách, kontrolní a stresované. Měření probíhalo od 21. 5. 2012 – 8. 6. 2012, v tomto období jsme prováděli 8 opakování. Po celou dobu pokusu byly u kontrolní rostliny zavlažovány do plného nasycení substrátu.



Obrázek 7



Obrázek 6

1.9.3 Metodika měření

Rychlost fotosyntézy a transpirace jsme měřili za pomoci přenosného gazometrického infračerveného analyzátoru LC pro + (ADC Bio Scientific Ltd). V komoře jsme nastavili ozáření $522 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ při teplotě $27 - 28 \text{ }^\circ\text{C}$. Měření probíhalo v dopoledních hodinách, kdy fotosyntéza nabývá maximálních hodnot. (Manuál LC pro +)

Gazometrická metoda patří mezi nejpoužívanější způsoby měření rychlosti fotosyntézy a transpirace. Je nutné zajistit přesné a pravidelné měření koncentrace CO_2 a H_2O v expoziční komoře, aby nedošlo k poškození listů (Nátr, 1998).

Přístroj LC pro + pracuje na principu nerozptýleného infračerveného záření (NDIR). Tento princip je závislý na CO_2 , které absorbuje záření v infračervené oblasti ku koncentraci plynu. Vzorek měřeného plynu prochází přes buňku neboli trubici, na jejímž konci je detektor, který slouží k měření amplitudy infračerveného záření. Buňka do které je zdroj červeného záření směřován je pozlacená. Pozlacení vede k maximalizaci intenzity. Plyny, které vstupují (referenční) a vystupují (analyzované) z komůrky se během měřicího cyklu střídají s tzv. „Nulovým plynem“. Tento plyn se vytváří průchodem vzduchu přes natronové vápno. Natronové vápno z něj odstraní všechny CO_2 a tak je umožněno měřit obsah CO_2 v referenčním i analyzovaném plynu. Fotosyntéza i transpirace jsou přístrojem automaticky vypočteny (Manuál LC pro +).

Pro výpočet jsou použity následující vzorce:

Rychlost fotosyntézy: $P_N (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) = u_s \cdot \Delta_c$

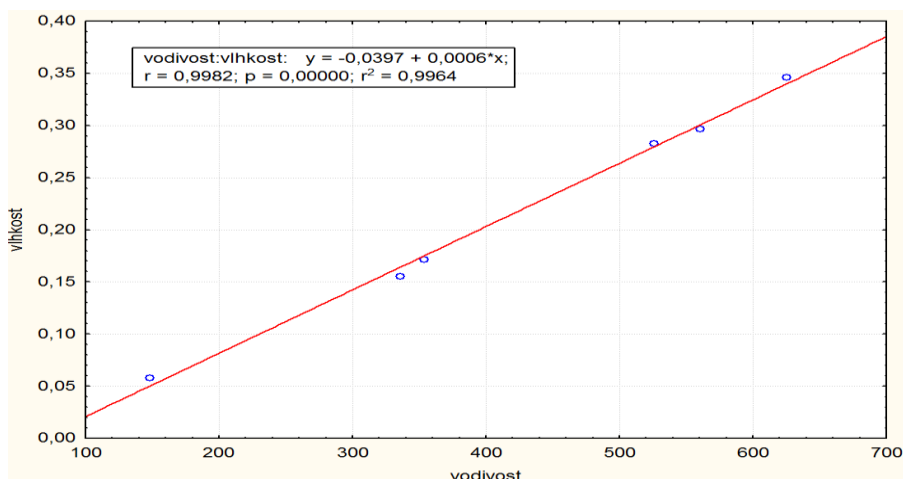
Intenzita transpirace: $E (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) = u_s \cdot \delta w$

Obrázek 8



Další měřenou charakteristikou u chmele byla půdní vlhkost. K měření jsme použili přístroj Theta Probe Soil Moisture Sensor ML2x a čtecí zařízení Moisture Meter HH2. Sondy jsou u přístroje tvořeny elektronickými jehlicemi, které se zapíchnou do půdy. Vzhledem ke změně teploty nebo hmotnosti půdy se pro každou půdu provádí kalibrace. Přístroj pracuje na principu nepřímých metod.

Nepřímé metody neměří přímo vlhkost, nýbrž jiné veličiny, které jsou na vlhkosti půdy závislé. Mezi největší výhody patří nedestruktivnost, opakované měření na stejném místě a okamžité získání výsledků. Výsledky ze čtecího senzoru převádíme na hmotnostní vlhkost (www.hydropedologie.agrobiologie.cz). Hodnoty hmotnostní vlhkosti byly stanoveny na základě kalibrační křivky. Kdy byly vypočteny z experimentálně odvozené regresní rovnice (viz. Ob.9), kde parametr x je čtení ze senzoru při měření půdní vlhkosti a parametr y je odpovídající hmotnostní vlhkost zeminy.



Obrázek 9 Kalibrační graf



Obrázek 10 Přístroj Theta Probe (<http://web.fi.ibimet.cnr.it>)

6. Výsledky

Přístroji LC pro + a Theta Probe Soil Moisture Sensor ML2x se uskutečnilo 8 měření.

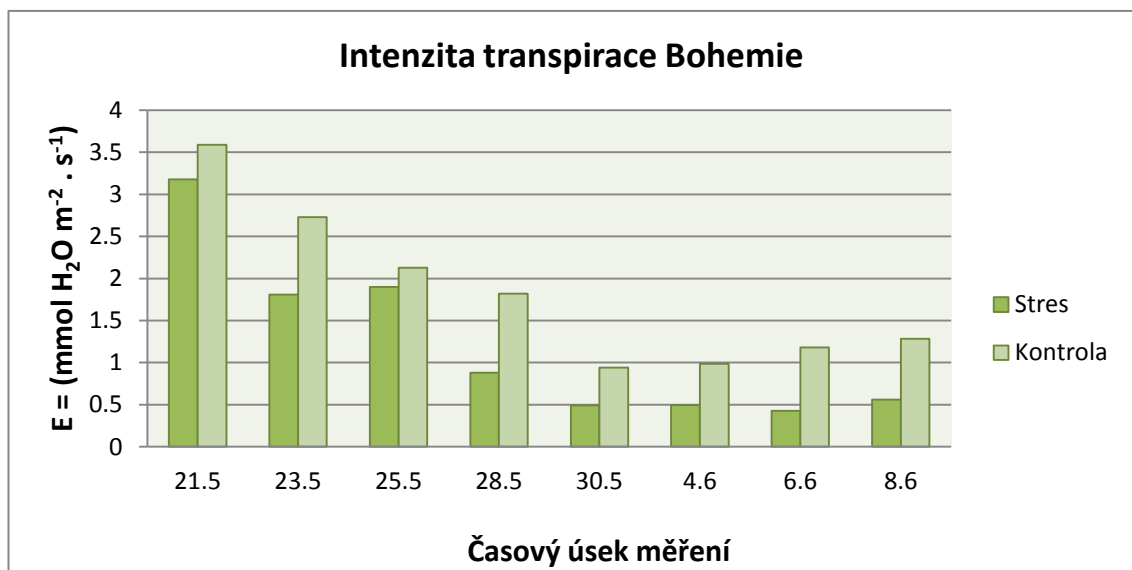
	8.5.2012	Přivezení chmele na katedru
	11.5.2012	Přesazení, zavádění na oporu
1. měření	21.5.2012	1. den působení stresu
2. měření	23.5.2012	3. den působení stresu
3. měření	25.5.2012	5. den působení stresu
4. měření	28.5.2012	8. den působení stresu
5. měření	30.5.2012	10. den působení stresu
6. měření	4.6.2012	15. den působení stresu
7. měření	6.6.2012	17. den působení stresu
8. měření	8.6.2012	19. den působení stresu

Tabulka 4

Měření vždy probíhalo jak u kontroly, tak u stresu v dopoledních hodinách. V následujících tabulkách a grafech jsou uváděny průměrné hodnoty z měření.

Intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)								
Varianty	21.5	23.5	25.5	28.5	30.5	4.6	6.6	8.6
Stres	3,18	1.81	1.9	0.88	0.49	0.5	0.43	0.56
Kontrola	3.59	2.73	2.13	1.82	0.94	0.99	1.18	1.28

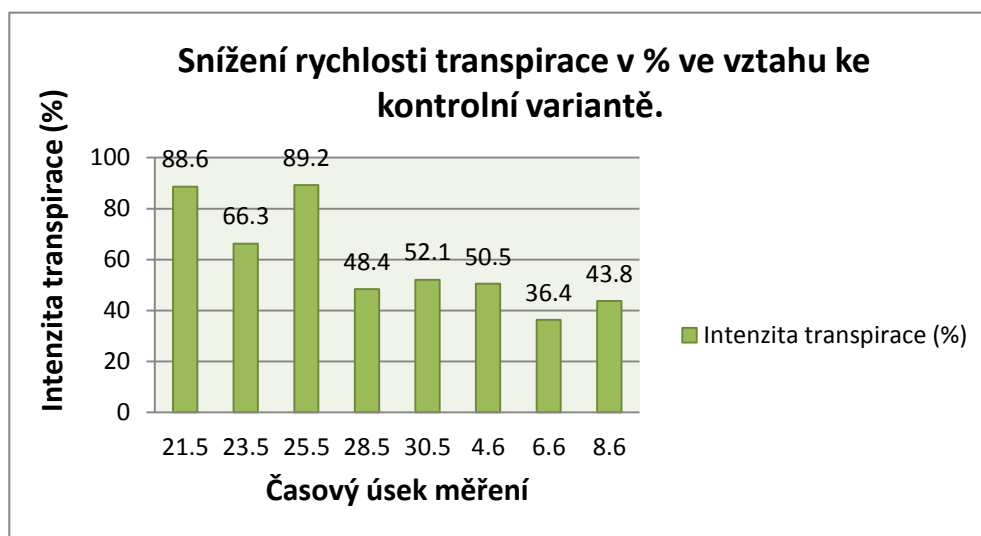
Tabulka 5 Intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)



Graf 1 Intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

První den působení vodního stresu byla intenzita transpirace u kontrolní varianty 3,59 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, tedy o 0,41 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹ vyšší jak u stresované varianty. Procentickým vyjádřením tento pokles u stresované varianty představuje 88,6 % oproti kontrolní variantě (100 %). Třetí den došlo u stresované varianty k druhému největšímu snížení transpirace o 0,92 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹. Procentuálně je tento pokles vyjádřen 66,3 % vzhledem ke kontrolní variantě. U pátého dne působení stresu byla naměřena intenzita transpirace u kontrolní varianty 2,13 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, která byla vyšší o 0,23 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹ oproti variantě stresované, tj. 89,2 %. Osmý den činil největší rozdíl mezi transpirací u kontrolní a stresované varianty. Intenzita transpirace byla u kontrolní varianty 1,82 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, čili o 0,94 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹ vyšší oproti stresované variantě. Procentické vyjádření u stresované varianty představuje 48,4 % (graf 1 a 2, tab. 5.).

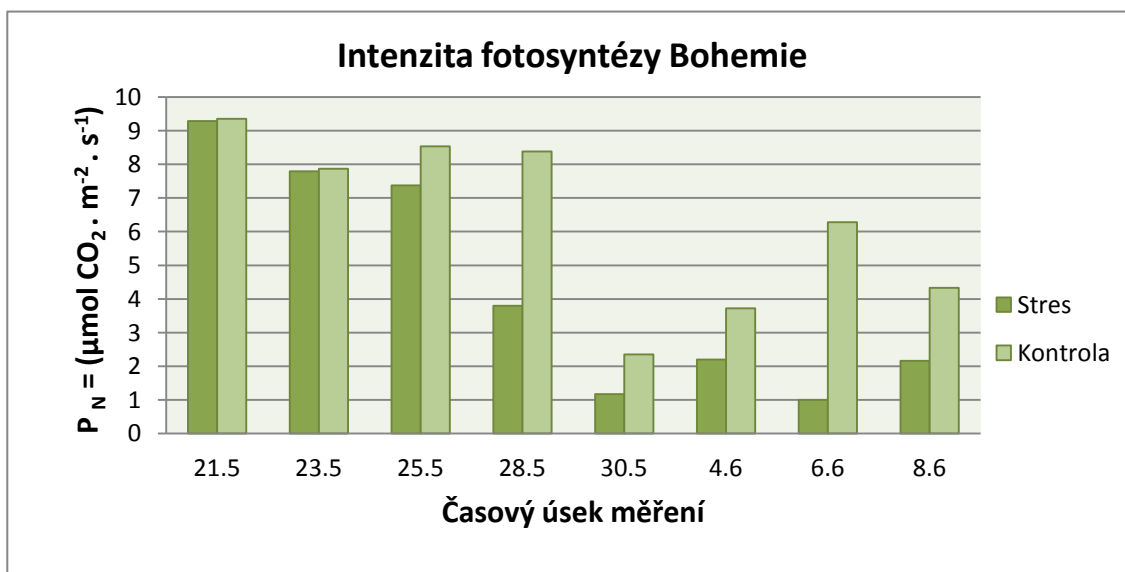
Z hodnot získaných v desátém dni působení stresu byla zaznamenaná intenzita transpirace u kontrolní varianty vyšší o 0,45 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, u stresované varianty to představovalo 52,1 % vzhledem ke kontrolní variantě (100 %). Výsledkem 15. dne působení stresu bylo snížení transpirace u stresované varianty o 0,49 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, tj. 50,5 %. Sedmnáctý den působení stresu ukázal třetí největší pokles a to o 0,75 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹ u stresované varianty. Procenticky tento pokles činí 36,4 % oproti kontrolní variantě, která byla 1,18 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹. Poslední den působení stresu byl u stresované varianty pokles intenzity transpirace o 0,72 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, to představuje 43,8 % vzhledem ke kontrolní variantě (graf 1 a 2, tab. 5.).



Graf 2 Snížení rychlosti transpirace v % ve vztahu ke kontrolní variantě (100 %)

Intenzita fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)								
Varianty	21.5	23.5	25.5	28.5	30.5	4.6	6.6	8.6
Stres	9.28	7.79	7.38	3.79	1.17	2.2	0.99	2.16
Kontrola	9.35	7.87	8.54	8.38	2.35	3.72	6.29	4.33

Tabulka 6 Intenzita fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)



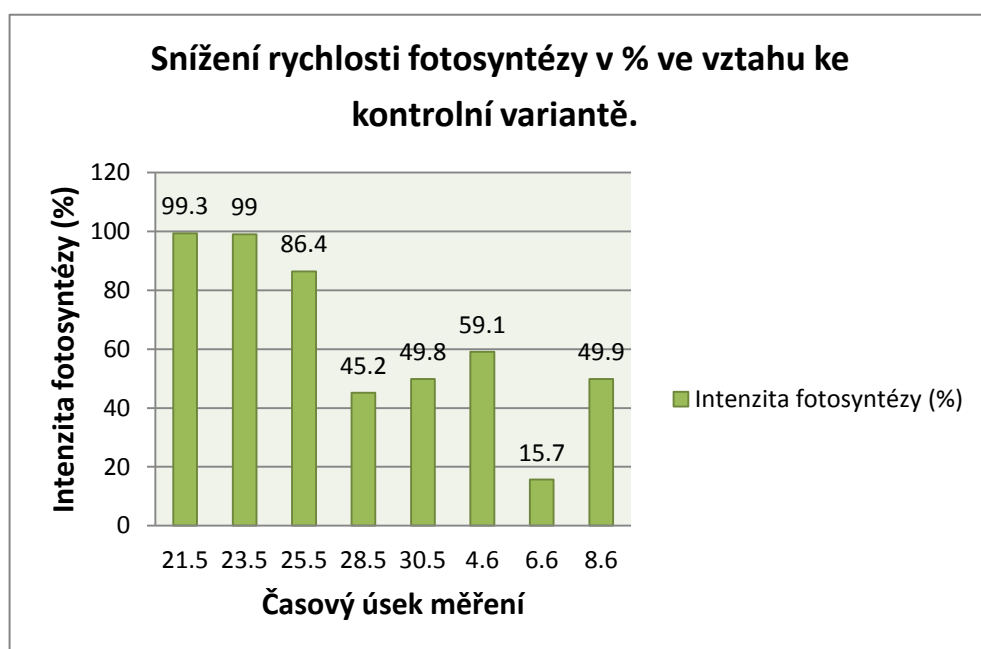
Graf 3 Intenzita fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

První den působení vodního stresu se intenzita fotosyntézy změnila pouze nepatrně. Měření u kontrolní varianty bylo $9,35 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ oproti stresované variantě vyšší o $0,07 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Třetí den byla u kontrolní varianty naměřena intenzita fotosyntézy $7,87 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Intenzita fotosyntézy u stresované varianty byla o $0,08 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ nižší vzhledem ke kontrolní variantě. Procentické vyjádření u stresované kontroly bylo 99 % oproti kontrolní variantě, která představuje 100%. Pátý den za působení vodního deficitu se u kontrolní varianty naměřila intenzita fotosyntézy $8,54 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, tedy o $1,16 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ vyšší jak u stresované kontroly, která byla $7,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Procenticky tento pokles fotosyntézy u stresované varianty lze vyjádřit 86,4 % v závislosti na kontrolní variantě (graf 3 a 4, tab. 6.).

Osmí den působení vodního stresu byl zjištěn druhý největší rozdíl intenzity fotosyntézy mezi kontrolní a stresovanou variantou. Intenzita u stresované varianty byla o $4,59 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ nižší jak u kontrolní varianty, která byla $8,38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Procenticky lze tento pokles vyjádřit jako 45,2 % vzhledem ke kontrolní variantě. Dne 30. 5

proběhlo za působení 10. dne vodního stresu měření, které představovalo u kontrolní varianty vyšší intenzitu transpirace o $1,18 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. oproti stresované variantě, která byla $1,17 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Procenticky lze znázornit jako 49,8 % v závislosti na kontrolní variantě (100 %). Působení vodního stresu patnáctý den se projevilo měření následovně. U kontrolní varianty byla naměřena intenzita fotosyntézy $3,72 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, což představovalo u stresované varianty pokles o $1,52 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tento pokles lze procentuálně vyjádřit vzhledem ke kontrolní variantě jako 59,1 % (graf 3 a 4, tab. 6.).

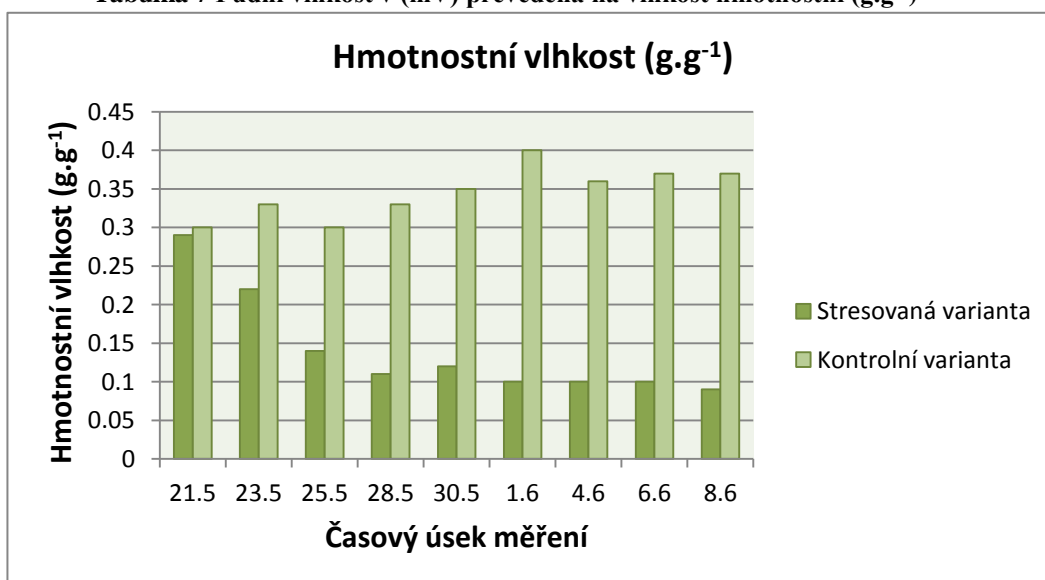
Sedmnáctý den působení vodního stresu byla naměřena intenzita fotosyntézy u stresované varianty $0,99 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. oproti kontrolní variantě, která byla $6,29 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Stresovaná varianta byla oproti kontrolní variantě nižší o $5,3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, což znázorňovalo největší pokles intenzity fotosyntézy v celém období měření. Procenticky lze tento pokles u stresované varianty interpretovat 15,7 % oproti kontrolní variantě (100 %). Poslední den působení vodního stresu byla naměřena intenzita fotosyntézy u stresované varianty $2,16 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, která představovala pokles o $2,17 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. oproti kontrolní variantě. Pokles lze procenticky vyjádřit za použití kontrolní varianty (100 %) a přepočtem na stresovanou variantu, u které intenzita fotosyntézy představovala 49,9 % (graf 3 a 4, tab. 6.).



Graf 4 Snížení rychlosti fotosyntézy v % ve vztahu ke kontrolní variantě (100 %)

Půdní vlhkost-měření				
Varianty	Stres		Kontrola	
	mV	w (g.g ⁻¹)	mV	w (g.g ⁻¹)
21.5	560.6	0.29	589.8	0.3
23.5	401.2	0.22	659	0.33
25.5	200.8	0.14	588	0.3
28.5	131.4	0.11	679	0.33
30.5	136	0.12	723.6	0.35
1.6	97.8	0.1	849.6	0.4
4.6	89.4	0.1	735.6	0.36
6.6	90.4	0.1	759.6	0.37
8.6	82.4	0.09	758.8	0.37

Tabulka 7 Půdní vlhkost v (mV) převedena na vlhkost hmotnostní (g.g⁻¹)



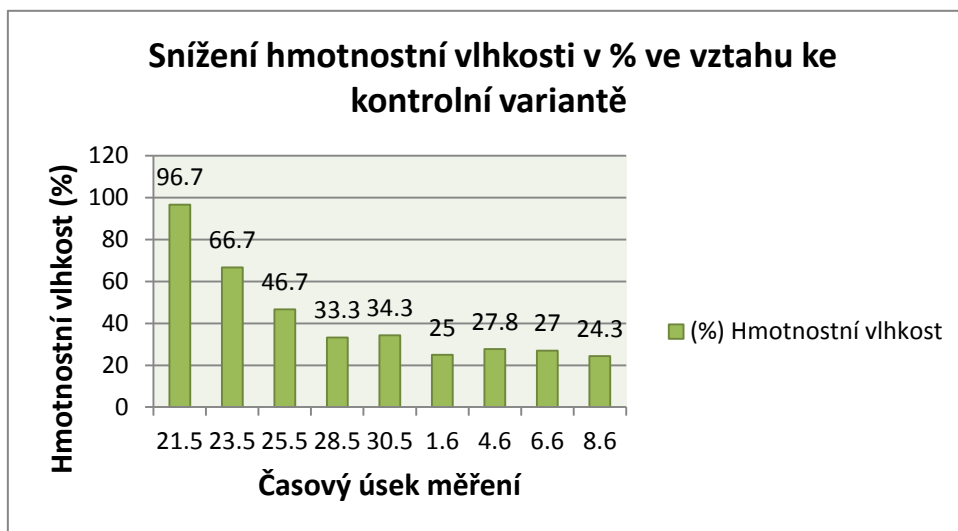
Graf 5 Hmotnostní vlhkost (g.g⁻¹)

První den za působení vodního stresu byla hmotností vlhkost substrátu u stresované varianty o 0,01 g.g⁻¹ menší vzhledem ke kontrolní variantě, což nepředstavuje významný rozdíl. Hmotnostní vlhkost zeminy u třetího dne působení stresu byla následná. U kontrolní varianty byla naměřena 0,33 g.g⁻¹. Stresovaná varianta byla o 0,11 g.g⁻¹ nižší. Procentuálně lze pokles u stresované varianty znázornit jako 66,7 % oproti kontrolní variantě, která je 100 %. Pátý den měření vykazoval rozdíl mezi hmotnostní vlhkostí substrátu kontrolní varianty a stresované varianty 0,16 g.g⁻¹. U stresované varianty tento pokles procentuálně vyjadřuje 46,7 % vzhledem ke kontrolní variantě. Osmí den za působení vodního stresu byla naměřena

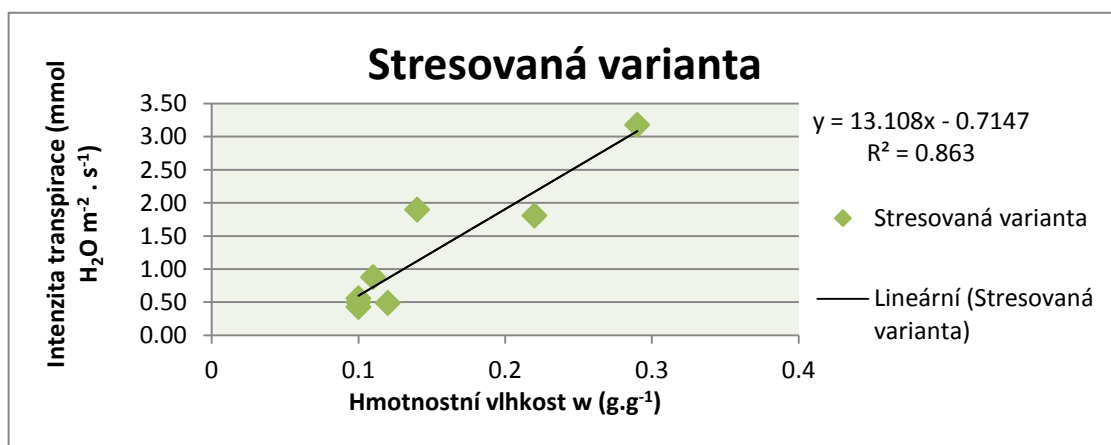
hmotnostní vlhkost zeminy u kontrolní varianty $0,33 \text{ g.g}^{-1}$. Pro stresovou variantu to znamenalo snížení hmotnostní vlhkosti o $0,22 \text{ g.g}^{-1}$. Procentuálně tento pokles u stresované varianty představoval 33,3 % (graf 5 a 6, tab. 7.).

Další měření se provádělo 30. 5 a jednalo se o desátý den působení vodního stresu. U kontrolní varianty byla naměřena hmotnostní vlhkost zeminy $0,35 \text{ g.g}^{-1}$. Stresovaná varianta byla o $0,23 \text{ g.g}^{-1}$ nižší oproti variantě kontrolní. S dalším dnem působení vodní stresu se u stresované varianty hmotnostní vlhkost substrátu snížila o $0,3 \text{ g.g}^{-1}$ oproti kontrolní variantě, u které byla naměřena hmotností vlhkost $0,4 \text{ g.g}^{-1}$. Procenticky se pokles vyjádří 25 % vzhledem ke kontrolní variantě (100 %) (graf 5 a 6, tab. 7.).

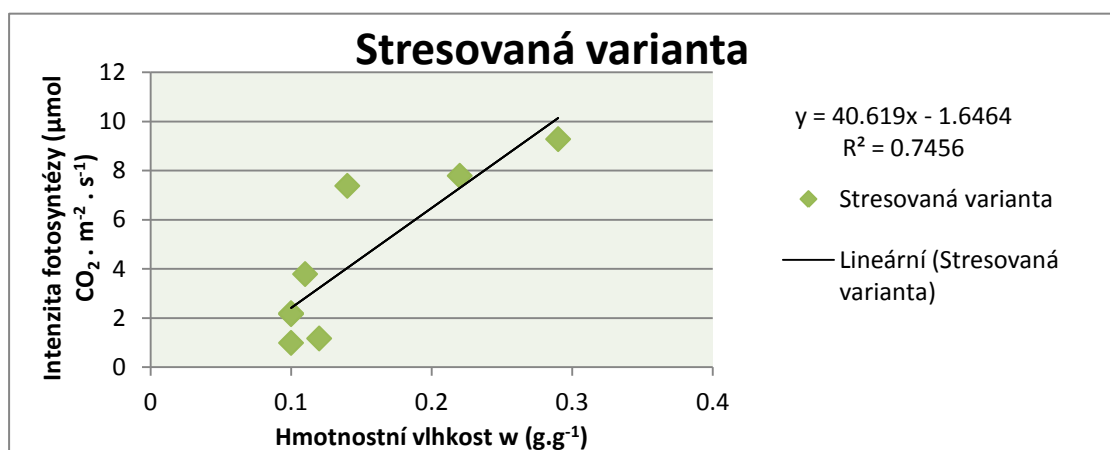
Patnáctý den působení vodního stresu byla hmotností vlhkost zeminy u stresované varianty $0,1 \text{ g.g}^{-1}$, což bylo o $0,26 \text{ g.g}^{-1}$ nižší oproti kontrolní variantě, u které se naměřila hmotností vlhkost $0,36 \text{ g.g}^{-1}$. U sedmnáctého dne měření byl rozdíl mezi hmotnostní vlhkostí substrátu kontrolní a stresované varianty $0,27 \text{ g.g}^{-1}$. Procenticky tento pokles u stresované varianty je 27 % oproti kontrolní variantě (100 %). Poslední den působení vodního stresu se u stresované varianty hmotností vlhkost zeminy snížila o $0,28 \text{ g.g}^{-1}$ oproti variantě kontrolní, která byla naměřená $0,37 \text{ g.g}^{-1}$. Procentuálně byl pokles největší za celou dobu měření, oproti kontrolní variantě, která je 100 %. Pokles u stresované varianty představoval 24,3 % (graf 5 a 6, tab. 7.).



Graf 6 Snížení hmotností vlhkosti v % ve vztahu ke kontrolní variantě (100 %)



Graf 8 Závislost mezi hmotnostní vlhkostí a intenzitou transpirace u stresované varianty



Graf 7 Závislost mezi hmotnostní vlhkostí a intenzitou fotosyntézy u stresované varianty

Z naměřených hodnot intenzity fotosyntézy a transpirace byly stanoveny závislosti těchto charakteristik na hmotnostní vlhkosti (graf 7 a 8) vyjádřené regresní funkcí a korelačním koeficientem. U intenzity fotosyntézy je korelační koeficient 0,86 a u intenzity transpirace 0,75.

7. Diskuze

Podle metodiky probíhal pokus u odrůdy Bohemie. U této odrůdy se zkoumalo působení vodního stresu na intenzitu fotosyntézy, transpirace a půdní vlhkosti. Byly založeny dvě varianty, se stálou zálivkou kontrolní varianta a zcela bez zálivky stresovaná varianta. Pokus probíhal ve sklenících ČZU od 21. 5. 2012 do 8. 6. 2012. Obě varianty byly umístěny ve stejném skleníku a pěstovány za stejné teploty a osvětlení.

Humulus lupulus L. je velmi citlivý na vodní deficit, který působí na metabolické procesy a tím dochází ke změnám u fotosyntézy a transpirace. Dále vodní deficit působí negativně na výnos chmelových hlávek.

Svoboda a kol. (2008) se zabývali působením vláhy na výnos chmele, konkrétně u odrůdy Osvaldova klonu 72. Přičemž u nezavlažované varianty byl výnos nižší o 0,34 t. ha⁻¹, oproti variantě zavlažované u které byl výnos 1,92 t. ha⁻¹. Výsledky potvrzují ovlivnění výnosu chmele v období vodního deficitu.

Fotosyntéza je u chmele zpravidla nejvyšší v období hlávkování, kdy chmel potřebuje nejvíce světla. Při nedostatku slunečního záření chmel nasazuje méně hlávek a ztrácí pivovarskou hodnotu (Krofta a kol., 2010).

U kontrolní varianty odrůdy Bohemie byla zjištěna intenzita fotosyntézy v rozmezí od 9,35 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ do 2,35 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (graf 3.). Podle tabulky 6. byla nejnižší intenzita zjištěna v 10. dni působení vodního stresu.

Hnilíčková a kol. (2008) sledovali rozdíly genotypů chmele na intenzitu fotosyntézy a transpirace. Nejnižší průměrná rychlost fotosyntézy byla u odrůdy Sládek (5,49 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), tato odrůda je starší a oproti novým odrůdám (Agnus, Harmonie a 4527) vykazuje nižší rychlost fotosyntézy.

Hejnák (2010a) zkoumal účinky ozdravených rostlin chmele na intenzitu fotosyntézy. U ozdravených rostlin evidentně prokazuje prodloužení fotosyntetické aktivity listů a rovněž příznivý vliv na tvorbu sušiny rostlin a chmelových hlávek. U ozdravených rostlin představovala intenzita fotosyntézy 8,12 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ – 7,81 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Neozdravené rostliny vykazovaly nižší fotosyntézu v rozpětí od 4,16 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ do 4,54 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

U odrůdy Bohemie ve stresové variantě byla nejnižší intenzita fotosyntézy zaznamenána v 17. dni působení vodního stresu a to 0,99 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tato hodnota odpovídá 15,7 % (Graf 4.) intenzity fotosyntézy kontrolních rostlin (100 %).

Hniličková (2012) uvádí u kontrolní varianty (Osvaldův klon 72) intenzitu transpirace v rozpětí od 2,987 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹ do 3,698 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, oproti odrůdě Bohemie, u které byla intenzita transpirace v rozmezí od 0,94 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹ do 3,59 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹, vykazuje Osvaldův klon 72 vyšší hodnoty. Jak je zřejmé z grafu 1. rychlost transpirace u kontrolní varianty Bohemie se s rostoucí délkou působení vodního stresu snižuje.

Hniličková a kol. (2009) sledovali působení vodního stresu na transpiraci u odrůdy Osvaldův klon 72. U stresované varianty uvádí, že 9. den působení vodního stresu dosáhla intenzita transpirace hodnotu 0,987 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹. Tento údaj odpovídá intenzitě transpirace u odrůdy Bohemie, která v 8. dni působení vodního stresu byla 0,88 mmol H₂O . m⁻² . s⁻¹ (tab. 5.).

Rovněž u dalších zahradních a polních plodin ovlivňuje vodní deficit průběh fyziologických charakteristik, jako je intenzita fotosyntézy a transpirace. Hniličková (2004) uvádí u rajčat, že reagovaly na vodní stres odlišně podle délky jeho působení. Krátkodobé působení vodního stresu směřovalo k postupnému poklesu intenzity transpirace a fotosyntézy. Při dlouhodobém působení vodního deficitu se v první polovině pokusu naměřily hodnoty blízké hodnotám fotosyntézy a transpirace u kontrolní varianty. Čtvrtý den po obnovení zálivky u krátkodobého působení vodního stresu představovala intenzita fotosyntézy u stresované varianty 51,8 % oproti kontrolní variantě. U dlouhodobého působení vodního deficitu byl nárůst rychlosti fotosyntézy dynamičtější. Již třetí den po obnovení zálivky se intenzita fotosyntézy u stresované varianty blížila hodnotám kontrolní variantě.

Květák na dlouhodobé působení vodního stresu reaguje oproti rajčatům výraznějším poklesem intenzity fotosyntéz. Druhý den po obnovení zálivky intenzita fotosyntézy dosahovala úrovně 73,7 % – 84,2 % varianty kontrolní (Hniličková, 2004).

Vodní stres u cukrovky významně snížil intenzitu fotosyntézy a transpirace. Rostliny však lépe hospodařily s vodou, zvýšila se také efektivita využití vody oproti rostlinám, které byly pěstovány s optimální zálivkou (Hejnák, 2010b).

8. Závěr

V bakalářské práci bylo sledováno působení uměle navozeného vodního stresu na fyziologické vlastnosti u mladých rostlin chmele odrůdy Bohemie. Sledovanými fyziologickými charakteristikami byla intenzita fotosyntézy a transpirace a zároveň byl monitorován obsah vody v půdě, který byl vyjádřen hmotnostní vlhkostí.

Na základě výsledku lze konstatovat že:

- U stresované varianty byla nejnižší intenzita transpirace 17. den působení vodního stresu a to $0,43 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. V porovnání s nejvyšší transpirací u stresované varianty došlo k poklesu o $2,75 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Nejnižší transpirace u stresované varianty byla procentuálně vyjádřena 36,4 % oproti kontrolní variantě (100 %).
- Fotosyntéza u stresované varianty dosahovala hodnot v rozmezí od $0,09 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ – $9,28 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Pokles představoval $8,29 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Oproti kontrolní variantě (100 %) představovala nejnižší intenzita fotosyntézy u stresované varianty 15,7 %.
- Hmotnostní vlhkost substrátu byla u stresované varianty v rozpětí od $0,09 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ – $0,29 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$. Nejnižší hmotnostní vlhkost zeminy byla naměřena poslední den působení vodního stresu a představovala 24,3 % vzhledem ke kontrolní variantě.
- Byla nalezena závislost intenzity fotosyntézy a transpirace na obsahu vody v půdě vyjádřené hmotnostní vlhkostí.

10. Použitá literatura

Barrs, H. D. 1968. In: Larcher, W. 1984. Ökologie der Pflanzen. Eugen Ulmer, Stuttgart. 355 p.

Bát'ková, K., Matula, S., Miháliková, M. Multimediální učebnice hydroopedologických terénních měření [on-line]. 2012. Česká verze. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. Nestránkováno. [cit. 2013 – 03 – 28]. Dostupné z < <http://hydroopedologie.agrobiologie.cz/> .> ISBN: 978-80-213-2254-7.

Bláha, L., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Millerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. Rostlina a stres. Praha: VÚRV, 156 s. ISBN 80 – 86555 – 32 – 1

Boyer, J. S. 1970. In: Nielsen, E. T., Orcutt, D. M. 1996. The physiology plants under stress. Third Avenue. New York. 233 - 235 p. ISBN 0 – 471 – 03152 – 6

Gloser, V., Baláž, M., Gloser, J., Svoboda, P. 2012. Faktory ovlivňující rychlost transportu vody v rostlinách chmele. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2012. (Sborník příspěvků). Praha: VÚRV, v. v. i. Ruzyně. 44– 47 s. ISBN 978 – 80- 7427 – 088 – 8 (VÚRV, v. v. i.).

Haberlandt, G. 1914. In: Procházka, S., Macháčková, I, Krehule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. 128 s. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2

Hejnák, V. 2010a. The effect of recovery hop plants from virus diseases on the resilience of the agro – ecosystem of a hop – field. Növénytermelés. 59 Vol. 579 – 582 p.

Hejnák, V. 2010b. Vliv růstových regulátorů na fotosyntézu a vodní režim cukrovky při vodním stresu. Listy cukrovarnické a řepařské. Roč. 126. 27 – 30 s. ISSN 1210 - 3306

Hejný, S., Slavík, B. 1997. Květena ČR 1. díl. Praha: Academia. 557 s. ISBN 80 – 200 – 0643 – 5

Hniličková, H. 2012. Vliv vodního deficitu na rychlost fotosyntézy a transpirace juvenilních rostlin chmele. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2012. (Sborník příspěvků). Praha: VÚRV, v. v. i. Ruzyně. 98 – 101 s. ISBN 978 – 80- 7427 – 088 – 8 (VÚRV, v. v. i.).

Hniličková, H., Hnilička, F., Svoboda, P., Kořen, J., Martinková, J. 2009. The impact of water deficit on selected physiological characteristics of juvenile hop plants (*Humulus lupulus* L.). Cereal Research communications. 37 Vol. 301 – 304 p. ISSN 0133 - 3720

Hniličková, H., Hnilička, F., Krofta, K. 2008. The effect of weather on the hops's photosynthesis and transpiration rate. Cereal Research communications. 36 Vol. 887 – 890 p. ISSN 0133 - 3720

Hniličková, H. Zahrada web [online]. 2004. Působení stresu na základní fyziologické procesy u vybraných druhů zeleniny. [cit. 2013 – 30 - 3]. Dostupné z <<http://www.zahradaweb.cz/>>.

Chmelařský institut s.r.o., Žatec. Atlas českých odrůd chmele. [online]. 2012. 12 s. [cit. 2012 – 10 - 29]. Dostupné z <<http://www.chizatec.cz/>> ISBN 978-80-87357-11-8

Chmelové stránky. Historie chmele na území České republiky. Hajšl, J. [online]. 2005. [cit. 2012 – 03 - 20]. Dostupné z < <http://chmelar.hajsl.cz>>

Kavina, K. 1925. Osvald, K. 1946. In: Rybáček, V., Fric, V., Havel, J., Libich, V., Kříž, J., Makovec, K., Perlík, Z., Sachl, J., Srp, A., Šnobl, J., Vančura, M. 1980. Chmelařství. Praha: SZN. 426 s.

Krofta, K., Brynda, M., Nesvadba, V. 2010. Rajonizace českých odrůd chmele. Chmelařský institut. 73 s. ISBN 978 – 80 – 87357 – 04 - 0

Kubín, Š. 1973. In: Procházka, S., Macháčková, I, Krehule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. 126 s. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2

Larcher, W. 1984. Ökologie der Pflanzen. Eugen Ulmer, Stuttgart. 368 p.

- Lébllová, S., Sofrová, D.** 1982. In: Procházka, S., Macháčková, I, Krehule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. 131 s. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2
- Macháčková, I.** 1998. Růst a vývoj. In: Procházka, S., Macháčková, I, Krehule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. 239 – 243 s. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2
- Malý, J. a kol.** 1998. Polní zelinářství. Praha: Agrospoj. 196 s. ISBN 80 – 239 – 4232 – 8
- Nátr, L.** 1998. Fotosyntéza. Dýchání. In: Procházka, S., Macháčková, I, Krehule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. 124 – 174 s. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2
- Nielsen, E. T., Orcutt, D. M.** 1996. The physiology plants under stress. Third Avenue. New York. 689 p. ISBN 0 – 471 – 03152 – 6
- Rundel, P. W., Dillon, M. O., Palma, B., Mooney, H. A., Gulmon, S. L., Ehleringer, J. R.** 1991. In: Nielsen, E. T., Orcutt, D. M. 1996. The physiology plants under stress. Third Avenue. New York. 327 p. ISBN 0 – 471 – 03152 – 6
- Rybáček, V., Fric, V., Havel, J., Libich, V., Kříž, J., Makovec, K., Perlík, Z., Sachl, J., Srp, A., Šnobl, J., Vančura, M.** 1980. Chmelařství. Praha: SZN. 426 s.
- Slavík, L.** 2000. Využití kapkové závlahy a mikropostřiku při zavlažování chmele. In: Svoboda, P., Hniličková, H., Hnilička, F. 2008. Changes in yield and quality of hop depending on the irrigation. Cereal Research communication. 36 Vol. 891 – 894 p.
- Svoboda, P., Hniličková, H., Hnilička, F.** 2008. Changes in yield and quality of hop depending on the irrigation. Cereal Research communications. 36 Vol. 891 – 894 p.
- Systém pro poradce, agronomy a manažery v rostlinné výrobě.** [online]. [cit. 2013 – 12 – 13]. Dostupné z <<http://www.agrokrom.cz/>>
- Šantrůček, J.** 1998. Vodní režim rostlin. In: Procházka, S., Macháčková, I, Krehule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. 68 – 69 s. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2

Ústav experimentální botaniky. [online]. [cit. 2013 – 02 - 04]. Dostupné z <<http://www.ueb.cas.cz/>>

Von Wettstein et al. 1995. In: Procházka, S., Macháčková, I, Krehule, J., Šebánek, J. 1998. Fyziologie rostlin. Praha: Academia. 130 – 131 s. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2

Zemědělské foto. Chmelařské oblasti. [online]. [cit. 2012 – 12 - 18]. Dostupné z <<http://www.zemedelskeinfo.net/>>

Žatecký chmel. [online]. [cit. 2012 – 12 - 18]. Dostupné z <<http://www.zateckychmel.eu/>>