

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Obsah energie u vybraných druhů listové zeleniny
pěstovaných v podmínkách deficitu vláhy**

Bakalářská práce

Autor práce: Veronika Follaufová

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

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Obsah energie u vybraných druhů listové zeleniny pěstovaných v podmínkách deficitu vláhy" 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 neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16. 4. 2015

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Heleně Hnilíčkové, Ph.D. za odborné konzultace, ochotu, trpělivost, řadu přínosných rad a za veškerý čas, který mi v průběhu zpracování tématu věnovala.

Obsah energie u vybraných druhů listové zeleniny pěstovaných v podmínkách deficitu vláhy

Energy content of selected species of leaf vegetables under the influence of water stress.

Souhrn

Cílem bakalářské práce byl sledován vliv vodního deficitu na změnu obsahu netto energie a tvorbu sušiny u špenátu a čtyřboče. Vodní stres je významný ekologický faktor, který ovlivňuje zemědělskou produkci. Při vodním deficitu jsou omezené základní fyziologické funkce: snížená fotosyntéza, omezený růst rostlin. Vodní deficit ovlivňuje ekonomickou rentabilitu pěstování. Listová zelenina je náchylná v určité vývojové fázi na nedostatek vody.

Pokus byl zaměřen na vodní stres, který působí na změny ve fotosyntéze, transpiraci a půdní vlhkosti. Samotný pokus se zakládal v automatizovaném skleníku Katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Pokus probíhal na jaře od 15. 4. do 6. 5. 2013 s mladými rostlinami špenátu setého a čtyřboče rozložitě. Pokusné rostliny byly rozděleny do dvou skupin, kontrolní a stresované. Varianta kontrolní byla zalévána po celou dobu pokusu, zatím co varianta stresovaná byla 15 dnů bez závlivky a posledních 6 dnů nastala rehydratace.

Materiál byl sušen při 80 °C do konstantní hmotnosti. Výsledná sušina byla zvážena s přesností na 2 desetinná místa. Dále docházelo ke spalování materiálu ve spalném kalorimetru LAGET MS 10A, který funguje na principu spalování v přebytku kyslíku v kalorimetrické bombě za vysokého tlaku. Ze získaných hodnot byl vypočten obsah netto energie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) listů a kořenů. Obsah netto energie se u stresovaných rostlin po opětovné rehydrataci navyšoval, ale průměrné hodnoty obsahu netto energie se nepřevyšovaly nad kontrolní rostliny. Výsledky prokázaly, že hmotnost sušiny u stresovaných rostlin se zvyšovala v průběhu rehydratace. Nejvyšší obsah sušiny listu byl u obou stresovaných variant v poslední den měření, u špenátu 0,41 g a u čtyřboče 1 g. Průměrný obsah sušiny u stresované varianty kořene špenátu a čtyřboče byl 0,03 g.

Klíčová slova: vodní deficit, netto energie, špenát setý, čtyřboč rozložitá

Summary

The aim of this thesis was to investigate the effect of water deficit on the change in net energy content and the formation of dry substance in spinach and New Zealand spinach. Water stress is an important environmental factor affecting agricultural production. When the water deficit, there are basic physiological functions limited: reduced photosynthesis, plant growth limited. The water deficit affects the economic profitability of cultivation. Leafy vegetables are prone to the lack of water at a certain development stage.

The experiment was focused on a water stress, which have an effect on changes in photosynthesis, transpiration and soil moisture. The experiment itself was based in an automated greenhouse of the Department of Botany and Plant Physiology of the Faculty of Agrobiological Sciences, Food and Natural Resources in Prague. The experiment took place in the spring 2013, from April 15th to May 6th with young plants of seeded spinach and Botany Bay spinach. The plants were divided into two groups, control and stressed. The control variation was watered throughout the experiment, while the stressed variation was 15 days without watering and the rehydration occurred for the last six days.

The material was dried at 80 °C until constant weight. The resulting solids were weighed with an accuracy of two decimals. Furthermore, there was burning of material in the calorimeter Laget MS 10A, which works on the principle of combustion in excess oxygen in a bomb calorimeter under the high pressure. The net energy content ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) of leaves and roots was calculated based on the values obtained. The content of net energy of plants under stress rose after re-rehydration, but the average value of the net energy content did not exceed over control plants. The results showed that the dry weight of plants under stress increased during rehydration. The highest solids content of the leaf was in the both stressed variations on the last day of measurement, for spinach 0,41 g and for Botany Bay spinach 1 g. The average dry matter content in stressed variation on the root of spinach and Botany Bay spinach was 0,03 g.

Keywords: water deficit, net energy, seeded spinach, New Zealand spinach

Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	CÍL PRÁCE.....	2
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	3
3.1	Botanická charakteristika špenátu a čtyřboče.....	3
3.1.1	Špenát setý - <i>Spinacea oleracea</i>	3
3.1.1.1	Pěstování	4
3.1.1.2	Sklizeň.....	5
3.1.1.3	Význam	6
3.1.2	Čtyřboč rozložitá - <i>Tetragonia tetragonioides</i>	7
3.1.2.1	Pěstování	7
3.1.2.2	Sklizeň.....	8
3.1.2.3	Význam	8
3.2	Fyziologické stresy.....	9
3.2.1	Obecná charakteristika stresu.....	9
3.2.2	Vodní stres	12
3.2.3	Sucho jako faktor vyvolávající stres	14
3.2.4	Vliv vodního stresu na fyziologické charakteristiky a tvorby výnosu u zeleniny	14
3.2.5	Odolnost ke stresům.....	16
3.3	Energetické vztahy v rostlině a tvorba sušiny.....	18
3.3.1	Obecná charakteristika.....	18
3.3.2	Obecné principy kalorimetrie.....	18
3.3.3	Využití spalné kalorimetrie ve stresové fyziologii rostlin.....	19
3.3.4	Vliv vodního stresu na obsah energie a tvorby sušiny	21
3.3.5	Sušina.....	22
4	MATERIÁL A METODY.....	23
4.1	Popis pokusných odrůd.....	23
4.2	Charakteristika pokusu	23
4.3	Kalorimetrické stanovení spalného tepla	24
4.3.1	Spalné teplo.....	26
4.4	Stanovení vlhkosti půdy	27
5	VÝSLEDKY	29
6	DISKUSE.....	37
7	ZÁVĚR	40
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	41

1 Úvod

Zelenina je velmi důležitou složkou potravy. Získáváme z ní zdroj ochranných látek – vitamínů, především vitamínu C, provitamínu A, vitamínů B₁, B₂, PP, E a vitamínu K. Zelenina také obsahuje minerální látky, jako vápník, fosfor, hořčík, síru, železo, draslík a jiné prvky, i látky léčivé – fytoncidy, antibiotika, diuretika apod.

Význam špenátu setého a čtyřboče rozložitě postupně v České republice vzrůstá a má široké uplatnění. Špenát spolehlivě přezimuje a je značně odolný proti vyběhání do květu. Svými růstovými vlastnostmi je velmi vhodný také pro velkovýrobu. Špenát se dá použít k přípravě chutných a hodnotných pokrmů, má v sobě až čtyřikrát více beta-karotenu než brokolice. Ve stravě je významným zdrojem vitamínů, minerálů a stopových prvků. Mimo vitamín obsahuje vlákninu působící na snížení hladiny cholesterolu v krvi. Vykazuje vysoké hodnoty kyseliny listové, kterou lékaři doporučují jako prevenci proti cévním a srdečním onemocněním. O špenátu se mluví jako o zelenině nejbohatší na bílkoviny a má vysoký obsah železa. Bílkovina špenátu se skládá ze 77 % bílkovin, 4 % kyseliny amidové a 10 % jiných dusičných sloučenin, z části minerálních. To, co řadí špenát mezi hodnotnou zeleninu, je významný obsah listové zeleně, která je důležitá pro krevtvorbu a rovněž i obsah minerálních látek. Špenát lze krátkodobě skladovat a má význam v mrazírenském zpracování.

Pro pěstování zeleniny je důležité zajistit vhodné podmínky pro růst a vývoj rostlin výběrem vhodných oblastí. V době vláhového deficitu zajistit doplňkovou umělou závlahu. Závlahou je možné zvýšit tvorbu zelené hmoty, usnadnit příjem živin a tím zvýšit i výnos rostlin. Vodní deficit vede u rostlin ke stresu, při kterém může nastat zmenšování listové plochy, snížení výnosu, negativní ovlivnění fotosyntézy a další nežádoucí účinky. Negativní dopad vodního deficitu je možné eliminovat různými opatřeními (dostatečnou zálivkou, zastíněním, správným osevním postupem). Vodní deficit je největším limitujícím stresorem, který působí na změny metabolických a fyziologických procesů a to obzvláště na poruchy růstu a vývoj u rostlin. Jednou z možností, jak předejít následkům vláhového deficitu je případné šlechtění.

2 Cíl práce

Nedostatek vody je závažný stresový faktor, který limituje zemědělskou produkci. Listová zelenina je náročná na dostatek vody během vegetačního období. Působením vodního stresu dochází k zpomalení růstu, který se projeví snížením přírůstků sušiny rostlinné biomasy, v důsledku toho dochází rovněž ke změnám v energetickém obsahu sušiny. Cílem práce je u rostlin špenátu setého a čtyřboče rozložitě stanovit v podmínkách vodního stresu změny v přírůstcích sušiny a obsahu netto energie.

Z výše navržených cílů byly stanoveny následující hypotézy:

- existuje rozdíl v hodnotách hmotnosti sušiny u špenátu setého a čtyřboče rozložitě
- existuje rozdíl v obsahu energie v rostlinných orgánech
- vodní stres ovlivňuje obsah energie v jednotlivých orgánech

3 Literární přehled

3.1 Botanická charakteristika špenátu a čtyřboče

3.1.1 Špenát setý - *Spinacea oleracea*

Špenát setý je nejznámější a nejrozšířenější špenátovou zeleninou, to znamená listovou zeleninou upravovanou vařením. Pravděpodobně vznikl z planého druhu *Spinacea tetrandra*, který roste od Kavkazu přes Turkestán a Írán, až po Afghánistán. Nejstarší zmínka o špenátu pochází ze Španělska. V 16. století byl již v Evropě běžnou zeleninou. Jeho latinský název a odvozeniny v řadě evropských jazyků vznikly pravděpodobně z latinského *spina*, ostn, podle jeho semen s pichlavými ostny. Ostnitá semena, která se špatně vysévají, má však pouze varieta *spinosa*. Většina dnešních druhů patří ke kulatosemenné varietě *inermis*, která je k výsevu mnohem výhodnější (Pekárková, 2002).

Rostlina špenátu je jednoletá. Vytváří nejdříve růžici sytě zelených hladkých nebo bublinatých lesklých listů, později rozvětvený, 60 až 70 cm vysoký květní stonek. Rostlina je výrazně dlouhodobní, proto při pozdním jarním výsevu vybíhá rychle do květu. Původní typy špenátu byly dvoudomé, to znamená, že porost sestával z oddělených samčích a samičích rostlin. Ty se navíc výrazně lišily celkovým olistěním a rychlostí vykvétání, což jsou významné hospodářské vlastnosti. Rychleji vybíhající a méně olistěné samčí rostliny jsou mnohem méně hodnotné než samičí. V posledních letech byly zavedeny F₁ hybridy, jejichž předností je, že vytvářejí pouze rostliny s obojími květy, tedy rostliny jednodomé, takže porost je více olistěný a vzrůstem vyrovnaný. Hybridy kromě toho mají kombinovatelnou rezistenci k obávané plísni špenátové (Pekárková, 2002).

Lodyha je přímá, 30 – 60 (100) cm vysoká (samčí rostliny jsou o něco vyšší a řidčeji olistěné než samičí), nepravidelně hranatá, lysá. Přízemní listy dlouze nebo krátce řepíkaté, s čepelí nejčastěji trojúhelníkovitě vejčitou, zaobleně trojúhelníkovitou až slabě hrálovitou, až 25 cm dlouhou. Lodyžní listy jsou užší a s kratším řapíkem, většinou zaobleně střelovité až hrálovité, horní lodyžní listy jsou podlouhlé nebo kopinaté, mladé listy s měchýřkovitými trichomy. Květy jednopohlavné, ojediněle oboupohlavné (u některých kultivarů častěji). Plod (nažka, obalená neúplně srostlými a ztvrdlými listenci) buď kulovitý až vejcovitý, hladký nebo čihovitý, se 2 (-6) masivními ostnitými výrůstky, 2 – 4 mm velké (Hejný a Slavík, 2003).

Cennou složkou špenátových listů jsou bílkoviny, minerální látky (především jód a železo), dále provitamin A a vitamíny B1, B2, C, K a kyselina křemičitá (Křesadlová a Vilím, 2005).

Špenát zahradní obsahuje ze všech špenátových zelenin nejvíce nežádoucí kyseliny šťavelové, která váže v lidském těle vápník. Její obsah (2 g na 1 kg špenátové hmoty) nepřekračuje však pro zdravé osoby nebezpečnou hladinu. Jejímu vyššímu obsahu se dá předejít dostatečným hnojením fosforem a draslem, včasnou sklizní nevybíhajících rostlin a také kuchyňskou úpravou. Špenát sice nesmí trpět nedostatkem dusíku, jednostranné přehnojování dusíkem však vede k nežádoucímu vysokému obsahu dusičnanů v listech. Předcházíme tomu umírněným dusíkatým hnojením a volbou amonných forem hnojiv místo dusičnanových (Pekárková, 2002).

Vyvážený poměr živin je velice důležitý. Nedostatek vápníku (v kyselých půdách) se projeví poruchou růstu a vývoje rostlin. Špenát indikuje nedostatečně provápněnou půdu vyšším obsahem kyseliny šťavelové. Na kvalitu sklizně se také podílí draslík. Při jeho nedostatku je celková kvalita sklizně zhoršena (Hlušek a kol., 2002).

3.1.1.1 Pěstování

Špenát je teplotně náročná zelenina, která v našich podmínkách může přezimovat. Půdy by měly být středně těžké, dostatečně zásobené živinami. Polohy by měly být slunné a otevřené, kde se dlouho neдрží vlhkost (Pokluda, 2009).

Špenát má krátkou vegetační dobu a není na pěstební prostředí náročný (Křesadlová a Vilím, 2005). Slouží pěstitelům jako indikátor půdní úrodnosti. Potřebuje také dostatek vláhy a dostatečně světlé stanoviště. Rychle roste, takže se dobře hodí do meziřádků smíšených kultur s pomalu rostoucími zeleninami. Je mrazuvzdorný, pod sněhem snese mráz až do -20 °C. Nejmrazuvzdornější jsou staré odrůdy s ostnitými semeny a vykrajovanými listy, dobře však přezimují i dnešní kulatosemenné odrůdy, pokud jsou ozimé, vyšlechtěné k přezimování. Špenát se vysévá přímo na stanoviště. Rozložení sklizně do delšího vegetačního období je možné jen pěstováním mimo letní období, kdy rostliny rychle vybíhají do květu. K vybíhání do květu, aniž by se předem vytvořila růžice, přispívá však také sucho, nedostatek živin, zastínění a také příliš hustý porost. Abychom získali mohutně olistěné růžice, vyséváme je ve třech různých termínech: časně na jaře pro jarní sklizeň, pozdě v létě

pro podzimní sklizeň a brzo na podzim k přezimování pro jarní sklizeň. Pro každý z těchto termínů je třeba volit odrůdy k tomu určené (Pekárková, 2002).

Vzhledem k rychlému růstu a mělké kořenové soustavě má tato zelenina vysoké nároky na vodu. Pravidelná zálaha během vegetace je podmínkou (Petříková a Malý, 2004).

Nejvyšší výnosy a nejranější sklizeň se získává z přezimovaného špenátu. Úspěšně přezimují jen rostliny včas vyseté, které vytvořily několik pravých listů. Pro přezimování vyséváme dvojnásobné množství osiva, než na jaře nebo koncem léta. Základní pěstitelské údaje špenátu setého jsou uvedeny v tabulce č. 1. Špenát je také možné přirychlovat pěstováním pod sklem nebo urychlit jeho vývoj na jaře, popřípadě prodloužit jeho vegetaci na podzim krytím netkanou textilií. Tyto metody se však u nás uplatňují jen zřídka, z důvodu zvýšení finanční náročnosti na pěstování (Pekárková, 2002).

Špenát se díky krátké vegetační době (40 – 70 dnů) pěstuje jako předplodina nebo jako následná plodina (Petříková, 2006).

Nejkomplexnější ochranou listové zeleniny před chorobami je výběr co nejrezistentnější odrůdy, zdravého osiva a sadby. Preventivní ochrana také spočívá v dostatečné přípravě pozemku, v dodržování pěstebních zásad a ve využití vhodných agrotechnických postupů (doba a hustota setí, střídání plodin a dobrá výživa, regulace plevelů). To vše ovlivňuje kvalitu a odolnost pěstované zeleniny vůči vnějším vlivům (Petříková a Malý, 2004).

3.1.1.2 Sklizeň

Špenát se v zahrádkách sklízí nejčastěji vyřezáváním celých listových růžic nebo také otrháváním jednotlivých listů. Při průmyslovém pěstování se jednorázově mechanizovaně sežíná. Sklízet se musí v chladné části dne, aby nedošlo k zapaření. V západní Evropě jsou běžné také husté výsevy, určené k využití mladých čerstvých listů, které se sklízí seřezáváním, když jsou přibližně 10 cm vysoké (Pekárková, 2002).

Špenát potřebuje nejvíce vody až krátce před sběrem. Dávky vody se volí nižší a pravidelné (Pokluda, 2009).

Nejnebezpečnějším škůdcem špenátu jsou larvy květilky špenátové v listech. Řešením je předčasná sklizeň při prvotním výskytu nebo chemická ochrana, kterou však komplikuje třínedělní ochranná lhůta před sklizní. V chladničce vydrží špenátové listy asi týden (Pekárková, 2002).

Hořkost se dostaví v případě, že špenát vyběhá do květu (Pokluda, 2009).

3.1.1.3 Význam

Špenát je běžně pěstován jako listová zelenina v polních i zahradních kulturách. Sklízají se pouze listy přízemních růžic před vyhnáním květonosných lodyh. Pěstuje se v řadě kultivarů, lišících se tvarem, barvou a zprohýbáním listů, ale hlavně rychlostí růstu a vybíháním do květu a odolnosti proti peronospoře špenátové. V České a Slovenské republice jsou povoleny 3 domácí kultivary; tradiční univerzální cv. Matador, později vybíhající cv. Herkules a nově vyšlechtěný univerzální cv. Monores (Hejný a Slavík, 2003).

Pěstuje se téměř po celém území České a Slovenské republiky. Špenátu se nejlépe daří ve středně těžkých hlinitých půdách ve slunných a rovinných plochách. Nesnáší zamokřené půdy a mrazové kotliny, kde při ozimém pěstování vymrzá. Špenát je dlouhodobní rostlina, která kvete v letním období s dlouhými dny, proto jej lze pro konzumní účely pěstovat pouze na jaře a na podzim. Pěstuje se buď jednoletým způsobem (výsev i sklizeň na podzim nebo na jaře) nebo ozimým způsobem (výsev na podzim, sklizeň na jaře). Špenát je rozšířen po celém světě kromě tropů. Kultura špenátu pochází z Přední a Střední Asie, kde rostou též oba plané druhy (*Spinaea tetrandra* a *Spinacea turkestanica*). Koncem starověku se dostala do Středozeří, do ostatní Evropy v raném středověku. V 16. století byl špenát všeobecně rozšířen (Hejný a Slavík, 2003).

Tabulka č. 1: V následující tabulce jsou uvedeny základní pěstitelské údaje špenátu setého

Hmotnost 1000 semen	Spotřeba semen	Teplota klíčení	Klíčivost	
1 g	0,1 g na 1 m ²	15 – 20 °C	10 let	
Způsob pěstování	Výsev	Výsadba	Vzdálenost rostlin (v cm)	Sklizeň
Přímý výsev	V	-	20 x 25	VI - VIII
Předpěstování sazenic	IV - VI	V - VII	20 x 25	VI - VIII

Zdroj: Vlastní zpracování dle Pekárková, Eva (2002)

3.1.2 Čtyřboč rozložitá - *Tetragonia tetragonioides*

Čtyřboč rozložitá je jednou z mála plodin, které pocházejí z jižní polokoule. Jejím domovem je Nový Zéland a ostrovy přiléhající k Austrálii. Odtud se již v dávných dobách rozšířila do Jižní Ameriky a do Japonska. V 18. století byla dovezena do Velké Británie a pomalu se šířila do ostatních částí Evropy pod názvem novozélandský špenát (Pekárková, 2002).

Český název čtyřboč i vědecké pojmenování *Tetragonia* je odvozeno od neobvyklého čtyřhrého tvaru plodu, který se obvykle považuje za semeno. Je naprosto nezaměnitelný s plody jiných zeleninových druhů, je velký a obsahuje několik pouzder s jednotlivými semeny (Pekárková, 2002).

Čtyřboč je rostlina pravému špenátu botanicky velmi vzdálená. Špenátem se nazývá jenom proto, že se stejným způsobem využívá. U nás roste jako jednoletá, poléhavá, s bohatě rozvětvenými, až 1 m dlouhými výhony. Koření poměrně mělce. Listy jsou tmavozelené, kosočtverečné, řapíkaté, silně dužnaté a mají na povrchu řídce rozložené žlázy. Květy jsou malé, nenápadné, žlutozelené a vyrůstají jednotlivě v paždí lístků (Pekárková, 2002).

Semeník 3 – 8 pouzdrů, v každém pouzdru 1 vajíčko. Plod (tvrdnoucí) peckovice, obvejčitá, se 4 – 5 trnovitými výrůstky (Hejný a Slavík, 2003).

Čtyřboč rozložitá je u nás málo známá zelenina. Obsahuje 92 % vody, 1,2 % bílkovin, 0,4 % tuku, 2,2 % bezdusíkatých extraktivních látek a z toho 0,8 % cukru. Ve 100 g je 40 mg vitamínu C a 2 mg beta karotenu. Obsah kyseliny šťavelové je okolo 240 mg přibližně jako u obyčejného špenátu (<http://old.agroporadenstvo.sk/rv/zelenina/spenat.htm?start>).

Čtyřboč je výhodnou letní náhradou pravého špenátu, ale jeho sklizeň je pracná, proto se nepěstuje na velkých plochách a zůstává výhradně zahrádkářskou zeleninou (Pekárková, 2002).

3.1.2.1 Pěstování

Novozélandský špenát je poměrně teplomilný a má rád vlhko. Vzhledem k pomalému klíčení, citlivosti k mrazu a značné rozložitosti rostliny se zásadně vysazují předpěstované sazenice (Pekárková, 2002).

Odolnost k suchu je naopak vyšší než u špenátu. Sukulentní listy a stonky v sobě uchovávají zásobu vody (Křesadlová a Vilím, 2005).

Plody mají až 1 cm v průměru a jejich osemení je značně tvrdé, proto se před výsevem musejí namočit do vody, aby nabobtnaly. Teprve po dvou dnech se vysévají do nádob nebo sadbovačů a skupina vzešlých rostlinek se následně vyjednotí. Sazenice se vysazují po odeznění mrazů na chráněné místo na venkovním záhoně nebo do pařeniště po vyklizení předpěstovaných sadeb. Využít jde i záhonů po sklizených raných bramborách nebo raných zeleninách. Na trvalé stanoviště se sazenice vysazují na dostatečnou vzdálenost 40 až 80 cm. Vytvářejí značnou hmotu listů, takže na zahrádce stačí jen několik málo rostlin. Zpočátku rostou jen pomalu, proto je výhodné umístit je mezi jinou rychle rostoucí a brzy sklizenou zeleninu. Porost postupně vytvoří souvislý přízemní kryt olistěných stonků. Základní pěstitelské údaje čtyřboče rozložitě jsou uvedeny v tabulce č. 2 (Pekárková, 2002).

Záhony musí být dokonale odplevelené, později povrch dostatečně kryje povrch půdy a nedovolí prorůstání plevelů. Mělo by se počítat s velkým nárůstem výhonů, proto se musí rostlinám poskytnout dostatečná vzdálenost. Provádí se pravidelná závlaha (Pokluda, 2009).

Po skončení vegetace se může zbytek rostliny v půdě ponechat, dobře slouží jako zelené hnojivo a má také minimální odpad při zpracování (Petříková, 2006).

3.1.2.2 Sklizeň

S prvními sklizněmi můžeme počítat za 50 až 70 dní po výsevu. Odřezáváme nebo odštipujeme mladé dužnaté vrcholky výhonu se 4 až 5 listy před zahájením jejich kvetení. Takovou sklizní zároveň podpoříme větvení lodyh a tvorbu nových výhonů. Rostlinu přitom nechudíme o starší střední listy, důležité pro asimilaci a další vývoj, prospívá jí pravidelná sklizeň. Hlavní růst a sklizeň trvá 3 až 4 měsíce a spadá do letního období s vysokými teplotami od července až do září nebo října (Pekárková, 2002).

Zpracovává se ihned, poněvadž výhony brzy zavadají. Skladování tedy není reálné, ale může se krátkodobě nechat zamrazit (Pokluda, 2009).

3.1.2.3 Význam

Uplatňuje se podobně jako špenát, výhodou je, že není hořká ani v létě. Čtyřboč je bohatá na vitamíny A, B, C, vápník, železo, draslík, sodík a další minerální látky (Pokluda, 2009).

Tabulka č. 2: V následující tabulce jsou uvedeny základní pěstitelské údaje čtyřboče rozložitě

Hmotnost 1000 semen	Spotřeba semen	Teplota klíčení	Klíčivost	
70 g	0,6 g na 1 m ²	20 - 30 °C	3 - 4 roky	
Způsob pěstování	Výsev	Výsadba	Vzdálenost rostlin (v cm)	Sklizeň
Venkovní záhon	III - V	V - VI	40 - 60 x 80	VI - IX
Pařeniště	III - V	V - VI	40 - 60 x 80	VI - IX

Zdroj: Vlastní zpracování dle Pekárková, Eva (2002)

3.2 Fyziologické stresy

3.2.1 Obecná charakteristika stresu

Životní prostředí rostlin je charakterizováno proměnlivými vnějšími podmínkami, které jsou buď pro jejich růst, vývoj a rozmnožování vhodné anebo jsou méně vhodné a nutí rostliny měnit se a přizpůsobit se stávajícím podmínkám prostředí. Ke změnám morfologie a funkcí organismů dochází nejen pod vlivem proměnlivého prostředí, ale někdy i v optimálních podmínkách, např. u některých genetických mutací. Na tomto místě je nutné uvést dva pojmy – modifikace a mutace. Jedná se o změny rostlin, které jsou v obou případech spojené s vlivem stresorů, probíhající na různých úrovních (Bláha a kol., 2003).

Modifikace je nedědičná fenotypická změna, která trvá do vyznění příčiny, jež ji způsobuje. Rostlina například změní habitus pod vlivem vnějších podmínek, ale její potomstvo má opět původní tvar těla. Modifikace může být někdy značně výrazná. Mutace je naopak trvalá genetická změna, tj. změna, která se předává i na potomstvo. Kromě řady různých příčin může být způsobena též vlivem stresorů, kdy “tlak“ vnějšího prostředí je tak velký, že dosavadní fyziologický stav rostliny je již nevýhodný pro dané prostředí (Bláha a kol., 2003).

Výzkum vztahů mezi rostlinou a vnějším prostředím je obvykle započat studiem přenosu podnětů, vyvolávajících stres na rozhraní rostlinných orgánů a vnějšího prostředí a dále pak přenos těchto signálů uvnitř rostlinného těla. Stresové faktory mohou pronikat do vnitřního prostředí rostlin různých druhů nesterjně snadno, a to především v důsledku různě vyvinutých ochranných struktur (Larcher, 1995).

Nepříznivé vlivy vnějšího prostředí mohou zpomalovat životní funkce rostlin, poškozovat jednotlivé orgány rostlin, či dokonce navodit odumření rostlin. Každý rostlinný druh toleruje určité rozpětí jednotlivých faktorů a interval mezi minimální a maximální tolerovanou hodnotou se nazývá ekologickou valencí faktoru. Optimum je taková hodnota faktoru, při které se organismus nejlépe vyvíjí (Bláha a kol., 2003).

Pro snížení dopadu nepříznivých abiotických faktorů se ve světě zaměřují do dvou oblastí. První je šlechtění, kde se hledají genotypy se zvýšenou plasticitou, adaptačními vlastnostmi a tolerancí ke stresům. Pokrok v molekulární biologii umožňuje postupně lokalizovat specifické vlastnosti v genomu rostlin a slibuje pokrok i ve šlechtění na odolnost k suchu. Schopnost genotypu odolávat nepříznivým podmínkám je však dána souborem vlastností, projevujících se na různé úrovni, od metabolismu na úrovni buňky, morfologie nadzemních orgánů a kořenů, až po strukturu porostu, a proto je nutné definovat šlechtitelské cíle u jednotlivých dílčích znaků a procesů. Nejvyšší přínos se očekává od snížení transpirace bez redukce produkce (rychlé uzavření průduchů, robustnější Caspariho proužky, mechanismus ochlazování listů) nebo zvýšení produkce bez zvýšení transpirace (kratší vegetační doba, vysoká vitalita mladých rostlin, vyšší sklizňový index, vyšší čistá fotosyntéza na jednotku transpirované vody, prodloužení životnosti praporcového listu, vyšší efektivnost využití dusíku). Jako nezbytný základ se uvádí genotypově založený rychlý růst kořenů a jejich efektivnost v příjmu živin a vody. Dosud však byla introdukce genů vyšší odolnosti ke stresům ve srovnání s méně odolnými genotypy provázena nižším výnosovým potenciálem za příznivých podmínek (Haberle a kol., 2008).

Druhou oblastí je široká problematika agrotechniky, sahající od termínu a technologie zpracování půdy a setí, přes organizaci porostu, systémy hnojení až po aplikaci fyziologicky aktivních látek a hnojiv na list. Cílem těchto opatření je vytvořit s předstihem vhodné podmínky v půdním prostředí, rostlině a porostu, které by zvýšily schopnost překonat období stresu. Některé z agrotechnických postupů jsou samozřejmě pěstiteli používány na základě dlouholetých zkušeností, ale netvoří ucelený systém pro konkrétní podmínky, které jsou charakterizované např. mírou rizika (pravděpodobnosti výskytu) stresu sucha určité úrovně nebo typu (Haberle a kol., 2008).

Na živé organismy nikdy nepůsobí pouze jednotlivé faktory vnějšího prostředí, ale celý komplex vlivů, abiotických (fyzikálních a chemických) a biotických faktorů (živých organismů včetně člověka), které vstupují do vzájemných interakcí. Při působení stresorů může rostlina dosáhnout nového rovnovážného stavu na základě činnosti kompenzačních procesů. Stresovou reakci rozdělujeme na 4 fáze (poplachová fáze - restituční fáze - fáze rezistence - fáze vyčerpání). Poplachová fáze je zahájena bezprostředně po účinku stresorů či spíše kombinace stresorů, kdy jsou jejich působením narušeny buněčné struktury a životní funkce rostlin. V restituční fázi, nedojde-li ovšem k překročení letální meze rostliny a k jejímu úhynu, začnou pracovat kompenzační mechanismy. Tyto mechanismy směřují ke zvýšené odolnosti rostliny ve fázi rezistence vůči působícím stresorům. Při dlouhodobém a intenzivním vlivu stresorů nemusí být zvýšená odolnost rostliny vždy trvalého charakteru a může dojít opět k jejímu poklesu ve fázi vyčerpání. Výsledkem stresové reakce je určitá úroveň adaptační schopnosti. Přechodně se může zvýšit i úroveň odolnosti vůči abiotickým stresorům – tento jev se nazývá aklimace. Řada rostlinných druhů se dokáže vyhnout působení stresů, většinou se však rostlina pokouší o nastolení tolerance vůči stresu (Bláha a kol., 2003).

Nepříznivé abiotické faktory působí na výživu rostlin přímo i nepřímo, přes půdu a atmosféru. Jde o velké množství různorodých procesů v rostlině od hormonálních a biochemických změn na úrovni buňky, přes adaptační změny v anatomii a morfologii kořenů a nadzemních částí, až po změny ve struktuře porostu. Bez pochopení těchto dějů a jejich vzájemných interakcí není možné efektivně omezit působení stresových faktorů (Haberle a kol., 2008).

Výsledkem stresové reakce je určitá úroveň adaptační schopnosti. Přechodně se může zvýšit i úroveň odolnosti vůči abiotickým stresorům – tento jev se nazývá aklimace. Řada rostlinných druhů se dokáže vyhnout působení stresů, většinou se však rostlina pokouší o nastolení tolerance vůči stresu (Bláha a kol., 2003).

Na rostliny nepůsobí pouze fyzikální a chemické vlivy vnějšího prostředí (abiotické faktory), ale také živé organismy, a to v pozitivním i negativním slova smyslu. Mezi biotické stresory je možné zařadit patogenní mikroorganismy, jako jsou např. viry, bakterie, houby, dále hmyzí a živočišné škůdce, ale také samotné rostliny (Larcher, 1995).

Jako hlavní negativní faktor v produkci rostlin se však stává zvyšování variability počasí. Výkonná plastická adaptabilní plodina by měla po odeznění stresu mít rychlý návrat do původní úrovně metabolismu (Haberle a kol., 2008).

3.2.2 Vodní stres

Vodní stres neboli sucho (nedostatek vody) je pro rostliny nejvíce limitující stresor, snižuje aktivitu všech enzymů v rostlině a zpomaluje růst rostlin. Příčinou nedostatku vody dostupné pro rostliny jsou nejčastěji klimatické poměry a průběh počasí. Vlastní příjem vody rostlinou je závislý také na obsahu živin a solí v půdě, ale i na půdní reakce. Vodní stres je často ovlivněn i zasolením (Bláha a kol., 2003).

Vlivem některých stresorů, jako je nízká teplota, zasolení či půdní reakce mohou také zapříčinit vodní deficit (Nielsen and Orcutt, 1996).

Jeden z nejvýznamnějších stresorů, který působí na rostliny, je vodní deficit (nedostatek vody, sucho, přisušek). Tento stresor snižuje aktivitu všech enzymů v rostlině a zpomaluje růst rostlin. Příčinou nedostatku vody dostupné rostlinám jsou nejčastěji klimatické poměry a průběh počasí. Vlastní příjem vody rostlinou je závislý také na půdní reakce, obsahu živin a solí v půdě, a proto je vodní stres často ovlivněn i zasolením. Jakýkoliv nedostatek vody vede ke změnám buněčného obsahu, zvýšené koncentraci buněčné šťávy a k postupné dehydrataci protoplazmu. První a nejcitlivější reakcí na nedostatek vody je snížení turgoru a zpomalení růstových procesů (Brestič a Olšovská, 2001). Ve stresových rostlinách se dále zvyšuje koncentrace iontů K^+ , Na^+ , Cl^- a proteinu prolinu (Slama et al., 2006).

Při působení vodního stresu se snižuje především růst a fotosyntéza. Důležitou úlohou vody je udržování turgidity. Turgor u rostlin má hlavní úlohu při růstu a prodlužování buněk. Důležitou má i při otevírání průduchů a pohybu listů a květních obalů. Je známo, že při snižování turgoru dochází nejdříve k redukci prodlužování listů a teprve později k redukci fotosyntézy. Růst je tedy na snižování turgoru citlivější než fotosyntéza (Bláha a kol., 2003).

Nejcitlivěji reaguje na nedostatek vody prodlužovací růst buněk. Růst začíná zvětšováním objemu buňky absorpcí vody do vakuol a zvětšováním plochy povrchu buněčné stěny. Nedostatkem vody je prodlužovací růst inhibován ve fázi, kdy na primární buněčné stěně probíhá proces vkládání nových stavebních látek mezi staré, tzv. plošný růst buněčných stěn. K měřitelnému zpomalení růstu dochází již při velmi malých ztrátách vody, kdy turgor klesne jen o 0,1 až 0,2 MPa. Úplné zastavení růstu nastává při poklesu turgoru na – 0,3 až 0,4 MPa. K zastavení růstu dojde dříve než ke zjevnému vadnutí listů či k ovlivnění hlavních metabolických procesů, včetně fotosyntézy. Při dalším poklesu vodního potenciálu buněk zhruba na hodnotu – 0,2 až 0,8 MPa dochází k rychlým změnám aktivity enzymů, snižuje se aktivita enzymů nitrátreduktázy, naopak stoupá činnost alfa amylázy, ribonukleázy, hydrolýzy. Snižuje se syntéza proteinů a cytokininů a zpomaluje se buněčné dělení. Při

pokračujícím nedostatku vody se začínají projevovat další metabolické změny, a to především u fotosyntézy a transportních pochodů v buňce (Bláha a kol., 2003).

Při dlouhodobém nedostatku vody se zvyšuje hladina vodního deficitu. Tím se snižuje turgorový tlak. Buňky se tím pádem budou méně rozpínat a zmenší svůj objem. Dojde-li k nedostatku vody hned na začátku růstového cyklu, dochází ke zmenšení listové plochy. Růst listů je na vodní stres mnohem citlivější než fotosyntéza a transpirace. Nastane-li snížení turgoru v období vývoje květu, dochází k redukci květů a redukci reprodukce, omezení růstu rostlin, biomasy a opadu plodů. Reakce na vodní stres je rozdílná mezi rostlinnými druhy (Taiz and Zeiger, 2002).

V reakci na nedostatek vody se v rostlině spouští kaskáda biochemických a fyziologických procesů a morfologických změn, kterými se rostlina adaptuje na sníženou dostupnost vody. Tyto adaptace můžeme pozorovat v prostoru jako urychlený vývoj, vadnutí a stáčení listu za horkých větrných dnů nebo rychlejší žloutnutí a opad spodních pater listů. Citlivost k suchu, stejně jako k vysokým teplotám, se u plodin mění v průběhu vývoje, což souvisí s tvorbou výnosotvorných prvků a kvalitativních znaků (Haberle a kol., 2008).

Nedostatek vody u rostlin ovlivňuje v první řadě průduchy, jejichž uzavíráním zpomaluje výměnu CO_2 a dochází k omezení fotosyntézy. Fotosyntéza může být limitována dvěma způsoby, a to stomatální a nestomatální inhibicí souběžně (Bláha a kol., 2003).

Během vodního stresu dle Bláhy a kol., (2003) se zvyšuje degradace chlorofylu a klesá jeho koncentrace. Je omezen transport látek, akumulace sušiny a hromadění energeticky bohatých látek, dochází také k hromadění toxických látek. Při silném vodním stresu může dojít dokonce k porušení membrán a k uhynutí rostlin.

V podmínkách, kde je omezené množství vody, dochází u rostlin ke ztrátě vody do prostředí, a to zapříčiní usychání buněk. Rostliny, které jsou vůči suchu odolné, snáší vodní deficit po delší dobu. Ale i u odolných rostlin může nastat „bod trvalého vadnutí“. Relativní obsah vody poklesl do takové míry, že ani opětovné zalévání nedokáže rostlinu zachránit. Kritický vodní deficit bývá definován jako usychání (Jenks and Hasegawa, 2005).

Na nedostatek vody reaguje rostlina zvýšeným růstem kořenů (na úkor nadzemních částí), silný vodní stres však již růst kořenů snižuje, protože rostlina nemá dostatek asimilátů (Haberle a kol., 2008).

3.2.3 Sucho jako faktor vyvolávající stres

Odolnost k suchu nabývá na významu i v našich podmínkách. V souvislosti s intenzivním hospodařením na půdě (rostoucí potřeba vody pro zajištění zvyšujících se výnosů) a zejména pak v důsledku globálního oteplování vzrůstá význam suchovzdornosti zemědělských plodin. Přímé hodnocení suchovzdornosti v polních či skleníkových pokusech je však náročné a nelze je využít pro hodnocení rozsáhlých souborů materiálů, jak to vyžaduje vyhledávání vhodných donorů v kolekcích genetických zdrojů (Jarvis et al., 2006).

Pojmem sucho označujeme období chudé srážkami, během něhož se obsah vody v půdě sníží natolik, že rostliny trpí jejím nedostatkem (Larcher, 1995).

Scott (2008) uvádí, že stres vyvolávaný suchem je způsoben nedostatkem vody v důsledku nízkých srážek nebo špatného zavlažování.

Tam, kde roční výpar převyšuje celkové roční srážky, nastává sucho pravidelně a dlouhodobě. Podnebí v takových oblastech označujeme jako aridní, na rozdíl od humidního podnebí v oblastech s nadbytečnými srážkami. Zhruba třetina plochy povrchu pevniny na Zemi má nedostatek srážek a téměř polovina této plochy je tak suchá, že roční úhrn srážek nedosahuje ani čtvrtinu hodnoty roční potenciální evaporace. Ve vnitrozemí, vzdáleném od oceánu, se klima postupně mění od oblasti s humidním podnebím přes semiaridní přechodné oblasti s příležitostnými nebo pravidelnými obdobími sucha až k aridnímu oblastem, vyznačujícím se trvalým suchem a zvyšujícím se zasolením půdy (Larcher, 1995).

Obsah vody a poměr vody pohybující se v půdě vůči ostatním částicím, závisí na struktuře a typu půdy. Příjem vody ovlivňuje mnoho důležitých faktorů, jako je teplota půdy, půdní vlhkost, či velikost půdních částic (Shabala, 2012).

3.2.4 Vliv vodního stresu na fyziologické charakteristiky a tvorby výnosu u zeleniny

Nilsen a Orcutt (1996) uvádějí, že snížení vodního potenciálu v rostlině ovlivňuje fyziologii buněk v několika směrech. Dochází k poklesu chemické aktivity vody, při čemž se mění struktura vody v buňce. Tím se může měnit struktura hydratačního pláště kolem bílkovin a snižuje se jeho účinnost. Nastávají změny mezi intracelulárními membránami jádra, chloroplastu, mitochondriemi, plazmalemou, endoplazmatického retikula a dalšími. Při ztrátě turgoru se mění prostorové umístění kanálů a membránových enzymů a nastává úbytek tloušťky membrán. Výsledným smrštěním buněčné stěny se může zmenšit množství vody

v subcelulárních místech. V určitých subcelulárních místech dochází v důsledku ztráty vody ke změně koncentrace v molekule.

Stres vyvolávaný suchem je dle Shabala (2012) způsoben především nedostatkem vody v důsledku nízkých srážek nebo špatného zavlažování. Nedostatek vody a zvýšené teploty jsou podmínky pro rostlinu velice stresující a negativně působí na celou rostlinu a její celkový růst.

Nastane-li velké omezení vody, nastává snížení turgoru tlaku. Dochází k poklesu vývoje a velikosti buněk. Velikost buňky ovlivňuje fenologická část rostliny, ve které vodní deficit nastává. Dojde-li k omezení vody na začátku růstového cyklu, sníží se tím i listová plocha. Pokud se sníží turgor během vyvíjejícího květenství, dochází ke snížení počtu pupat, a to může způsobit přerušování reprodukčních schopností. Žádná rostlina nežije v prostředí, kde působí pouze jeden zdroj, který je významný pro jeho rozvoj a přežití. Množství abiotických a biotických faktorů se liší prostorově a časově v rostlinném prostředí (Nilsen and Orcutt, 1996). Na živé organismy nikdy nepůsobí pouze jednotlivé faktory vnějšího prostředí, ale celý komplex vlivů, abiotických a biotických faktorů, které vstupují do vzájemných interakcí (Bláha a kol., 2003).

Stresory působí na fyziologické procesy proměnlivě. V průběhu životního cyklu bude rostlina na konkrétní stresory jinak citlivá. Vnímavost může být rozdílná také v závislosti na sezónním charakteru fyziologie, na množství abiotických a biotických faktorů, dále na vývojovém stavu rostlin, věku orgánů, dopad sezónního životního prostředí, to vše může ovlivňovat, jak bude rostlina senzibilní. Je obtížné určit intenzitu stresu. Může k němu dojít v nízké míře, ale pokud mírný stres dlouhodobě pokračuje, stává se chronickým. Patrně nastane změna ve fyziologii rostliny. V případě, že stres působí sice na krátkou dobu, ale ve vysoké intenzitě, jedná se o akutní stres. Reakce na chronický a akutní stres mohou být odlišné i přesto, že jde o stejnou dávku. V průběhu doby nastávají ve fyziologických charakteristikách rostlin změny. Dojde ke snížení stresu, neboť rostlina se dokáže aklimatizovat na nový stupeň výkonu i přesto, že koncentrace zdrojů se nezměnila. Tato schopnost aklimatizace fyziologického výkonu je též mezi druhy rozdílná. Žádná rostlina nežije v prostředí, kde působí pouze jeden zdroj, který je významný pro jeho rozvoj a přežití. Množství abiotických a biotických faktorů se liší prostorově a časově v rostlinném prostředí. Genotypy s vhodnými genovými informacemi mají větší schopnost přežít a reprodukovat se a bývají v populaci dominantní (Nilsen and Orcutt, 1996).

Adaptace rostlin na negativní podmínky vnějšího prostředí je také dána změnami anatomických, morfologických, metabolických charakteristik rostlin, ale je dále ovlivňována

také fytohormonálně a to především kyselinou abscesovou (ABA), kdy při působení vodního deficitu dochází až k 40násobnému zvýšení její koncentrace, jak uvádí Nielsen and Orcutt (1996). Dalšími adaptačními mechanismy je tvorba suchem indukovaných proteinů, prolinu, dehydrinů apod. Dalšími fytohormony, které mohou ovlivnit vodní režim rostlin prostřednictvím regulace stomatální vodivosti jsou auxiny a cytokininy (Nielsen and Orcutt, 1996).

S poklesem vlhkosti půdy se zvyšuje sací tlak půdy, což snižuje množství vody, které je rostlin schopna přijmout kořeny. I po dosažení bodu vadnutí je v půdě stále obsaženo určité množství nedostupné vody (v těžké půdě i 15 – 20 %). Současně s vysoušením půdy se zhoršuje kontakt kořenů s půdními agregáty a kořeny se samy částečně smršťují. Z hlediska příjmu živin dochází při vysychání k nepříznivým změnám v přístupnosti živin – snižuje se pohyb živin ke kořenům difúzí a transpiračním tokem, zvyšuje se osmotický tlak půdního roztoku, utlumují se mikrobiální procesy, takže klesá mineralizace dusíku a dalších živin z organické hmoty, snižuje se pufrční schopnost půdy a může docházet k hromadění škodlivých látek. Důsledkem je nevyrovnaná výživa (Haberle a kol., 2008).

3.2.5 Odolnost ke stresům

Kvalita a stabilita výnosů zemědělských plodin do značné míry závisí na jejich odolnosti či toleranci k biotickým a abiotickým stresům, které se v místě jejich pěstování vyskytují (Jarvis et al., 2006).

Levitt (1980) se domnívá, že rostlina s více listy je odolnější vůči vysychání. Dále uvádí, že listy středního a horního patra jsou odolnější.

Geneticky založená odolnost ke stresům je obecně nejvhodnějším způsobem jejich ochrany (po vyšlechtění odrůdy nevyžaduje dodatečné náklady, nahrazuje drahé a pro životní prostředí škodlivé pesticidy). Na druhé straně, vzhledem ke koevoluci patogenů podle vývoje rezistence odrůd, je šlechtění za rezistenci k chorobám a škůdcům nikdy nekončícím úkolem šlechtění a jedním z jeho základních a trvalých cílů. Odolnost jednotlivých krajových odrůd k chorobám a škůdcům se často liší a i v této skupině genetických zdrojů lze nalézt odolné materiály. Pro šlechtění je žádoucí zakládat rezistenci na širším spektru účinných genů, kdy při překonání rezistence jednoho genu zůstávají ostatní geny funkční, a odrůda si zachovává rezistenci. K nejvýznamnějším abiotickým stresům patří v našich podmínkách zejména mráz a sucho, v malé míře se mohou vyskytnout i další stresy (např. zasolení či kontaminace a toxicita půd). Z pravidla se usuzuje, že zdroje rezistence k abiotickým stresům lze úspěšně

hledat zejména v rámci populací plodin či jejich planých příbuzných druhů, které se dlouhodobě vyvíjely v podmínkách stresu, a ve kterých pod vlivem stresových podmínek mohly vzniknout rezistentní genotypy. Proto zejména populace krajových odrůd, původem ze stresových podmínek prostředí, se stávají středem zájmu při studiu genofondů a výběru donorů pro šlechtění na odolnost ke stresům. Zájem je o krajové populace z těch geografických oblastí, kde se abiotické stresy vyskytují a limitují pěstování. Významným pomocníkem pro poznání mechanismů rezistence a výběr donorů jsou fyziologické metody a testy v provokačních podmínkách. Tolerance (rezistence) je obecně komplexem znaků, který kombinuje mechanismy přímé tolerance rostlinou a „vyhnutí se“ výskytu stresu (avoidance), např. raností. Při výběru zdrojů tolerance k abiotickým stresům je proto potřebné zachovat jejich genetickou diversitu; tuto lze dále kombinovat pro dosažení zlepšené tolerance. Takto získané genetické polotovary se zlepšenou tolerancí lze efektivně křížit s vysoce výnosnými odrůdami (Jarvis et al., 2006).

Je nezbytné využívat soubory více opatření, které vytvoří takové podmínky v půdním prostředí a porostu, které zvýší schopnost rostlin hospodařit efektivně s vodou a živinami, odolávat obdobím nepříznivých teplot a adaptovat se na stresy (Haberle a kol., 2008).

Rostliny jsou nepohyblivé organismy vystavené zvláště intenzivnímu působení přírodního výběru a musí se dokázat přizpůsobovat svému prostředí, nebo zahynou (Bláha a kol., 2003).

Odolnost vůči suchu je schopnost rostliny přežít jakýmkoli způsobem období sucha. Tato schopnost je komplexní vlastností. Naděje rostliny na přežití extrémní zátěže způsobené suchem jsou tím větší, čím déle může zdržet nebezpečné snížení vodního potenciálu protoplazmy (schopnost oddálit vysušení) a čím více může protoplazma vyschnout bez poškození (schopnost snášet vysušení) (Larcher, 1995).

Každý živý organismus se snaží ve zhoršených podmínkách vnějšího prostředí o to, aby jeho druh přežil. Někdy rostliny, které mají velmi malou pravděpodobnost přežití, produkují neobyčejné množství semen. Tento jev se v odborné literatuře nazývá reprodukční úsilí. Některé druhy rostlin naopak ve zhoršených podmínkách produkují méně semen, která mohou být za určitých podmínek kvalitnější než semena vznikající v běžných podmínkách. Jedná se o složitý fyziologický proces (Bláha a kol., 2003).

Dále Bláha a kol. (2003) uvádí, že na stresy, především abiotické (např. nižší pH, vysoká teplota, sucho), reaguje mnoho rostlin zmenšením hmotnosti semen, i změnou chemického složení semen, změnami ve stavbě osemení, dokonce celkovou sníženou vitalitou. V semeni je uchováno méně látek nezbytných ke klíčení semene a růstu klíčící

rostliny. Vliv abiotických stresorů na tvorbu semen se v další generaci projevuje u klíčících rostlin často menším kořenovým systémem a v důsledku toho změnami v příjmu živin.

Ke snížení vlivu působení sucha na rostliny je nutné udržení vody v půdě. Dostupnost vody v půdě pro rostlinu lze zlepšit například kypřením vrchní vrstvy půdy, mulčováním, větrolamy, které brání výsušným větrům, apod. Sucho nepříznivě ovlivňuje rovnoměrné vzcházení u plodin s dlouhou dobou fáze klíčení. Jako ochrana proti nepříznivému působení sucha na vzcházející rostliny je možné použít dostatečnou závlahu před vzcházením, zastíňování vzcházejících rostlin, zvýšení vzdušné vlhkosti či krytí výsevů tenkou fólií (Hejnák a kol., 2005).

Udržení vody v pletivech a turgoru je výsledkem morfologických a fyziologických mechanismů rezistence a tolerance k suchu, odlišných od mechanismů realizovaných u dospělých rostlin, které mohou být využité ve screeningu genotypů s různým stupněm tolerance k suchu (Brestiš a Olšovská, 2005).

3.3 Energetické vztahy v rostlině a tvorba sušiny

3.3.1 Obecná charakteristika

Metoda spalné kalorimetrie patří mezi nejpropracovanější odvětví termodynamiky. Základy byly položeny ve druhé polovině 18. století, i přesto, že fenomén tepla byl předmětem zájmu již antických filozofů. Její pomocí se přímo stanovuje energetický obsah v palivech či biomase. Na základě těchto skutečností má tato metoda své nezastupitelné místo také v biologických vědních disciplínách (Leitner, 2005).

3.3.2 Obecné principy kalorimetrie

Podle Leitner (2005) jsou metody kalorimetrie v současnosti nejpropracovanějším odvětvím experimentální termodynamiky s nejrozmanitějšími aplikacemi v oblasti chemie, biochemie a biologie, geochemie, metalurgie a materiálového inženýrství, neboť existuje celá řada forem energie: např. termická, mechanická, elektromagnetická, jaderná, ekologická a další. Z pohledu biologických vědních disciplín se asi v největší míře uplatňuje ekologická energie, která je představována dopadajícím slunečním zářením a proto se ve fyziologii rostlin využívá jako jedna z destruktivních metod stanovující rychlost fotosyntézy spalné kalorimetrie. Touto metodou se zjišťuje změna obsahu energie vyprodukované biomasy na

základě hodnoty tepelného skoku. Z hodnoty tepelného skoku se stanovuje obsah brutto a netto energie v jednotlivých orgánech rostlinného těla.

K měření tepla v různých oblastech byly sestrojeny různé druhy kalorimetrů, jejichž třídění závisí na principu měření tepelného efektu a podmínek jeho měření a z hlediska aplikačního. Hlavními parametry pro klasifikaci kalorimetrů je na základě principu stanovení tepelného efektu a podmínek měření, které vychází z Tianovy kalorimetrické rovnice (Bláha a kol., 2010).

Kalorimetry je možné rozdělit na:

- a) diatermický kalorimetr
- b) isodiatermický kalorimetr
- c) adiametrický kalorimetr
- d) isoperibolický kalorimetr
- e) adiabatický kalorimetr
- f) isotermní kalorimetr

Pro spalnou kalorimetrii se používá nejčastěji systém isoperibolický, adiabatický a isotermní. Pro určení tepelné kapacity tělesa pevného skupenství se využívá směšovací kalorimetr, což je tepelně izolovaná nádoba s míchačkou a teploměrem. Jak vyplývá z předcházejícího dělení kalorimetrů, lze konstatovat, že pod označením kalorimetrie se skrývají různé experimentální techniky, které slouží k měření uvolňovaného tepla, či tepla pohlcovaného při různých fyzikálních a chemických procesech (Bláha a kol., 2010).

3.3.3 Využití spalné kalorimetrie ve stresové fyziologii rostlin

Problematika vlivu stresorů na obsah energie, jenž je vedle genotypu ovlivněn prostředím, v rostlinné biomase je komplikovaná, neboť stresory v přirozených podmínkách obvykle nepůsobí samostatně, ale ve vzájemné kombinaci (Bláha a kol., 2010).

V případě biologických stresorů jsou ve vzájemné interakci dva či více živých organismů, vzájemně si ovlivňující metabolické procesy. Obvykle obsah energie hostitelského organismu je po napadení patogenem, např. rzi travní, vyšší nežli u „zdravého“ jedince. Zvýšení hodnot spalného tepla u napadených rostlinných orgánů je dán změnou pohybu uhlíku v rámci napadených pletiv a mezi napadenými a zdravými pletivy rostlin. Dále dochází u napadených rostlin ke zvýšení celkového množství sacharidů a jejich vzájemného poměru (Bláha a kol., 2010).

U rostlin rostoucích v podmínkách působení abiotických stresorů obvykle dochází k poklesu obsahu energeticky bohatých látek v biomase všech rostlinných orgánů ve srovnání s rostlinami nestresovanými (Hnilička a kol., 2010).

Obsah jednotlivých látek a jejich poměr v těle rostliny ovlivňuje hodnotu spalného tepla, který rovněž vede k rozdílům v energetickém obsahu jednotlivých orgánů rostlin. Například, kořenové plodiny mají nejnižší spalné teplo (v průměru $16,4 \text{ kJ.g}^{-1}$ pro hlavní produkt), protože jejich hlízy obsahují velké množství cukru nebo škrobu. Naopak nejvyšší spalné teplo v 1 g sušiny mají olejniný (v průměru $25,5 \text{ kJ.g}^{-1}$), protože tato semena obsahují velké množství mastných kyselin. Ve srovnání s generativními orgány mají vegetativními orgány nižší obsah energie, přičemž listy mají vyšší obsah popela ve srovnání se stonky a generativními orgány. Obsah energie v reprodukčních orgánech stoupá především kvůli přenesení energeticky bohatých látek a jejich transformace do rezervní hmoty (Hnilička a kol., 2010).

Z biologických stresorů se na snížení obsahu energie nadzemní biomasy kulturních rostlin podílí v důsledku konkurence také zaplevelení. Z abiotických stresorů je na prvním místě vodní deficit, či sucho. V případě sucha dochází k poklesu obsahu energie kořenů nejenom u obilovin, ale také u ostatních plodin, včetně zelenin. V případě zelenin je pokles energeticky bohatých látek výraznější, neboť zeleniny patří obecně k rostlinám s vysokými nároky na vodu (Bláha a kol., 2010).

Na nedostatek vody snížením metabolismu a následně produkce citlivěji reagují rostliny náročné na vodu, jako je např. zelenina. Ze zelenin má největší požadavky na vodu květák a salát. Např. rostliny kvěťáku mají největší nároky na vodu v období maximálního růstu růžic před sklizní. Její nedostatek má za následek předčasné zakládání nekvalitních růžic (Hniličková a kol., 2010).

Abiotické stresy během růstu a vývoje semen ovlivňují základní metabolické procesy většiny vlastností semen. Studium vlivů abiotických stresů na vlastnosti osiva jsou velmi důležité, neboť provenience osiva hraje často velmi významnou roli v dalším růstu a vývoji rostlin. Je znám významný vliv jednotlivých abiotických stresů na sledované znaky osiva a znaky kořenů v průběhu vegetace i v následné generaci, v příjmu živin, ale v literatuře zcela chybí působení jednotlivých abiotických stresů na akumulaci energeticky bohatých látek do semen, i přestože i tento ukazatel osiva je ovlivňován působením vnějšího prostředí. Je patrné snížení obsahu energie urychleně zestárlého osiva všech sledovaných odrůd. Urychlené stárnutí osiva statisticky průkazně snižuje obsah energie v osivu ve srovnání s původním

osivem, ale i osivem vystaveném přirozenému stárnutí. Snížení obsahu energeticky bohatých látek v urychleně zestárlém osivu je také ovlivněno (Bláha a kol., 2010).

Akumulace a distribuce sušiny do jednotlivých částí rostlinných orgánů souvisí s rychlostí fotosyntézy. Množství produkce sušiny je závislé na biologické charakteristice růstu rostlin, dále i na optimálních podmínkách jejich pěstování. Nejvyšší obsah energie a rychlost fotosyntézy v listech se zvyšuje do fáze kvetení (Hnilička a kol., 2015).

V průběhu jejich života jsou rostliny vystaveny značně proměnlivým podmínkám vnějšího prostředí. Ty mohou zpomalovat životní funkce rostlin, dále poškození jednotlivých orgánů rostlin a mohou vést až k odumření celé rostliny. Tyto nepříznivé účinky se nazývají stresory. Stresory obvykle nemají vliv na rostliny jednotlivě, ale ve vzájemné kombinaci (Hnilička a kol., 2015).

3.3.4 Vliv vodního stresu na obsah energie a tvorby sušiny

Předpokladem pro růst a vývoj rostlin je účinný metabolismus a syntéza nových pletiv – a tyto procesy jsou proto rozhodujícím faktorem určujícím konkurenční schopnost druhu. Teplotní rozmezí pro fotosyntetický příjem uhlíku je u většiny rostlin v aktivním stádiu jen asi o 5 °C užší, než jsou hranice teplot tak nízkých, že poškozují listy, a tak vysokých, že je usmrcují. Rozmezí optimálních teplot pro fotosyntézu a produkci sušiny nebývá ale zpravidla širší než 10 – 15 °C a má zřejmý vztah k teplotnímu podnebí oblasti, kde daný druh roste. Totéž platí i pro růst rostlin. Prodlužovací růst prýtlů rostlin v mírném pásu začíná, když teplota stoupne o několik stupňů nad 0 °C, zatímco u tropických rostlin začíná růst až při 12 – 15 °C. Arktické a horské rostliny a rostliny kvetoucí na jaře projevují známky růstu už při 0 °C. Teplotní optimum, při němž je prodlužovací růst nejrychlejší, leží mezi 30 °C a 40 °C u rostlin tropů a subtropů a mezi 15 °C a 30 °C u všech ostatních rostlin. Teplotní rozmezí pro růst kořenů je obvykle velice široké. Minimální limitující teplota pro růst kořenů u dřevin mírného pásma je dosti nízká: mezi 2 °C a 5 °C. Obecně platí, že na průběh vývoje rostliny nepůsobí kriticky jen jediné optimální rozmezí teplot, ale celý sled optimálních teplot (Larcher, 1995).

Má-li se populace udržet a má-li se druh ve svém areálu rozšiřovat, nestačí jen to, že jednotlivé rostliny jsou prostě schopny přežít v extrémních situacích a patřičně plnit své vegetativní funkce; musí být splněny i jejich požadavky na kvetení, zrání a klíčení semen. Rozmezí teplot, vhodných pro tyto procesy, se zpravidla liší od rozmezí pro růst a rozvoj vegetativních orgánů (Larcher, 2003).

3.3.5 Sušina

Sušina je zbytek látky, kterou získáme vysušením při dané teplotě do konstantní hmotnosti. Obsahuje řadu chemických látek, které se dělí na látky dusíkaté, sacharidy, tuky, minerální látky a ostatní skupiny látek (Kyzlink, 1980).

Čistá produkce sušiny, jako projev aktivní látkové bilance rostlin, se projeví růstem v sušině u celé rostliny nebo jen u některých jejích částí (Šesták a kol., 1966).

Množství produkované sušiny v jednotlivých částech rostlinných orgánů souvisí s rychlostí fotosyntézy. Množství produkované sušiny je závislé na biologické vlastnosti růstu rostlin, jakož i na optimalizaci jejich růstových podmínek. Optimalizace růstových podmínek rostlin je dána technologickými procesy (Hnilička a kol., 2015).

4 Materiál a metody

Cílem této práce bylo zjištění obsahu energie u vybraných druhů listové zeleniny pěstovaných v podmínkách deficitu vláhy. Cílem bylo stanovit změny v přírůstcích sušiny a obsah netto energie v podmínkách vodního stresu u rostlin špenátu setého a čtyřboče rozložitě. Pokus byl založen ve skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze v plastových květináčích. Rostliny byly pěstovány za přirozených světelných podmínek.

4.1 Popis pokusných odrůd

Pro experiment byly použity mladé rostliny špenátu setého, odrůdy Matador a čtyřboče rozložitě.

Špenát patří k listové zelenině, která je známá vysokým obsahem vitamínů a minerálů. Obsahuje železo, kalcium, magnézium, zinek a selen. Dále je bohatý na zdroj vitamínů A, C, E, K a cenných minerálů, jako jsou magnézium, jód, železo a vápník. Špenát dále obsahuje i kyselinu listovou. Odrůda Matador je osvědčená odrůda tmavolistého špenátu. Listy jsou středně velké, rozkladité s tupou špičkou. Lze jej použít pro podzimní i jarní výsev, spolehlivě přezimuje a je značně odolný proti vybíhání do květu.

Čtyřboč rozložitá se u nás pěstuje jen málo. Je to plazivá zelenina, jejíž listy jsou šťavnaté, tmavě zelené, chutí i použitím se velice podobající klasickému špenátu. Jsou však jemnější a lahodnější než listy špenátu setého. Obsahuje provitamin A a je bohatá na vitamin C. Význam ve výživě a způsoby úpravy jsou stejné jako u špenátu. Předností čtyřboče je výnos zelené hmoty a také minimální odpad při zpracování.

4.2 Charakteristika pokusu

Pro pokus byly vybrány dvě varianty špenátu setého a čtyřboče rozložitě. Rostliny byly rozděleny do dvou skupin, první varianta kontrolní, která byla zavlažovaná po celou dobu pokusu, druhá varianta stresovaná, kde se záливka prováděla prvních patnáct dnů a poté následovala deset dnů rehydratace. Rostliny špenátu a čtyřboče byly pěstovány v nádobách o rozměrech 11 x 11 cm, ve kterých byl použit zahradnický substrát A + křemičitý písek v poměru 2:1. Zahradnický substrát A se používá pro vylepšení struktury půdy. Jedná se o

lehčí typ vzdušného propustného, středně vyhnojeného substrátu, který je obohacen o živiny a má optimální podmínky pro předpěstování sadby květin a zeleniny. Je vhodný také pro výsadbu většiny dřevin. Jeho optimální pH je od 5,5 do 6,5. Spalitelné látky min. 35 %, částice nad 25 mm max. 5 %. Obsah živin činil: N – 80 až 120 mg.l⁻¹, P₂O₅ – 50 až 100 mg.l⁻¹, K₂O – 100 až 150 mg.l⁻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.

V každé nádobě byla pěstována jedna rostlina špenátu nebo čtyřboče. Měření se provádělo na třech rostlinách se třemi opakováními z každé skupiny, které probíhalo třikrát v týdnu, a to vždy v pondělí, ve středu a v pátek. Během vegetace se uskutečnilo deset měření. Celková délka pokusu činila 21 dnů. Pokus byl zahájen 15. 4. 2013 a poslední měření proběhlo 6. 5. 2013. Rozmístění nádob v řízených podmínkách vycházelo z principu metod Latinského čtverce. Pokus byl zahájen při vytvoření čtyř pravých listů.

Schéma pokusu zahrnovalo dvě varianty: kontrolní (pravidelná závlhka po celou dobu pokusu) a stresované (omezení závlhky po dobu 15 dnů a poté následuje 6 dnů rehydratace).

Podle pokynů bylo odebíráno v příslušné vývojové fázi po 3 rostlinách pokusné varianty a po 3 rostlinách kontrolní varianty. Rostliny byly nejdříve rozděleny na jednotlivé orgány (listy a kořen). Čerstvá biomasa byla sušena při 80 °C do konstantní hmotnosti. Jednotlivé orgány byly váženy s přesností na 2 desetinná místa. Po vysušení se zjišťovala hmotnost sušiny. Pro výpočty byly použity průměrné hodnoty.

4.3 Kalorimetrické stanovení spalného tepla

Pro stanovení obsahu energie se používalo spalné teplo bez popelovin pomocí kalorimetru, kdy v kalorimetrické nádobě dochází k úplnému spálení vzorku v kyslíkové atmosféře. Pro měření spalného tepla se použil automaticky adiabatický spalný kalorimetr MS 10A, německé firmy LAGET, viz. obrázek č. 1.



Obrázek č. 1: Kalorimetr MS 10A, německé firmy LAGET (autorka, 2013)

Pro měření hodnot brutto a netto energie a jejich následný výpočet bez oprav na spalné teplo kyseliny sírové a kyseliny dusičné byla použita doporučení norma (ČSN ISO 1928).

LAGET MS 10A je klasický vodní, suchý adiabatický spalný kalorimetr s izoterminálním pláštěm, a automatickým řízením pokusu a automatickým výpočtem korekce na výměnu tepla. Vodní nádoba je zabudována v plášti kalorimetru. Teplo uvnitř pláště, jimž je vodní nádoba obklopena, je 28 °C s odchylkou +/- 0,0005 °C. Kalorimetr pracuje v rozmezí teplot 20 – 30 °C. Z toho důvodu nesmí teplota v laboratoři překročit 25 °C. Součástí kalorimetru je spalná bomba o objemu 300 ml s maximálním přetlakem 30 MPa. Počáteční tlak v bombě je maximálně 4 MPa. Spodní část bomby pojme 5 ml destilované vody. Bomba je plněna kyslíkem pomocí stativu, který je vybaven sdruženou dvojicí kulových ventilů, manometrem a tryskou pro škrcení průtoků kyslíku. Příklad pracuje v sedmi volitelných pracovních režimech, kterými jsou kalibrační a kontrolní 32 minutové měření, adjustování (kontrola zabudovaných teploměrů), 24 minutové měření, klasické 16 minutové měření až do rovnováhy a zkrácené 5 a 8 minutové měření.

Pro výpočet energie byl použit následující vztah:

$$Q = \frac{(C \cdot Dt) - c}{m - \text{popeloviny}}$$

Q – spalné teplo analytického vzorku ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$)

C – tepelná kapacita kalorimetru ($\text{J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)

Dt – celkový vzestup teploty v hlavním úseku ($^\circ\text{C}$)

c – součet oprav (J)

m – hmotnost navážky analytického vzorku

Doplněním potřebných údajů do vzorce byla netto energie vypočítána podle vztahu:

$$\text{Netto energie} = \frac{(9768,3 * \text{teplotní skok} - 1673,45)}{\text{Navážka} - \text{navážka popelovin}}$$

9768,3 – teplotní kapacita kalorimetru (J)

1673,45 – spalné teplo drátku (J)

4.3.1 Spalné teplo

Zvážený podíl analytického vzorku tuhého paliva se spálí v kyslíku za vysokého tlaku v tlakové nádobě kalorimetru za předepsaných podmínek. Efektivní tepelná kapacita kalorimetru se stanoví kalibračními zkouškami spálením certifikované kyseliny benzoové za stejných podmínek, které jsou uvedeny v certifikátu. Opravený teplotní vzestup se získá z údajů měření teploty před, během a po dokončení probíhající reakcí při spalování. Doba a četnost měření teploty závisí na použitém typu kalorimetru. Zpočátku se do tlakové nádoby přidá voda ke vzniku fáze nasycených vodních par před spálením, tím se umožní pojmout celkovou vodu vzniklou z vodíku a vody ve vzorku jako vodu v kapalném stavu.

Hodnota spalného tepla se vypočítá z opraveného teplotního vzestupu a efektivní tepelné kapacity kalorimetru, se zřetelem na podíly energie při zapálení, spálení zapalovacího prostředku a tepelné účinky z vedlejších reakcí, jako je vznik kyseliny dusičné. Dále se provádí oprava na započtení rozdílu energie mezi roztokem kyseliny sírové, vzniklé při reakci v tlakové nádobě a plynným oxidem siřičitým, tj. vzniklým reakčním produktem ze síry v uhlí.

4.4 Stanovení vlhkosti půdy

Nepřímé metody měření půdní vlhkosti jsou široce využívány ve výzkumu i praktických aplikacích jako alternativa ke gravimetrickému stanovení. "Nepřímé" se nazývá proto, že neměří přímo vlhkost půdy, ale jinou veličinu, která je na vlhkosti půdy závislá, a ze známého vztahu mezi touto měřenou veličinou a vlhkostí lze vlhkost půdy s větší či menší přesností určit. Výhody jejich použití jsou zřejmé: nepřímé metody jsou nedestruktivní, výsledky měření jsou okamžitě k dispozici, měření je možné provádět opakovaně na stejném místě anebo provádět stacionární měření řízené počítačem. Při kvalitní kalibraci jsou získaná měření dostatečně přesná pro většinu aplikací. Kalibrace se provádí vždy srovnáním s gravimetrickým stanovením vlhkosti půdy.

Měřena byla půdní vlhkost u špenátu setého a čtyřboče rozložitě. Vodní stres byl monitorován na základě nepřímého stanovení půdní vlhkosti. K měření byl použit přístroj Theta Probe Soil Moisture Sensor ML2x (viz. obrázek č. 2) a čtecí zařízení Moisture Meter HH2 (Delta-T Devices, Inc.). Sondy jsou u přístroje tvořeny elektronickými jehlicemi, které se zapíchnou do půdy. Když je aplikováno elektrické pole, půda v okolí elektrod funguje jako dielektrikum kondenzátoru a doplní tak oscilační obvod. Měření může být ovlivněno teplotou, salinitou, objemovou hmotností půdy a obsahem jílu v půdě. Proto je doporučováno provést pro každou jednotlivou půdu kalibraci. Výsledky ze čtecího senzoru převádíme na hmotnostní vlhkost. Hodnoty hmotnostní vlhkosti byly stanoveny na základě kalibrační křivky.

Při měření je třeba věnovat pozornost při instalaci senzoru do půdy, vyhýbat se kamenitým místům. Pomocí instalačních jehel se připraví otvory pro vstup jehel senzoru. Instalační jehly je potřeba opatrně vytahovat a neviklat s nimi, aby byl zajištěn dobrý kontakt senzoru s půdou.



Obrázek č. 2: Příklad Theta Probe Soil Moisture Sensor

Zdroj: <http://www.deltat.co.uk/>

5 Výsledky

Cílem pokusu bylo sledovat rozdíly v obsahu netto energie u kontroly a stresu. Měření vždy probíhalo jak u kontrolních variant, tak u stresových variant. Ze získaných výsledků, jak dokládají obrázky č. 3 – č. 10, vyplývá rozdílná reakce sledovaných rostlin na vodní deficit a rehydrataci. Dále jak uvádějí níže uvedené obrázky, je možno pozorovat změny hodnot (obsahu energie). Zaznamenatele jsou změny obsahu energie mezi listem (nadzemní část) a kořenem (podzemní část), viz tabulka č. 4 (průměrné hodnoty obsahu netto energie). Jak dokládá tabulka č. 3, po přerušení závlivky došlo k postupnému poklesu vodivosti půdního substrátu. Nejnižší hodnoty byly naměřeny dne 1. 5., kdy byla ukončena dehydratace a nastala rehydratace. Po obnovení závlivky se vodivost půdního substrátu zvyšovala. Obsah sušiny byl stanoven vážením.

Tabulka č. 3: Průměrná vlhkost na vodivost půdního substrátu [mV] u stresované varianty

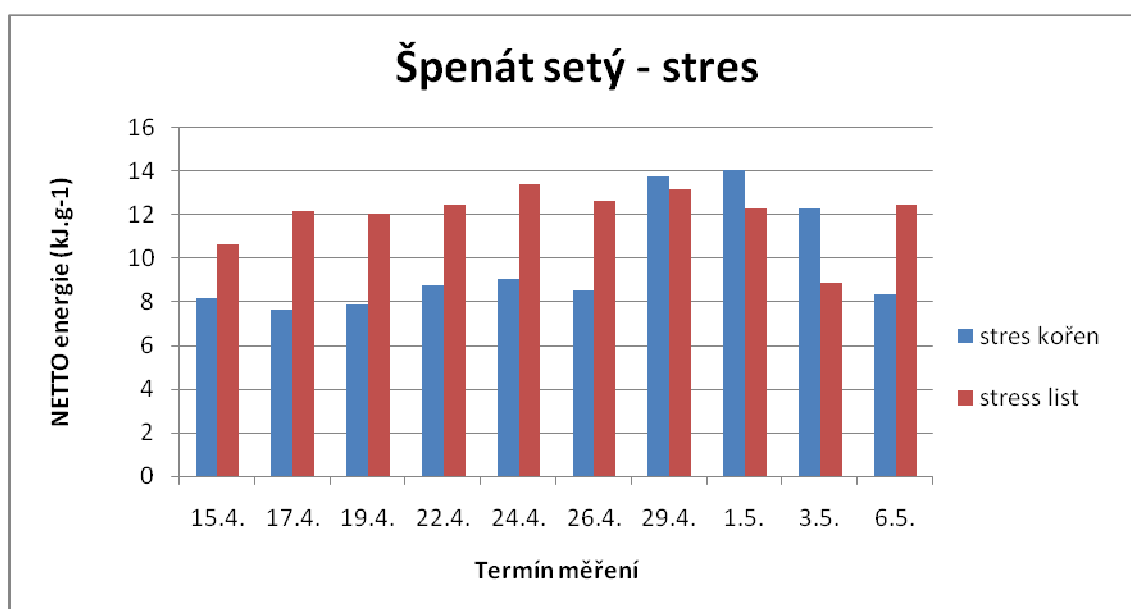
	Termíny odběrů		Průměrná vlhkost
Odběr 0	15. 4.	dehydratace	473.29
Odběr 1	17. 4.	dehydratace	452.08
Odběr 2	19. 4.	dehydratace	442.29
Odběr 3	22. 4.	dehydratace	432.96
Odběr 4	24. 4.	dehydratace	403.70
Odběr 5	26. 4.	dehydratace	377.69
Odběr 6	29. 4.	dehydratace	353.36
Odběr 7	1. 5.	rehydratace	268.57
Odběr 8	3. 5.	rehydratace	444.64
Odběr 9	6. 5.	rehydratace	516.49

Tabulka č. 4: Průměrné hodnoty obsahu netto energie u špenátu a čtyřboče

ŠPENÁT	kJ.g^{-1}	ČTYŘBOČ	kJ.g^{-1}
stres kořen	9,85	stres kořen	8,45
stres list	12,02	stres list	12,52
kontrola kořen	9,2	kontrola kořen	8,06
kontrola list	12,11	kontrola list	12,3

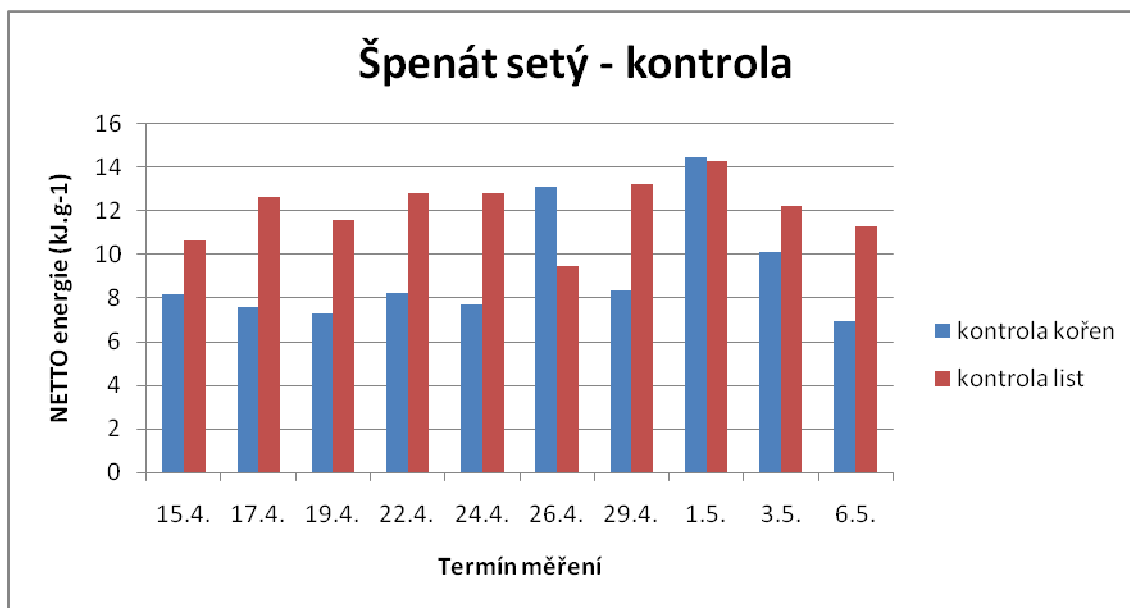
První den působení vodního stresu u stresové varianty listu dne 15. 4. byl stanoven obsah netto energie $10,65 \text{ kJ.g}^{-1}$, který se postupně zvyšoval. Nejvyšší obsah netto energie byl stanoven dne 24. 4. ($13,42 \text{ kJ.g}^{-1}$). Dne 1. 5. nastala opětovná rehydratace, obsah netto energie byl v tento den $12,29 \text{ kJ.g}^{-1}$. Nárůst energie se zaznamenal 29. 4. a 1. 5., kdy nastala rehydratace rostlin. Ke změně energie došlo poslední den měření dne 6. 5., kdy byla naměřena hodnota $12,47 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Z níže uvedeného obrázku vyplývá, že nejvyšší hodnota obsahu netto energie byla stanovena u kořene dne 1. 5., a to $14,06 \text{ kJ.g}^{-1}$. V tento den nastala rehydratace rostlin. V druhé polovině pokusu byl nárůst hodnot způsoben opětovnou závlahou. Po tomto období nastal průkazný pád obsahu netto energie u kořene, jak znázorňuje obrázek č. 3.



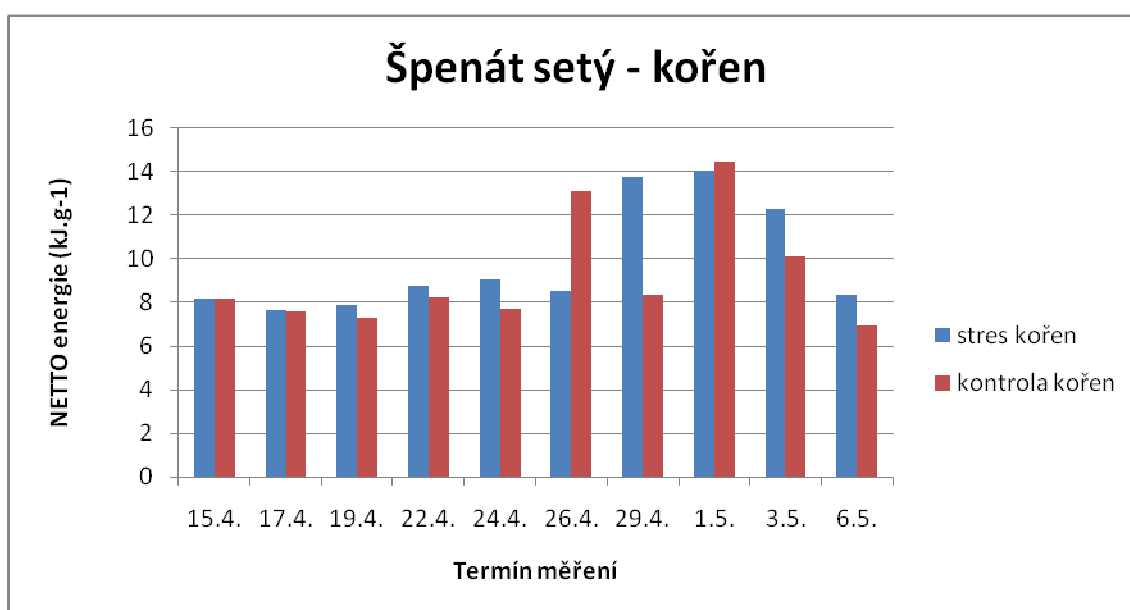
Obrázek č. 3: Obsah netto energie (kJ.g^{-1}) v sušině špenátu setého v jednotlivých orgánech

Na obrázku č. 4 je znázorněna varianta kontroly. Tato varianta byla zavlažována po celou dobu pokusu. Z obrázku č. 5 je patrné, že nadzemní část má větší obsah netto energií než podzemní část. V průběhu celého experimentu nejsou extrémní změny v obsahu netto energie u listu (nadzemní části). Nejvyšší obsah netto energie byl stanoven dne 1. 5., a to $14,29 \text{ kJ.g}^{-1}$. U kořene se hodnoty výrazně změnily ve dnech 26. 4. ($13,11 \text{ kJ.g}^{-1}$) a 1. 5. ($14,45 \text{ kJ.g}^{-1}$). Nejvyšší hodnota byla dne 1. 5. a poté se postupně snižovala. Dne 6. 5. ($6,9 \text{ kJ.g}^{-1}$) byl obsah netto energie u kořene nejnižší.



Obrázek č. 4: Obsah netto energie (kJ.g⁻¹) v sušině špenátu setého v jednotlivých orgánech

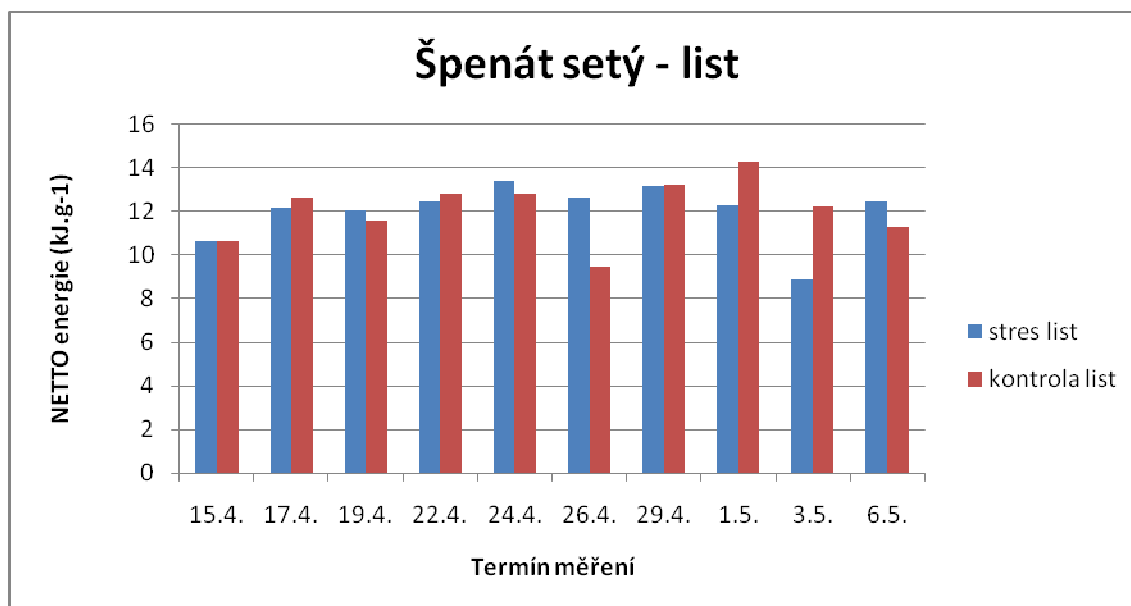
U obrázku č. 5 se porovnávaly hodnoty kořene stresované a kontrolní varianty. Obsah netto energie se u stresované varianty kořene výrazně zvýšil dne 29. 4. a nejvyšší hodnota byla stanovena dne 1. 5. (14,06 kJ.g⁻¹), kdy nastala rehydratace, poté obsah netto energie postupně klesal. Obsah netto energie u kořene kontroly byl nejvyšší dne 1. 5. (14,45 kJ.g⁻¹) a nejnižší dne 6. 5. (6,93 kJ.g⁻¹).



Obrázek č. 5: Obsah energie v kontrolních a stresovaných variantách kořene špenátu setého

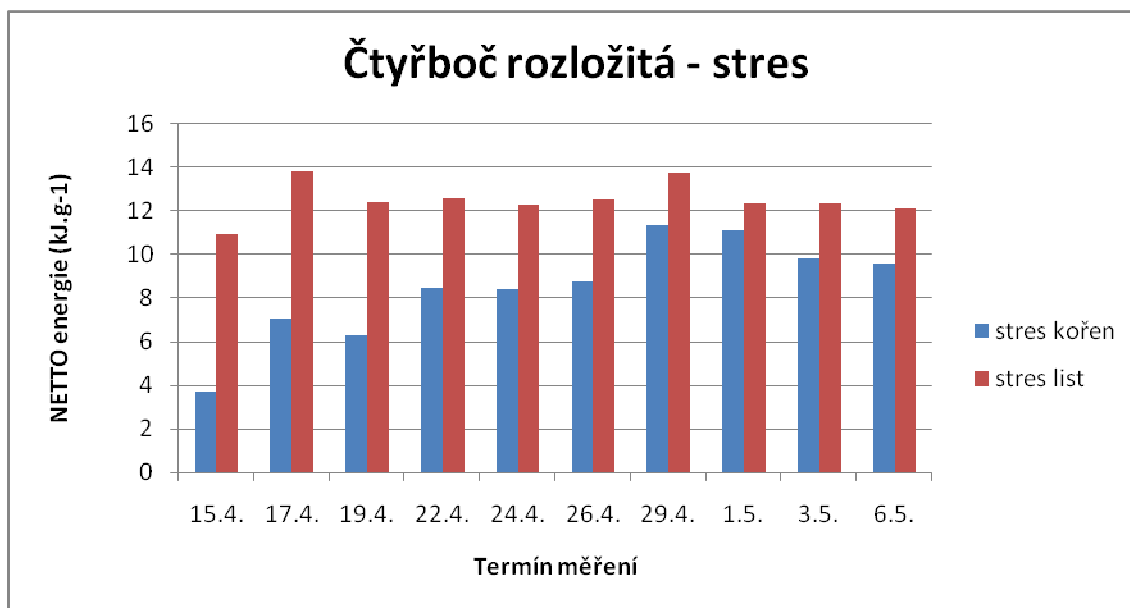
V následujícím obrázku č. 6 došlo k nejvyššímu poklesu obsahu netto energie u kontroly listu dne 26. 4. ($9,5 \text{ kJ.g}^{-1}$), dále se postupně hodnota zvyšovala. Dne 3. 5. došlo k mírnému úbytku netto energie.

U stresované varianty listu byl nejnižší pokles dne 3. 5. ($8,89 \text{ kJ.g}^{-1}$). V ostatních dnech se obsah netto energie pohyboval v rozmezí od $10,65 \text{ kJ.g}^{-1}$ do $13,42 \text{ kJ.g}^{-1}$.



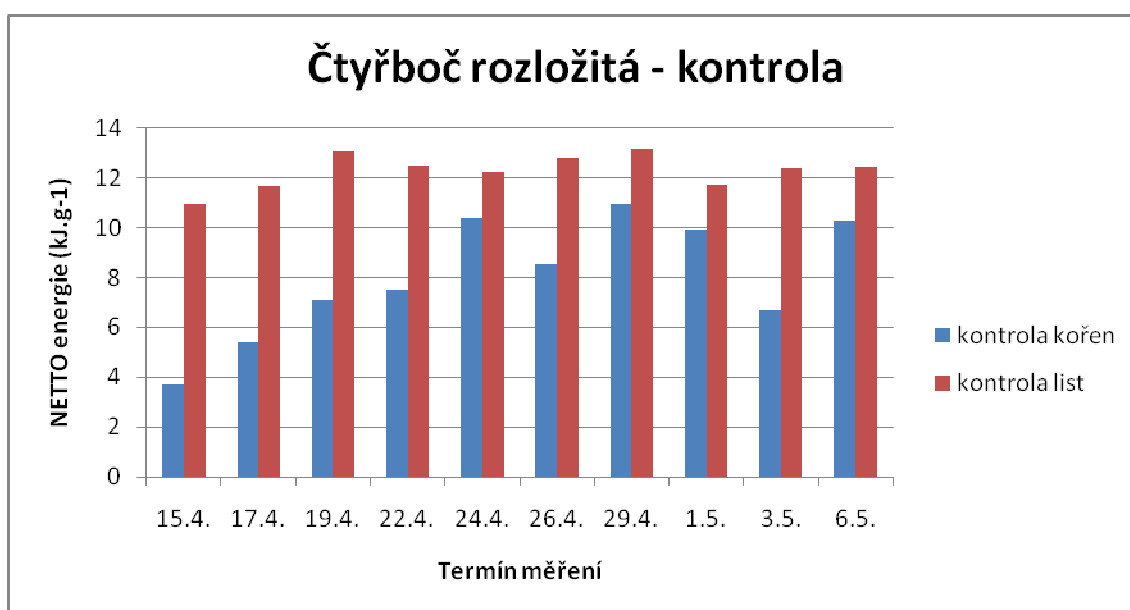
Obrázek č. 6: Obsah energie v kontrolních a stresovaných variantách listu špenátu setého

Na obrázku č. 7 je viditelný pokles obsahu netto energie u kořene na začátku pokusu, energie se postupně zvyšuje v důsledku růstu rostliny. Nejnižší energie byla naměřena dne 15. 4. ($3,71 \text{ kJ.g}^{-1}$), nejvyšší nastala dne 29. 4. ($11,37 \text{ kJ.g}^{-1}$) a zvýšila se v době rehydratace. Obsah netto energie u stresované varianty listu byl nejnižší dne 15. 4. ($10,95 \text{ kJ.g}^{-1}$) a nejvyšší dne 17. 4. ($13,83 \text{ kJ.g}^{-1}$). V ostatních dnech byly hodnoty téměř vyrovnané a pohybovaly se v rozmezí od $12,13 \text{ kJ.g}^{-1}$ do $13,83 \text{ kJ.g}^{-1}$.



Obrázek č. 7: Obsah netto energií (kJ.g⁻¹) v sušině čtyřboče rozložitě v závislosti na variantě stresované

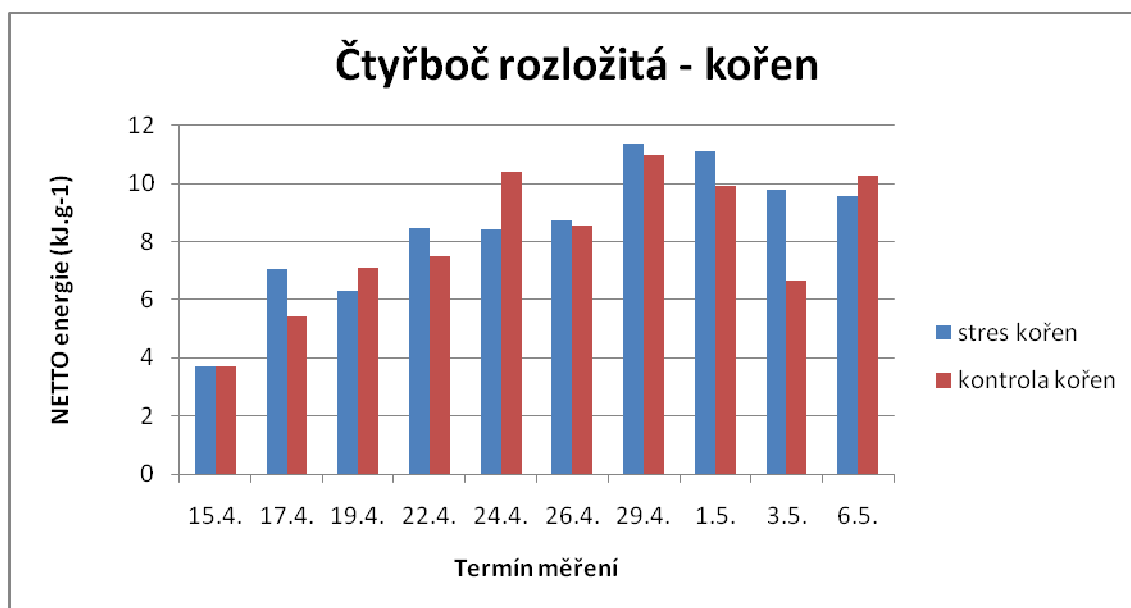
Z obrázku č. 8 je patrné, že nejvyšší hodnoty obsahu netto energie byly stanoveny u kontroly listu. Nejvyšší obsah netto energie byl dne 29. 4. (13,17 kJ.g⁻¹) a nejnižší dne 15. 4. (10,95 kJ.g⁻¹). Hodnoty u kontroly kořene se zvyšovaly, nejnižší byla dne 15. 4. (3,71 kJ.g⁻¹) a nejvyšší obsah netto energie se stanovil dne 29. 4. (10,98 kJ.g⁻¹).



Obrázek č. 8: Obsah netto energie (kJ.g⁻¹) v sušině čtyřboče rozložitě v závislosti na variantě kontroly

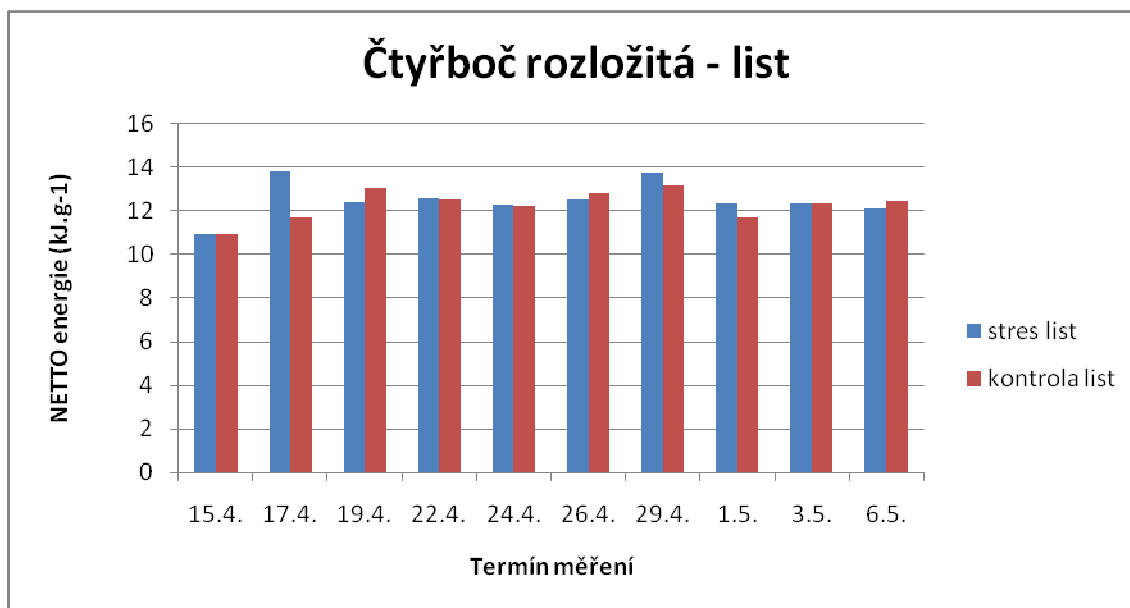
Obrázek č. 9 znázorňuje postupné navýšení obsahu netto energie stresované varianty kořene. Nejnižší obsah netto energie byl dne 15. 4. ($3,71 \text{ kJ.g}^{-1}$) a nejvyšší hodnota byla naměřena dne 29. 4. ($11,37 \text{ kJ.g}^{-1}$). Vyšší nárůst netto energie byl ve druhé polovině pokusu, kdy poslední tři měření nastala rehydratace.

Energie u kontroly kořene se během pokusu zvyšovala, neočekávaně se snížila dne 3. 5. ($6,68 \text{ kJ.g}^{-1}$).



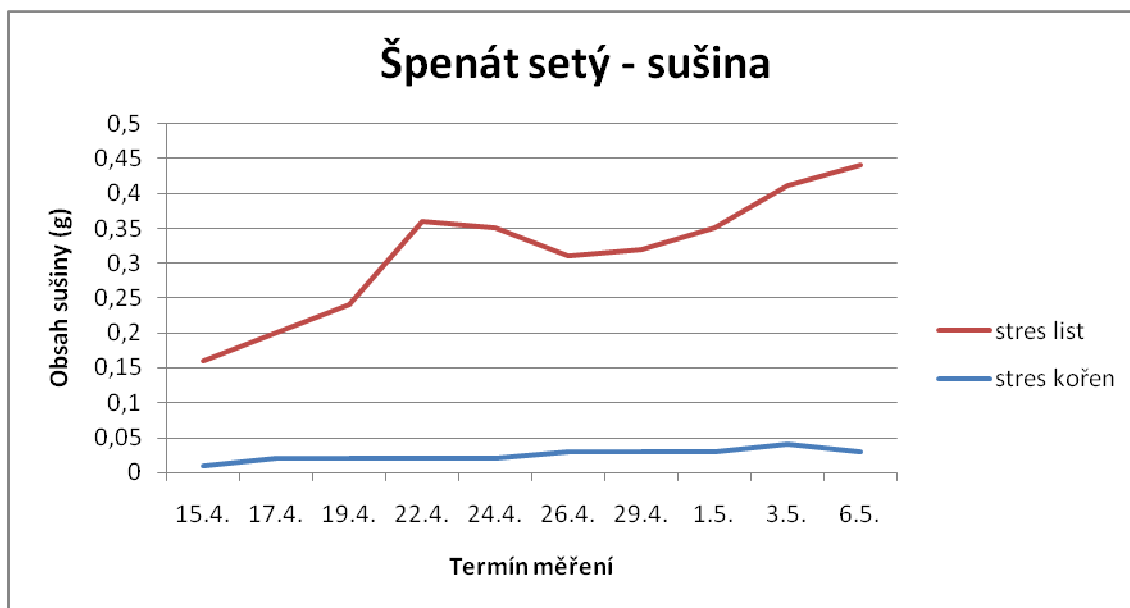
Obrázek č. 9: Obsah energie v kontrolních a stresovaných variantách kořene čtyřboče rozložitě

Při srovnání obrázku č. 10 u stresované a kontrolní varianty listu se obsah netto energie výrazně nelišil a pohyboval se v rozmezí od $10,95 \text{ kJ.g}^{-1}$ do $13,17 \text{ kJ.g}^{-1}$. Obsah netto energie se zvýšil dne 17. 4. u varianty stresované a poté byl obsah netto energie téměř vyvážený. Velké výkyvy se nezaznamenaly. Energie u kontrolní varianty listu se pohybovala kolem $12,38 \text{ kJ.g}^{-1}$.



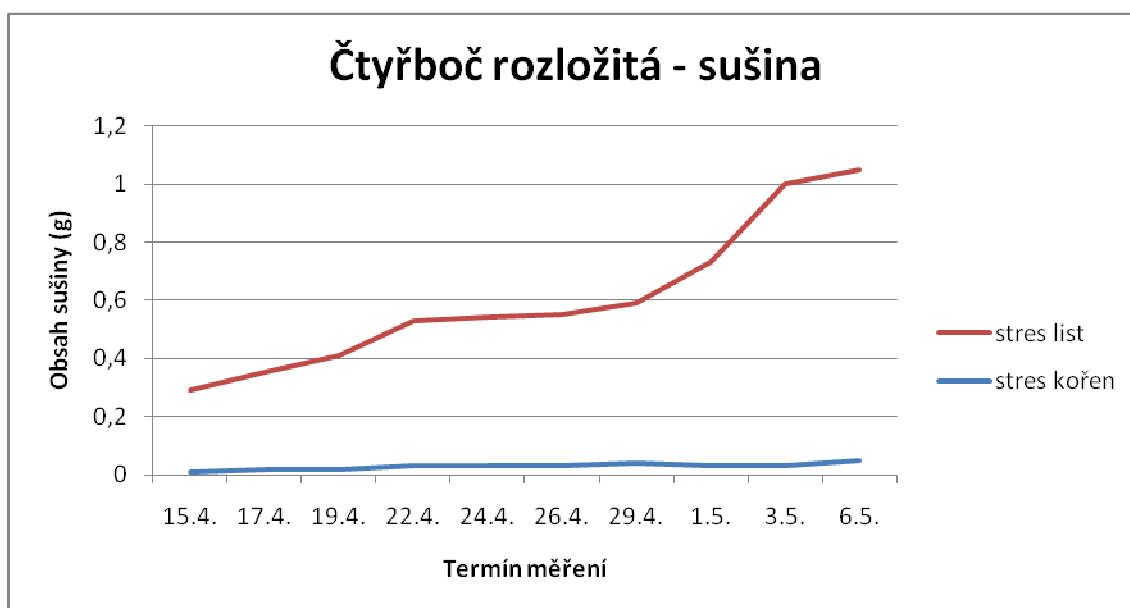
Obrázek č. 10: Obsah energie v kontrolních a stresovaných variantách listu čtyřboče rozložitě

Množství sušiny v listech špenátu pěstovaného ve stresované variantě se během vývoje rostlin několikrát navyšovalo a klesalo, viz obrázek č. 11. Vyšší nárůst sušiny listů byl zaznamenán dne 22. 4. (0,34 g) a nadále se sušina zvyšovala od 1. 5., kdy nastala opětovná rehydratace rostlin. Nejvyšší obsah sušiny byl naměřen 6. 5. (0,41 g). Z obrázku je nadále patrný pokles sušiny dne 26. 4. (0,28 g). V případě kořene byl během pokusu postupný nárůst sušiny. Množství sušiny v kořenech se pohybovalo od 0,01 g do 0,04 g. Nejvyšší obsah sušiny byl u kořene dne 3. 5. (0,04 g).



Obrázek č. 11: Obsah sušiny u stresované varianty špenátu setého

V případě stresované varianty čtyřboče rozložitá (viz. obrázek č. 12) dochází u listu k postupnému nárůstu sušiny. Po opětovné záливce, která nastala dne 1. 5. se v jejím důsledku začala výrazně zvyšovat sušina. Obsah sušiny se nadále zvyšoval. Nejvyšší hodnota sušiny nastala dne 6. 5. (1 g). V závislosti na působení vodního deficitu se sušina u kořenů výrazně nelišila. Při průběhu stresu nenastalo viditelné kolísání. Po ukončení dehydratace, nastala opětovná záливka, která obsah sušiny změnila nepatrně.



Obrázek č. 12: Obsah sušiny u stresované varianty čtyřboče rozložitě

6 Diskuse

Podle metody probíhal pokus u špenátu setého (odrůda Matador) a čtyřboče rozložitě. Byly založeny dvě varianty, a to kontrola, která byla zavlažována po celou dobu probíhajícího pokusu a varianta stresovaná, kde bylo omezení závlivky po dobu 15 dnů a poté následovalo 6 dnů rehydratace. U pokusů se zkoumalo působení vodního stresu na rostliny. Obě varianty byly umístěny ve stejném skleníku a pěstovány za stejné teploty a osvětlení.

Rostlina musí denně odolávat různým abiotickým faktorům, které mohou vyvolat stresovou reakci. Při působení abiotických stresorů obvykle dochází k poklesu obsahu energeticky bohatých látek v biomase všech rostlinných orgánů ve srovnání s rostlinami nestresovanými. Z abiotických stresorů je na prvním místě vodní deficit, či sucho. To také potvrzuje Larcher (2003), který uvádí, že vznikající vodní deficit se projevuje nejdříve snížením intenzity růstu a dále snížením asimilace CO₂, což se odráží také v obsahu energeticky bohatých látek obsažených v rostlinné sušině.

V případě sucha dochází k poklesu obsahu energie kořenů. Stres má nepříznivý vliv na růst a vývoj rostlin. V případě zeleniny je pokles energeticky bohatých látek výraznější, neboť zeleniny patří obecně k rostlinám s vysokými nároky na vodu.

V 1 g sušiny rostlinné biomasy je obsaženo průměrně 16,74 kJ.g⁻¹ energie. Tento obsah látek může být snížen vlivem působení abiotických stresorů, a to především vodním deficitem (Bláha a kol., 2010).

Hniličková a kol. (2010) uvádí, že změny obsahu energie v závislosti na vodním deficitu byly zjišťovány také u listové zeleniny, konkrétně u hlávkového salátu. Ze získaných výsledků je patrný průkazný vliv vodní nedostatečnosti na tuto sledovanou charakteristiku, kdy průkazně nižší obsah energie vykazovaly rostliny stresované ve srovnání s rostlinami zavlažovanými. Průměrný obsah energie kořenů stresovaných rostlin byl 10,61 kJ.g⁻¹ a u listů 12,49 kJ.g⁻¹, tedy o 7,17 % a 13,34 % nižší než u kontrolních rostlin.

Obsah netto energie u kontrolních rostlin vzrůstal pozvolna, ale pravidelně. Jestliže porovnáme obsah netto energie kontrolních a stresovaných rostlin, je možné konstatovat, že na počátku sledovaného období dosahovaly stresové varianty u kořene vyšších hodnot, než rostliny kontrolní u kořene. U stresovaných rostlin kořene se obsah netto energie nejvíce navýšila dne 1. 5., kdy nastala opětovná rehydratace.

Hnilička a kol. (2007) uvádí, že růst je spojen se změnami obsahu energie a zastoupením jednotlivých látek v orgánech rostlin. Tyto změny mají v průběhu vegetace obvykle dynamický charakter, neboť v souvislosti se syntézou některých energeticky

bohatých zásobních látek zpravidla jejich energetická hodnota ke konci vegetace stoupá. Tento nárůst energie je vázán na obsah látek vzniklých fotosyntézou, které nemají vždy stejný obsah energie. Vedle vlivu intenzity fotosyntézy se na energetické hodnotě biomasy podílí i vliv genotypu a působení vnějšího prostředí, jako je např. intenzita ozáření, fotoperioda, dostupnost živin, typ půdy atd.

Lieth (1977) uvádí, že obsah energie pro jednotku sušiny biomasy je vyjadřován v kJ.g^{-1} sušiny. Vzhledem k rozdílným hodnotám energie obsahových látek a jejich rozdělení a rozdílnému zastoupení v rostlinách i v jejich jednotlivých orgánech není energie jednotlivými rostlinnými druhy ani jejich jednotlivými orgány akumulována rovnoměrně. Obsah energie v rostlinách má během vegetace dynamický charakter. V souvislosti se syntézou některých energeticky bohatých zásobních látek zpravidla jejich energetická hodnota ke konci vegetace stoupá.

Jestliže porovnáme průměrný obsah netto energii kontrolních rostlin špenátu setého a čtyřboče rozložitě, je možné konstatovat, že u čtyřboče byl naměřen vyšší obsah netto energie u listu ($12,4 \text{ kJ.g}^{-1}$), než u špenátu ($12,1 \text{ kJ.g}^{-1}$). Kořeny čtyřboče u kontrolní varianty měly v průměru ($8,1 \text{ kJ.g}^{-1}$) nižší energii, v porovnání s kontrolní variantou u špenátu ($9,2 \text{ kJ.g}^{-1}$).

Stresované rostliny špenátu u kořene měly vyšší průměrný obsah netto energie než stresované u čtyřboče. Vyšší nárůst stresované varianty u kořene se navyšoval v den rehydratace oproti kontrolní variantě kořene. Stresované varianty listu u špenátu měly nižší průměrný obsah netto energie než listy stresovaného čtyřboče.

U obou sledovaných druhů rostlin, včetně variant pokusu, je možné v souladu s Lieth (1968), že změny obsahu energie jsou rostoucí funkcí času, a proto obsah energie v rostlině ke konci vegetace zpravidla stoupá.

Hnilička a kol. (2010) se domnívá, že energetická hodnota sušiny rostlin je teda určena chemickým složením. V řadě případů by mohlo být využito chemických analýz pro kvalifikovanou představu a obsahu jednotlivých chemických komponentů tvořících rostlinné tělo a jejich následný vliv na konečný obsah energie.

Nejčastěji se uvádí pro jednotku sušiny biomasy rostlinného materiálu všeobecná průměrná hodnota $16,74 \text{ kJ.g}^{-1}$, jak uvádí Lieth (1968).

Statisticky průkazný rozdíl mezi kontrolní a stresovanou variantou rostlin chmele publikuje Hniličková a kol. (2010).

U rostlin rostoucích v podmínkách působení abiotických stresorů obvykle dochází k poklesu obsahu energeticky bohatých látek v biomase všech rostlinných orgánů ve srovnání s rostlinami nestresovanými (Larcher, 2003).

Změny obsahu energie v závislosti na vodním deficitu byly zjišťovány také u listové zeleniny, konkrétně u hlávkového salátu. Ze získaných výsledků je patrný průkazný vliv vodní nedostatečnosti na tuto sledovanou charakteristiku, kdy průkazně nižší obsah energie vykazovaly rostliny stresované ve srovnání s rostlinami zavlažovanými. Průměrný obsah energie kořenů stresovaných rostlin byl 10, 69 kJ.g⁻¹ a u listu 12,47 kJ.g⁻¹, tedy o 7,17 % a 13, 34 % nižší, než u kontrolních rostlin, jak dokládá Hniličková a kol. (2010).

Vlivem působení vodního deficitu u stresovaných rostlin docházelo k postupnému narůstání netto energie u kořene, ale nárůst netto energie u listů byl nepatrný.

Hnilička a kol. (2015) zaznamenali u mladých rostlin kukuřice snížený obsah energie v kořenech a nadzemní biomasy z důvodů postupného vysychání substrátu.

Při srovnání výsledků sušiny u obou stresovaných variant, vykazuje čtyřboč vyšší odolnost vůči vodnímu deficitu. Čtyřboč rozložitá reagovala na vodní deficit mnohem lépe než špenát setý. Z naměřených údajů jsou patrné rozdíly obsahu sušiny v průběhu pokusu. Vyšší nárůst sušiny u stresované varianty byl zaznamenán u čtyřboče rozložitě, která měla vyšší nárůst sušiny oproti špenátu setému.

7 Závěr

V bakalářské práci byl sledován vliv vodního deficitu na změnu obsahu netto energie a tvorby sušiny u špenátu setého a čtyřboče rozložitě.

Použit byl špenát setý odrůdy Matador a čtyřboč rozložitá. Pěstovány byly ve dvou variantách: kontrolní (tato varianta byla zalévána po celou dobu pokusu) a stresovaná (omezená záливka po dobu 15 dnů, a poté 6 dnů rehydratace)

Ze získaných výsledků obsahu netto energie a tvorby sušiny z jednotlivých orgánů u kontrolních a stresovaných rostlin špenátu setého a čtyřboče rozložitě vyplývají závěry:

1. Průměrný obsah netto energie listů špenátu setého byl ovlivněn variantou pokusu, kdy u rostlin stresovaných byl obsah energie nižší než u rostlin kontrolních.
2. Průměrný obsah netto energie kořenů špenátu setého byl ovlivněn variantou pokusu, kdy u rostlin stresovaných byl obsah energie vyšší než u rostlin kontrolních.
3. Nejvyšší obsah netto energie u kořenů stresovaných rostlin byl stanoven v poslední den stresu.
4. Průměrný obsah netto energie u kořenů byl vyšší u špenátu setého než u čtyřboče rozložitě.
5. Na vodní stres reagovaly citlivěji kořeny, kdy se podpořil jejich růst oproti nadzemní části rostlin.
6. Hmotnost sušiny listů stresovaných rostlin se u čtyřboče rozložitě zvyšoval rychleji oproti špenátu setého.
7. Hmotnosti sušiny listů u stresovaných variant se výrazně zvyšovala po obnovení záливky.
8. Hmotnost sušiny kořenů u stresovaných variant se nepatrně zvyšovala po obnovení záливky.

8 Seznam použitých zdrojů

- Bláha, L., Bocková, R. Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. *Rostlina a stres*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, s. 156. ISBN: 80-86555-32-1.
- Bláha, L., Bojnanská, K., Čegan, R., Dotlačil, L., Faltus, M., Ferus, P., Gubiš, J., Haberle, J., Hnilička, F., Hniličková, H., Hobza, R., Holubec, V., Jadrná, P., Janků, L., Klabzuba, J., Kosová, K., Kožnarová, V., Král'ová, K., Maršík, P., Martinková, J., Masár, Š., Masarovičová, E., Nevrtalová, E., 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., Žofajová, A., Živčák, M., 2010. *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci* (vybrané kapitoly). Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, s. 310. ISBN: 978-80-7427-023-9.
- Brestič, M., Olšovská, K. 2001. *Vodný stres rostlín: příčiny, důsledky, perspektivy*. SPU, Nitra, s. 149. ISBN: 80-7137-902-6.
- ČSN ISO 1928. *Tuhá paliva – Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti*. Český normalizační institut. Praha. 1999
- Haberle J., Trčková, M., Růžek, P. 2008. *Příčiny nepříznivého působení vlivu sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, s. 28. ISBN: 978-80-87011-45-4.
- Hejný, S., Slavík, B. 2003. *Květena České republiky*. 2., nezm. vyd. Praha: Academia, s. 540. ISBN: 80-200-1089-0.
- Hlušek, J., Richter, R., Ryant, P., 2002. *Výživa a hnojení zahradnických plodin*, vyd. 1. Redakce odborných časopisů Praha, s. 81. ISBN: 80-902413-5-2.

- Hnilička, F., Hniličková, H., Hejnák, V. 2015. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Use of combustion methods for calorimetry in the applied physiology of plants. Publisher. Springer Netherlands, pp 411 – 417.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Martinková, J. *Využití spalné kalorimetrie v biologických vědních disciplínách* (Sborník příspěvků), 32. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář, 105 – 110, hotel Skalský Dvůr, Lísek u Bystřice nad Pernštejnem, 24. – 28. 5. 2010. ISBN: 978-80-7395-259-4.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Martinková, J., Vaculová, K. *Energetické srovnání odrůd vybraných obilovin*. In: 29. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář (Sborník příspěvků), Hotel Medlov, 155 - 158, 28. květen – 1. červen 2007. ISBN: 978-80-7194-957-2.
- Hniličková, H., Martinková, J., Koudela, M., Hnilička, F. *Změny obsahu energie zelenin v závislosti na působení vodního stresu* (Sborník příspěvků), 32. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář, 111 - 114, hotel Skalský Dvůr, Lísek u Bystřice nad Pernštejnem, 24. – 28. 5. 2010. ISBN: 978-80-7395-259-4.
- Jarvis, D., Mar, I., Sears, L. 2006. *Enhancing the use of crop genetic diversity to manage abiotic stress in agricultural production systems*. Proc. of a workshop, 23-27 May 2005, Budapest, Hungary. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, pp. 23-27.
- Jenks, M. A., Hasegawa, P. M. 2005. *Plant Abiotic Stress*. Blackwell Publishing Ltd. Oxford. p. 270. ISBN-10: 1-4051-2238-2.
- Křesadlová, L., Vilím, S. 2005. *Zelenina z vlastní zahrady*. vyd. 1. Brno: CP Books. ISBN: 80-251-0261-0.
- Kyzlink, V. 1980. *Základy konzervace potravin*. 2. vyd. Praha, SNTL. s. 516.

- Larcher, W. 2003. *Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4th ed. New York: Springer, p. 513. ISBN: 35-404-3516-6.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Springer, Berlin, p. 506. ISBN: 3-540-43516-6.
- Levitt, J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses*. 2d ed. New York, ISBN: 01244550262.
- Lieth, H. 1877. *Energy flow and efficiency differences in plant and plant communities*. In: Application of calorimetry in life sciences. Walter de Gruyter, Berlin – New York. 325 – 326.
- Lieth, H. 1968. *The measurement of calorific values of biological material and the determination of ecological efficiency*. In: Eokhardt, F. E. (ed.): Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. 227 – 246.
- Nilsen, E. T., Orcutt D. M. 1996. *The physiology of plants under stress: Abiotic Factors*. John Wiley & Sons, Inc. New York. p. 689. ISBN: 0-471-003512-6.
- Pekárková, E. 2002. *Pěstujeme salát, špenát a další listové zeleniny*. vyd. 1. Praha: Grada, s. 90. Česká zahrada. ISBN: 80-247-0283-5.
- Petříková, K. 2006. *Zelenina: pěstování, ekonomika, prodej*. vyd. 1. Praha: Profi Press. s. 240. ISBN: 80-86726-20-7.
- Petříková, K., Malý, I., 2004. *Integrované pěstování listové zeleniny*. Praha Ústav zemědělských a potravinářských informací. Zemědělské informace. s. 42. ISBN: 80-7271-1154-7
- Pokluda, R., 2009. *Pěstujeme zeleninu: kapesní příručka pro zahrádkáře*. vyd. 1. Velké Bílovice: TeMi CZ. s. 139. ISBN: 978-80-87156-36-0

- Scott, P. 2008. *Physiology and Behaviour of Plants*. Chichester, England: John Wiley and Sons Ltd, p. 305. ISBN: 978-0-470-85025-1.
- Shabala, S. 2012. *Plant stress physiology*. MA: CABI, Cambridge, p. 318. ISBN: 9781845939953.
- Slama, I., Nessedá, D., Ghnahay, T., Savojče, A., Abdelly, C. 2006. *Effects of water deficit on growth and proline metabolism in Sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany*, 56 (3): 231.
- Šesták, Z., Čatský, J., Avratovščuková, N., Bartoš, J., Janáč, J., Kubín, Š., Květ, J., Nečas, J., Slavík, B., Smetánková, M., Šetlík, I., Vozněsenskiij, V. L. 1966. *Metody studia fotosynthetické produkce rostlin*. Metodické příručky experimentální botaniky. vol. 2. Praha: Academia. s. 394.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology* (Third Edition), Sinauer Associates, Inc., Publisher, Sunderland, Massachusetts, p. 690. ISBN: 0-87893-823-0.

Seznam internetových zdrojů:

<<http://www.deltat.co.uk>> [cit. 29.3.2015]

Víteková, A. Pestovanie novozeľandského špenátu [online]. Euractiv. 25. 1. 2015

[cit. 29.3.2015]. Dostupné z <<http://old.agroporadenstvo.sk/rv/zelenina/spenat.htm?start>>