

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv ABA na tvorbu sušiny a obsah energie kukuřice seté při
vodním stresu**

Diplomová práce

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

Autor práce: Bc. Petr Jiříčka

2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv ABA na tvorbu sušiny a obsah energie kukuřice seté při vodním stresu vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které uvádím v seznamu použité literatury.

V Dolní Kalné, dne:

Podpis:

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za vedení a pomoc při zpracování této diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval všem pracovníkům katedry botaniky a fyziologie rostlin, kteří mi během mé práce vyšli vstříc.

Souhrn

Cílem diplomové práce bylo stanovit rozdíly v rychlosti fotosyntetické akumulace energie do jednotlivých částí rostlinného těla a tvorby sušiny vybraných odrůd kukuřice pěstovaných v podmínkách sucha a vlivu aplikace ABA v různých fázích působení sucha.

Do pokusu byly zařazeny 4 odrůdy kukuřice: Ambrosini, Lars, LG 3252 a Ricardinio. Rostliny byly pěstovány ve skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin ČZU v Praze. Teplotní režim byl nastaven na 25 °C ve dne a 18 °C v noci. Rostliny vegetovaly v nádobách o rozměrech 11x11 cm. Jako substrát byla použita směs zahradního substrátu s pískem v poměru 2:1. Schéma pokusu bylo rozděleno na dvě základní varianty: kontrolní (K) a stresovanou (omezená zálivka po dobu 18. dnů). Stresovaná varianta byla členěna na tři dílčí varianty: S varianta – rostliny bez ošetření ABA, S1 varianta – aplikace ABA na počátku vodního deficitu, S2 varianta – aplikace ABA devátý den stresu. Koncentrace ABA byla 100 $\mu\text{mol.l}^{-1}$. Během vegetace bylo provedeno 10. odběrů.

K měření spalného tepla byl využit poloautomatický isoperibolický spalný kolorimetr IKA C 200. Pro stanovení sušiny orgánů rostlin se rostliny sušily při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti a následně se vážily na analytických vahách.

Z výsledků je patrné, že nejlépe ze stresovaných rostlin jednotlivých variant z hlediska vytvoření průměrné sušiny kořenů reagovaly rostliny S2 varianty (3,29 g). Naopak nejnižší průměrné hmotnosti sušiny kořenů dosáhly rostliny S varianty (2,71 g). Rostliny kontrolní varianty disponovaly s průměrnou hmotností sušiny kořenů 2,78 g. Při hodnocení jednotlivých odrůd z pohledu dosažené průměrné hmotnosti nadzemní části dosáhly nejvyšší hodnoty rostliny odrůdy Ricardinio (3,51 g). Naproti tomu rostliny odrůdy Lars pouze 2,68 g.

S nejvyšší průměrnou hodnotou spalného tepla kořenů disponovaly rostliny odrůdy LG 3252, která dosáhla výše (13,45 kJ.g^{-1}). Nejméně energie měly kořeny rostliny odrůdy Lars (12,20 kJ.g^{-1}). Ze stresovaných rostlin nejvyšší hodnoty průměrné netto energie dosáhly rostliny S1 varianty (15,43 kJ.g^{-1}). Stresované rostliny bez ošetření ABA (S varianta) nejhůře reagovaly na vodní deficit (14,49 kJ.g^{-1}). Netto energie nadzemní biomasy zavlažovaných rostlin byla 15,83 kJ.g^{-1} .

Klíčová slova: Kukuřice, vodní deficit, ABA, sušina, energetický obsah

Summary

The aim of this thesis was to determine differences in the rate of photosynthetic energy storage in different parts of the body and plant dry matter production of selected varieties of corn grown in drought conditions and the influence of ABA applications at various stages of drought effects.

The experiment included four varieties of maize: Ambrosini, Lars, LG 3252 and Ricardinio. Plants were grown in a greenhouse of the Department of Botany and Plant Physiology Life Sciences in Prague. The temperature regime was set to 25 ° C in the daytime and 18 ° C at night. Plants grew in containers with dimensions of 11x11 cm. Substrate was used as a mixture of garden substrate with sand in the ratio 2:1. Diagram of experiment was divided into two basic variants: control (K) and stressed (limited watering days for 18th). Stressed variant was divided into three sub-variants: S variants - plants without ABA treatment, S1 variant - ABA application at the beginning of water deficit, S2 variant - ABA application ninth day stress. ABA concentration was 100 $\mu\text{mol.l}^{-1}$. During the vegetation was performed on 10 subscriptions.

To measure the heat of combustion was used semiautomatic combustion IKA C 200 colorimeter for the determination of dry plant organs, plants dried at 80 ° C to constant weight and then weighed on an analytical balance.

The results show that the most stressed plants of different options in terms of a mean dry weight of roots plants responded S2 variants (3,29 g). The lowest average dry weight of roots plants reached S variants (2,71 g). Plants possess control options with an average weight of 2,78 g dry weight of roots when evaluating the different varieties in terms of achieved average weight of aboveground plant has reached its highest value variety Ricardinio (3,51 g). In contrast, plant varieties Lars only 2,68 g.

With the highest average gross calorific value of the roots of plants possess a variety LG 3252, which amounted to (13,45 kJ.g^{-1}). At least power plants have roots variety Lars (12,20 kJ.g^{-1}). Stressed plants of the highest values of the average net power plants amounted to S1 variants (15,43 kJ.g^{-1}). Stressed plants without ABA treatment (S variant) worst response to water deficit (14,49 kJ.g^{-1}). Net aboveground biomass energy plants irrigated was 15,83 kJ.g^{-1} .

Key words: Maize, water deficit, ABA, dry matter, energy content

Obsah

1. ÚVOD.....	8
2. VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍLE PRÁCE.....	9
2.1. Vědecká hypotéza.....	9
2.2. Cíl práce	9
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1. Botanická charakteristika kukuřice.....	10
3.1.1. Zařazení do systému.....	10
3.1.2. Morfologie.....	10
3.2. Historie a současnost pěstování kukuřice	12
3.3. Šlechtitelské cíle u kukuřice.....	13
3.3.1. Šlechtění kukuřice v České republice	13
3.3.2. GMO kukuřice	14
3.4. Pěstování kukuřice.....	15
3.4.1. Nároky na prostředí.....	15
3.4.2. Zařazení do osevního postupu	17
3.4.3. Zakládání porostu kukuřice	18
3.4.4. Výživa a hnojení	19
3.4.5. Ochrana proti škodlivým činitelům	21
3.5. Rostlina a stres.....	22
3.5.1. Stresové proteiny	23
3.6. Vodní stres	24
3.6.1. Působení vodního stresu na rostlinu	25
3.6.2. Působení vodního stresu na kořeny.....	27
3.7. Adaptační mechanismy rostlin na vodní stres.....	28
3.8. Fytormony	29
3.8.1. Kyselina abscisová.....	30
4. MATERIÁL A METODY	33
4.1. Rostlinný materiál.....	33
4.2. Metoda kultivace	33
4.3. Metoda stanovení kalorimetrického spalného tepla	34
4.4. Hodnocení výsledků pokusu	35
5. VÝSLEDKY	36
5.1. Hmotnost sušiny kořenů a nadzemní biomasy kukuřice.....	36
5.2. Obsah netto energie kořenů a nadzemní biomasy rostlin kukuřice	41
6. DISKUSE.....	53

6.1. Hmotnost sušiny	53
6.2. Obsah netto energie	55
7. ZÁVĚR	56
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
9. SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY	63

1. ÚVOD

Kukuřice je známá už od pradávna, kdy ji využívali staré indiánské kmeny v Americe. Do Evropy se dostala až v 15. století, kdy ji ze své cesty přivezl Kryštof Kolumbus. Dnes se kukuřice pěstuje v teplejších oblastech na celém světě. Největšími producenty kukuřice jsou Spojené státy, Čína, Rusko a další. Kukuřice se pěstuje na siláž nebo na zrno.

Kukuřice se stává v posledním období vzhledem k výnosovému potenciálu zajímavou plodinou budoucnosti. S rozšiřováním možností jejího využití v různých odvětvích hospodářství - krmivářství, potravinářství a zpracovatelském průmyslu např. pro výrobu bioethanolu, bioplynu či průmyslových hmot stoupají nároky na její agrotechnické požadavky pro pěstování a využití. V České republice se v roce 2011 pěstovalo 109 651 ha kukuřice na zrno a 197 579 ha k silážním účelům.

Ze všech abiotických faktorů, které omezují růst a produktivitu rostlin na světě stojí na prvním místě nedostatek vody. Výrazné výkyvy v množství a rozložení dešťových srážek se v poslední době projevují i v oblastech, které dříve tímto typem stresu příliš netrpěly, včetně ČR. Proto cílem mé diplomové práce bylo stanovit rozdíly v rychlosti fotosyntetické akumulace energie do jednotlivých částí rostlinného těla a tvorby sušiny vybraných odrůd kukuřice pěstovaných v podmínkách sucha a vlivu aplikace ABA v různých fázích působení sucha. Kyselina abscisová je důležitý fytohormon, který v rostlinách mimo jiné ovlivňuje mechanismus zavírání průduchů a tím výrazně ovlivňuje vodní režim rostliny.

2. VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍLE PRÁCE

2.1. Vědecká hypotéza

Termín aplikace kyseliny abscisové, na rostliny kukuřice zasažené vodním deficitem, má významný vliv na tvorbu sušiny biomasy a fotosyntetickou akumulaci energie stresovaných rostlin.

2.2. Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo stanovit rozdíly v rychlosti fotosyntetické akumulace energie do jednotlivých částí rostlinného těla a tvorby sušiny vybraných odrůd kukuřice pěstovaných v podmínkách sucha a vlivu aplikace ABA v různých fázích působení sucha.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1. Botanická charakteristika kukuřice

3.1.1. Zařazení do systému

Botanicky řadíme kukuřici setou (*Zea mays* L.) do podčeledi prosovité (*Panicoideae*), do čeledi lipnicovité (*Poaceae*), do řádu lipnicotvaré (*Poales*) a do třídy jednoděložné (*Monocotyledonae*) (JUDD et al., 2008).

Kukuřici setou lze rozdělit do několika variet: kukuřice obecná, tvrdá (*Zea mays* convar. *indurata*), patří mezi nejstarší kukuřice, zahrnuje odrůdy ranné s rychlejším růstem a vývojem v počátečních stádiích a je používána k dokrmování vodní drůbeže. Má tvrdé, okrouhlé, lesklé zrno. Je celosvětově rozšířená. Kukuřice koňský zub (*Zea mays* convar. *indentata*), zrno má obvykle klínovitý tvar s malou jamkou nahoře, odrůdy jsou pozdější a výnosnější než u kukuřice obecné, většina dnes rozšířených hybridů vznikla křížením z kukuřice obecné a koňského zubu. Kukuřice polozubovitá (*Zea mays* convar. *aorista*) vznikla křížením kukuřice obecné a koňského zubu, jedná se o přechodnou formu mezi těmito dvěma varietami. Jamka na vrchu zrna je méně zřetelná než. Další varietou je kukuřice pukancová (*Zea mays* convar. *evarta*) tvoří velmi drobné zrno, pražením zrno praská, oplodí a endosperm se několikrát zvětší, odrůdy k. pukancové mají vysoký obsah bílkovin. Další varieta je zastoupena kukuřicí cukrovou (*Zea mays* convar. *saccharata*), která je po dozrání charakteristická sraštělým endospermem, pro svou výživnou hodnotu se používá jako zelenina. Naproti tomu kukuřice vosková (*Zea mays* convar. *ceratina*) má zrno tvrdostí i vzhledem velmi podobné k. obecné, je vhodná k technickým účelům. Kukuřice škrobnatá (*Zea mays* convar. *amylacea*), má zrno s nízkým obsahem bílkovin a naopak vysokým podílem škrobu. Tato varieta se využívá pro škrobárenský průmysl a výrobu lihu. Poslední varietou je kukuřice pluchatá (*Zea mays* var. *tunicata*), zrno má uzavřené v plevách, nemá hospodářský význam, slouží k botanickým a genetickým účelům (ZIMOLKA et al., 2008).

3.1.2. Morfologie

Kukuřice je statná, jednoletá, jednodomá a cizosprašná rostlina (DOSTÁL, 1989).

Kořenová soustava

Kořenová soustava kukuřice je tvořena ze svazčitých kořenů, které se velmi dobře vyvíjí a rozmísťují v ornici. Dále se vytvářejí provazovité kořeny, které pronikají na vhodných půdách do hloubky 2 – 3 m (LICHNER et al., 1983).

Významné množství jemných kořínků je rozloženo mělce v orniční vrstvě do 20 cm, kolem stonku (stébla) v kruhu okolo 100 cm. Kořeny kukuřice jsou členěny na primární a sekundární kořenovou soustavu. Primární soustavu tvoří kořeny, které se zakládají již v zárodku, sekundární soustavu představují kořeny vznikající během růstu v přeslenech okolo bazálních uzlů. Boční zárodečné kořeny tvoří jen část kořenového systému a mají význam jen v počátečních obdobích růstu (ZIMOLKA et al., 2008).

MOLLIER et PELLERIN (1999) uvádějí, že na kořenový systém kukuřice má negativní vliv nedostatek fosforu v půdě.

Stonek (stéblo)

Stéblo je zásobní orgán, který nese a zprostředkovává spojení listů a kořenů. Je členěno na uzly (nody) a články (internodia). Články stébla jsou vyplněné dřevem (JANDA et al., 1982).

Jednotlivé články stébla nejsou stejně dlouhé. Spodní jsou krátké, ve střední části delší a na horní části opět krátké. Počet článků se mění podle odrůdy, délky vegetační doby a podmínek pěstování. Jejich celkový počet se pohybuje od 8 do 21. Výška stébla v našich podmínkách dosahuje 2 až 4 metrů (RYŠAVÁ et al., 1996).

Listy

Listy přisedají na stéblo střídavě ve dvou svislých řadách. Listy mají velkou plochu, rozšířenou čepel, které je kápoovitá s nápadným středním žebrem. Okraj čepele bývá často mírně zvlněný. Toto je podmíněno nerovnoměrnou rychlostí růstu uvnitř a na okraji listu. Povrch je mírně ochlupený a částečně drsný. Podélná žilnatina se spojuje až v hrotu čepele. Spodní část listu tvoří mohutná pochva. Listové pochvy obklopují stéblo a chrání spodní části jednotlivých článků. Na vnitřní straně listu, na hranici mezi čepelí a pochvou vyrůstá blanitý jazýček, který zabraňuje zatékání vody. V počtu a velikosti listů existují mezi genotypy rozdíly (ŠAŠKOVÁ, 1993).

Květenství

Květy jsou různopohlavní, jednodomé. Samčí, prašnickové květy tvoří klásky uspořádané do latic, samičí květy pestíkové tvoří palici. Lata je tvořena hlavní větví a různým počtem spirálovitě rozestavených vedlejších větví. Samičí květenství je seřazeno do útvaru, který je nazýván palice (klasu). Základy palic se vyvíjejí na koncích zkrácených větviček vyrůstajících v paždí listů. Osa klasu je tvořena klasovým vřetenem. Na obvodu vřetene jsou jamky, kde sedí samičí klásky uspořádané párovitě do podélných řad. Jejich počet je vždy sudý, od 8 – 18 (BENNETZEN et al. 2008).

Palice jsou obaleny mnoha pochvami bezčepelných listů a nad obal vyčnívají dlouhé nitkovité blizny (BENNETZEN et al., 2008).

Samičí květenství kvete s 1 – 5 denním předstihem oproti kvetení lody, přičemž může dojít i k opylení vlastním pylem. Pylová zrna se prostřednictvím větru dostávají na blizny. Životnost pylu je krátká, za polních podmínek nanejvýše jeden den. Nejvhodnější čas na opylování, při kterém se vytvoří největší počet zrn, je mezi devátou hodinou ráno a pátou hodinou odpoledne. Pyl po uchycení na blizně začne téměř okamžitě klíčit. K oplodnění dochází 15 až 25 hodin po opylení (ŠUK et al., 1998).

Plod – Obilka

Zrno je z botanického hlediska nažka, suchý, nepukavý, jednosemenný plod s tenkým oplodím (RYŠAVÁ et al., 1996).

Obilky jsou hranaté, žluté, nahé, z palice nevypadávají. Endosperm obilek nemá lepek, obsahují však tuk a škrob (BENNETZEN et al., 2008).

Zrno může mít barvu od krémové, žluté, červené až po purpurovou a fialovou. Hmotnost 1000 obilek je rozdílná, liší se podle variety. U drobnosemenných variet se pohybuje od 50 do 130 g, u velkosemenných kolísá od 250 – 1200 g (JANDA et al., 1982).

Tvar obilek (zrna) je rozličný a mění se také podle umístění na palici. Na bázi a na vrcholu jsou okrouhlejší, ve střední části zploštělejší. Oplodí kryjící semeno je hladké, na vrcholu s nepatrným zbytkem po čnělce, na bázi se zbytkem po stopce, po jehož odstranění se odkryje tmavá semenná jizva (ZIMOLKA et al., 2008).

3.2. Historie a současnost pěstování kukuřice

Vznik a původ kulturní kukuřice ještě nejsou v současné době zdaleka známy. Dosavadní archeologické nálezy částí rostlin kukuřice, vymezení oblasti původu a jejího postupného rozšiřování, pokud jde o místo a čas, ukazují na dvě zeměpisné oblasti – střeadoamerickou a jihoamerickou. První písemné dokumenty o důkazu existence kukuřice jsou datovány až po objevení Ameriky, její pěstování bylo dokázáno v nejstarších mexických a peruánských kulturách. Kukuřice patří k rostlinám, u kterých není dosud známá divoká forma. S největší pravděpodobností rostla ve Střední Americe, kde se dosud nalézají největší rozmanitost jejích forem a rodů s ní nejbližší spřízněných, které dávají možnosti vzájemného křížení (HŮLA et al., 2008).

Důkaz o původu kukuřice z Mexika a Střední Ameriky deklarují paleobotanické nálezy 80 000 let starého pylu kukuřice, který byl nalezen při geologických vrtech pod budovou Bellas Artes v Ciudad de Mexiko a 7000 let staré paleobotanické nálezy zbytků

kukuřičných vřeten z Tehuacán v Mexiku. Do Evropy, Asie a Afriky se dostala po objevení Ameriky. Pravděpodobně jí dovezl kukuřici Kryštof Kolumbus v roce 1493 (BENNETZEN et al., 2008).

V minulosti se také vyskytovaly teorie, které tvrdily, že kukuřice je asijskou plodinou. Některé vycházely z předpokladu, že již dávno před Kolumbem došlo přes Tichý oceán ke styku mezi národy obývající Jižní Ameriku, Polynésii a jihovýchodní Asii. Tyto teorie však nebyly potvrzeny (ŠUK et al., 1998).

Kukuřice (*Zea mays* L.) je jednou z nepěstovanějších nejžádanějších obilnin na světě (ABREU et al., 2010).

Kukuřičné zrno hraje důležitou úlohu při výkrmu prasat a drůbeže. Rovněž je důležitým komponentem pro ostatní krmné směsi. V poslední době vrůstá význam kukuřice i u nás pro přímou lidskou výživu. Rozšiřuje se použití pukancové kukuřice. Ve světě jsou běžné kukuřičné lupínky, kukuřičná krupice se vyznačuje vysokým obsahem vlákniny. Kromě toho se kukuřičná mouka používá k zahušťování polévek. Z kukuřice se vyrábějí biologicky rozložitelné plasty. Silážní kukuřice hraje důležitou roli při výrobě objemných krmiv a řadí se mezi rozhodující krmné plodiny (SMITH et al., 2004).

V České republice se pěstování kukuřice více rozšířilo až na začátku minulého století, zvláště se zaváděním hybridních odrůd. Přitom doposud převažují dva užitkové směry: kukuřice na zrno a kukuřice silážní. Kromě těchto hlavních směrů se u nás rozvíjí další významné formy využití. Je to zejména silážovaná drť palic bez listenů (CCM), silážovaná drť palic s listeny (LKS) a silážovaná drť zrna (ZIMOLKA et al., 2008).

Na konci 80. let 20. století se v ČSSR pěstovalo přes 160 tisíc ha kukuřice na zrno a kolem 440 tisíc ha kukuřice na siláž a zelené krmení (BENNETZEN et al., 2008). V České republice v roce 2009 se kukuřice na zrno pěstovala přes 91 tis. ha s průměrným výnosem 7,68 t.ha⁻¹ a kukuřice na siláž necelých 180 tis. ha s průměrným výnosem 36,14 t.ha⁻¹. V jiných letech může být plocha kukuřice pěstovaná na zrno vyšší, protože ve statistikách není zahrnuta plocha kukuřice, která se sklídí na zrno, když původně byla zaseta s účelem využití na siláž (Povolný et Vacek, 2009).

3.3. Šlechtitelské cíle u kukuřice

3.3.1. Šlechtění kukuřice v České republice

Kukuřice setá se na našem území začala šlechtit na pracovišti MZLU v Mendeleu v Lednici. Ke šlechtění se nejprve používaly krajové populace, v současné době se vytvářejí

pouze hybridní odrůdy křížením vybraných linií. Hlavními cíly ve šlechtění jsou faktory, které podmiňují adaptabilitu hybridu. Jedná se především o odolnost k poléhání, odolnost k chladu, stejnoměrné zrání, rychlé, odolnost k chorobám a škůdcům, rychlé vysychání v průběhu podzimu, efektivní využití dusíku, tolerance, vyšší stravitelnost silážních hybridů a tolerance k pesticidům. Hybridy, které jsou při pěstování úspěšné se vyznačují vzpřímenými listy, v době sklizně jsou zelené s funkčním fotosyntetickým aparátem (tzv. stay green), mají dlouhý klas a utlé vřeteno, umožňující rychlé vysychání (CHLOUPEK, 2008).

V minulých desetiletích u nás převládaly hybridy využívající cytoplasmaticko-jaderné pylové sterility, ale ta již nebývá spolehlivá, a proto značná část hybridů vyžaduje při výrobě ruční kastraci (CHLOUPEK, 2008).

Akciová společnost CEZEA – šlechtitelská stanice se sídlem v Čejči je v současnosti jediné pracoviště v České republice, jejíž hlavní předmět podnikání je šlechtění kukuřice. Tato společnost byla založena v roce 1993, šlechtění kukuřice tu začalo již v roce 1952. V té době to nebylo pracoviště jediné, které se problematikou šlechtění kukuřice zabývalo. Vývojem politické situace v padesátých letech poměrně rychle skončil dovoz amerických hybridů, ovšem z těchto rostlinných materiálů a z původních populací se začaly šlechtit domácí hybridy (FUKSA, 2009).

Jedním z hlavních cílů šlechtění kukuřice je také šlechtění na různou ranost hybridů. Ranost hybridu udává číslo FAO. Číslo FAO je pro pěstitele orientační ukazatel, který charakterizuje hybrid podle délky jeho vegetace. Diference o hodnotu 10 znamená rozdíl ve zralosti cca o 1 – 2 dny, eventuálně 1 – 2 % sušiny palice. Při setí kukuřice na velké plochy je žádoucí používat více hybridů s odlišnou délkou vegetace a požadavky na prostředí. To umožňuje dosáhnout jistějších výnosů při větší ploše sklizeň kukuřice v optimální zralosti (ŠUK et al., 1998).

Podle ranosti se u nás pěstují velmi rané hybridy (FAO 150 – 200), rané hybridy (FAO 200 – 240), polorané hybridy (FAO 240 – 290), polopozdní hybridy (FAO 290 – 350) a pozdní hybridy (FAO 350 – 450). Ranější hybridy nebývají tolik postihovány letními přísuškami a snáze dosahují požadovaného stupně zralosti. Jsou však méně výnosné než pozdnější (ŠUK et al., 1998).

3.3.2. GMO kukuřice

Geneticky modifikované organismy jsou organismy, jejichž genetická informace byla pozměněna vnějším zásahem za účelem získání nových vlastností, kterých by nebylo možné dosáhnout klasickým šlechtěním. Mezi nejžádanější nové vlastnosti patří odolnost vůči

škůdcům a pesticidům, zlepšení nutriční hodnoty zemědělských plodin a odolnost vůči nepříznivému klimatu. V současnosti jsou nejběžnějšími transgenními plodinami sója, kukuřice bavlník a řepka olejka (DEMNEROVÁ et DOUBKOVÁ, 2003).

V ČR je povoleno pěstovat geneticky modifikovanou Bt kukuřice. Bt kukuřice je transgenní kukuřice rezistentní vůči hmyzu, která má do svého dědičného materiálu vnesen gen pocházející z bakterie *Bacillus thuringiensis*. Tento gen kóduje v rostlině produkci proteinu s toxickým účinkem, který působí v zažívacím ústrojí určitých druhů hmyzu. V podmínkách ČR se jedná o škůdce zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) (PETR, 2008).

Bt kukuřice se v ČR začala poprvé pěstovat v roce 2005, kdy bylo zaseto 150 ha. V dalších letech se plochy zvyšovaly, v roce 2009 bylo zaseto 6480 ha (KŘÍSTKOVÁ, 2009).

Pěstování Bt kukuřice je v ČR podmíněno zákonnými opatřeními, tzv. pravidly koexistence, jejichž cílem je separace geneticky modifikovaných organismů a jejich produktů od produktů klasických, či bio produktů tak, aby spotřebitelům zůstala zachována možnost volby potravin různého původu. Ministerstvo zemědělství, ve spolupráci s regionálními zemědělskými agenturami a Státní rostlino lékařskou správou, každoročně kontroluje dodržování daných pravidel (KŘÍSTKOVÁ, 2009).

3.4. Pěstování kukuřice

3.4.1. Nároky na prostředí

Světlo

Kukuřice je světlomilná a krátkodenní rostlina. Jedná o C_4 rostlinu, z čehož vychází její velmi účinný systém uchování a asimilace oxidu uhličitého, proto dobře využívá světelnou energii. Pokud je kukuřice nucena růst v déle trvající tmě, narůstá pouze zelená hmota a nevytvářejí se generativní orgány (PAČUTA et al., 1998).

Teplo

Kukuřice je na teplo velmi náročná. Jedná se o teplomilnou rostlinu, která je citlivá na výkyvy teplot v průběhu vegetace (KLESNIL et al., 1978).

Velmi dobré výnosy zrna jsou proto dosahovány v nejteplejších oblastech České republiky. V oblastech, kde je méně příznivé klima se osvědčují hybridy s krátkou vegetační dobou, nebo se pěstuje pouze k silážním účelům (VANĚK et al., 2007).

Vyšlechtěné hybridy začínají klíčit při teplotě půdy 7 - 8 °C. Optimální teplota pro klíčení je 25 – 28 °C a pro kvetení 28 – 30 °C. Nízké teploty -1 až -2 °C trvající déle než 3 - 4 hodiny spálí listy, popřípadě ničí celé rostliny. Teploty na hranici 10 °C trvající déle kukuřici

škodí. Rostliny zastavují růst, listy žloutnou a rostliny jsou náchylné k chorobám. Teplotní optimum pro tvorbu vegetativních orgánů je kolem 20 °C. Nároky na celkovou sumu teplot jsou dané raností hybridu a pohybují se v rozmezí 1700 – 3200 °C (JANDA et al., 1982)

Pokud je v době dozrávání chladné počasí zpomaluje se přeměna cukru na škrob a omezují se přívod zásobních látek do zásobních orgánů (JANČOVIČ et al., 2005).

Voda

Kukuřice nepatří mezi suchovzdorné a suchomilné rostliny. Z hlediska ontogeneze lze pozorovat tři kritická období, kdy vláha hraje rozhodující úlohu. Vodu dokáže přijímat velice dobře, zároveň si jí však dovede získat z velkých hloubek v půdě. Anatomické uspořádání listů předurčuje kukuřici k hospodárnému využívání vody. Z počátku vegetačního období je schopna tolerovat potencionální nedostatek vláhy. Od fáze metání až do fáze mléčné zralosti jsou ovšem požadavky na vodu zvýšené (SMITH et al., 2004).

Na dosažení vysokého výnosu sušiny potřebuje kukuřice velké množství vody, dobře využívá půdní vláhu, atmosférické srážky a závlahovou vodu. Po prosu má nejnižší transpirační koeficient (240 – 370) s vysokou sací silou kořenů. Transpirační koeficient kukuřice na vytvoření 1g sušiny je 300 – 400 l vody (KLESNIL et al., 1978).

Pokud je kukuřice pěstována v suchých oblastech kukuřičné výrobní oblasti a dalších suchých lokalitách ostatních výrobních oblastí je závlaha žádoucí (ŠAŠKOVÁ, 1993).

V Polabí, v české závlahové oblasti, je délka vegetačního období kukuřice okolo 145 dnů a suma teplot je zde cca 2400 °C. Nároky na vláhu kukuřice na tomto území dosahují přibližně 4000 m³ vody.ha⁻¹, v teplejších oblastech jižní Moravy, kde je vegetační období dlouhé okolo 145 – 160 dnů a suma teplot kolem 2600 °C potřebuje 4600 m³ vody.ha⁻¹. Dešťové srážky dovedou zabezpečit v našich klimatických podmínkách vláhovou potřebu pouze ze 70 % a zbytek lze doplnit závlahou. Současný technický stav závlahových systému často tuto možnost doplnění vláhy vylučuje. Přitom v posledních letech, kdy se často, vyskytovalo extrémně suché počasí by se závlaha stala účinným opatřením. Tento nástroj by zajistil růst větší listové plochy a její delší funkčnost v celém vegetačním období (ZIMOLKA et al., 2008).

Půda

Kukuřice z půdy odčerpává vodu, živiny a z části i vzduch. Důležitá je dobrá drobtovitá struktura půdy, aby mezi jednotlivými agregáty mohla být voda a vzduch. Množství vzduchu v půdě je obzvláště důležité, protože kořeny určité množství vzduchu potřebují k dýchání. Jestliže je půda zatopena vodou dochází k odumírání rostlin. (SMITH et al., 2004).

Nároky na půdu má kukuřice mnohem menší než na teplotu. Nevhodné jsou pro ni jen těžké a chladné půdy, neboť neumožňují včasné setí. Lépe snáší lehké, hluboké a výhřevné půdy s dostatkem humusu. Je snášenlivá k slabě kyselým tak i k slabě zásaditým půdám. Na silně kyselých půdách dochází k snížení výnosu až o 30% (JANČOVIČ et al., 2005).

Optimální pH půdy je zejména důležité pro zachování struktury půdy a zajištění dobrých fyzikálních vlastností půd, vytvářejících příznivé podmínky pro růst kořenů (VANĚK et al., 1998).

Nevhodné jsou kamenité, zamokřené půdy v mrazových kotlinách. Nároky na půdy stoupají s tím, čím více se pěstuje v méně vhodných klimatických podmínkách. V chladných polohách řepařské výrobní oblasti a v bramborářské výrobní oblasti jsou pro její pěstování vhodné výhřevné půdy s dobrým sorpčním komplexem a s dostatkem humusu (JANČOVIČ et al., 2005).

3.4.2. Zařazení do osevního postupu

Pěstování kukuřice je rozšířené v mnoha různých oblastech světa, pěstuje se od mírného pásma až po tropické oblasti. Tento fakt vysvětluje proč je kukuřice řazena do různých osevních postupů. Při pěstování se musí brát zřetel na vhodnou rotaci podle konkrétních pěstitelských oblastí. V této situaci se vychází z pedoklimatických podmínek a z nároků dalších plodin v osevním postupu. Podstatnou roli hraje i stupeň hospodaření a poptávka na trhu (SMITH et al., 2004).

Kukuřice je řazena mezi obilniny ovšem svými nároky na agrotechniku a hnojení má charakter okopaniny. Předplodiny, které jí nejvíce vyhovující jsou plodiny, které po sobě nechávají velké množství posklizňových zbytků. Luskoviny a jeteloviny jsou velice vhodné předplodiny. V půdě zanechávají velké množství dusíku a kvalitní posklizňové zbytky. Zařazení jetelovin a luskovin je spíše luxusem než běžnou realitou. Dobré předplodiny jsou také plodiny hnojené chlévským hnojem, např. okopaniny (ZIMOLKA et al., 2008).

V nynější skladbě plodin je často kukuřice zařazována mezi dvě obilniny jako plodiny se zlepšujícími vlastnostmi. Její úlohou je mimo jiné být přerušovačem obilných sledů. Uplatnění kukuřice v osevních sledech je také jako náhradní plodina po vymrzlých ozimých obilninách. Tento fakt je možno využít i proto, že kukuřice se vysévá až jako poslední plodina na jaře a je tudíž dostatek času k založení porostu v agrotechnickém termínu (ZIMOLKA et al., 2008).

Při zařazení kukuřice mezi dvě obilniny v osevním postupu a pro dosažení vysokého výnosu je nezbytné aplikovat organické hnojení. Na úrodných půdách to jsou nižší dávky, na chudších vyšší a nejlépe ve formě kvalitního hnoje (SMITH et al., 2004).

Je možné jí pěstovat i několik let za sebou. Monokulturní pěstování nicméně může vyvolávat problémy s plevelnými společenstvy, proto není vhodné jí pěstovat po sobě více než pět let a to ani na úrodných půdách (KAZDA et al., 2010)

Při pěstování kukuřice v monokultuře je možné uplatňovat i zaorávku kukuřičné slámy. Kukuřičná sláma stejně v současné době nemá uplatnění jak ve výživě zvířat tak i třeba jako stelivo (PAČUTA et al., 1998).

Kukuřice pěstovaná na zrno nebo i na siláž je vhodná předplodina pro jarní ječmen, který je schopen přiměřeně využít ponechané živiny v půdě (ZIMOLKA et al., 2008).

V bramborářské výrobní oblasti jsou pro silážní kukuřici výbornou předplodinou rozorané louky a pastviny. Je nutno však před orbou pozemek vyvápnit, aby se upravila půdní reakce (KLESNIL et al., 1978).

Jako předplodina je kukuřice vcelku vhodná pro obilniny. Zůstává po ní méně dusíku v půdě, a proto je vhodná zejména pro jarní ječmen (HŮLA et al., 2008).

3.4.3. Zakládání porostu kukuřice

System zpracování půdy a zakládání porostů je důležitou složkou pěstebních technologií plodin. Pro kukuřici je v současné době k dispozici široký výběr technologických postupů zpracování půdy a zakládání porostů. Volbu pracovních postupů je potřeba přizpůsobit stanovištním podmínkám, zařazení kukuřice do osevního sledu, stavu půdy a vybavení podniku technikou (HŮLA et al., 1997).

V podmínkách České republiky doposud převažují tradiční technologie s orbou. U pěstování kukuřice po obilnině se provádí v krátké době po sklizni podmítka. Podle podmínek stanoviště a dle typu použitého podmítače se hloubka provedené podmítky pohybuje od 6 do 12 cm. Za podmítkou následuje středně-hluboká orba do hloubky kolem 25 centimetrů se současným zapravením organických hnojiv. V suchých oblastech se doporučuje již na podzim urovnat pozemek (ZIMOLKA et al., 2008).

Jarní příprava půdy pro kukuřici se zahajuje v okamžiku, jakmile to půdní podmínky dovolí. V první fázi se provede urovnání povrchu půdy a ve druhé fázi se půda prokypří a zajistí set'ové lože. Velmi důležité je při jarní přípravě půdy minimalizovat vstup na pozemek. Zabraňujeme tak utužení půdy a zároveň šetříme půdní vláhou (RYŠAVÁ et al., 1996).

Basic a Nestroy uvádějí příznivý vliv redukce intenzity zpracování půdy na kvalitu půdního prostředí. Významné je především omezení eroze půdy a ztrát pohyblivých forem dusíku z půdního prostředí do spodních vod (HŮLA et al., 1997).

V suších a teplejších jsou dosahovány stejné nebo vyšší výnosy po minimalizačních technologiích. Naopak v chladnějších a vlhčích podmínkách není většinou výnosová reakce kukuřice na snížení intenzity zpracování půdy tak patrná (HŮLA et al., 2008).

Pokud je kukuřice zařazována po obilnině jsou u nás nejvíce používány technologické postupy s podmínkou, po které následuje buď mělké, nebo i hlubší zpracování půdy. Druhou možností je po provedené podmítce provést regulaci vzešlého výdrolu a plevelů neselektivním herbicidem. Tento způsob je především vhodný v teplejších a suších podmínkách. Na jaře se provede ještě jednou mělké zpracování s možným zapravením minerálních hnojiv (JANDA et al., 1982).

Z hlediska protierozní ochrany je velmi účinné pěstování kukuřice v odumřelé meziplodině. Lze zvolit výsev meziplodiny do konvekčně zpracované půdy s orbou, s čímž je však spojena malá odolnost půdy proti erozi v době do zapojení porostu meziplodiny. Z hlediska protierozní ochrany je účinnější vysetí meziplodiny, zvláště hořčice, do strniště zkypleného například radličkovým kypřičem (HŮLA et ZELÉNÁ, 1995).

Jako další možností zakládání porostů kukuřice se objevuje využití podsevových meziplodin. Primárním cílem je eliminace eroze a regulace zaplevelení. Pro podsevy do kukuřice lze především využít trávy a jeteloviny. Z jetelovin je možné všeobecně doporučit jetel plazivý, jetel luční, vikev huňatou a další. Z travních druhů lze využít jílek jednoletý, srhu laločnatou, ozimé obilniny a další druhy (BRANT et al., 2008).

3.4.4. Výživa a hnojení

Kukuřice vykazuje v porovnání s jinými zemědělskými plodinami určité rozdíly v reakci na pěstování a výživu. Je to způsobeno tím, že je rostlinou C4 na rozdíl od většiny zemědělských plodin s cyklem C3. Tato metabolická odlišnost jí řadí mezi rostliny s vyššími nároky nejen na teplotu vzduchu, ale i půdy a současně vytváří předpoklad pro efektivní využití přijatých živin na tvorbu výnosu (VANĚK et al., 1998).

Kukuřice příznivě reaguje na živiny tzv. staré půdní síly, což znamená, že je výhodné hnojit intenzivně předplodinu. Kukuřice je pak schopná v následujícím roce využít tyto živiny, a to i hlubších půdních horizontů. Naopak na přímé hnojení nereaguje porost příliš výrazně (SMITH et al., 2004).

Pro kukuřici je charakteristický velmi pomalý počáteční růst a malý příjem živin. Kukuřice je v této době náchylná k nižším teplotám a její konkurenční schopnost je nízká. Při výšce 40 – 50 cm lze počítat s odběrem 35 kg dusíku, 4 kg fosforu, 40 kg draslíku a 3 kg hořčíku na hektar. Jakmile však vytvoří dostatečný kořenový systém, osvojuje si živiny z půdy poměrně dobře a následuje období intenzivního růstu a příjmu živin (VANĚK et al., 2007).

Normativní potřeby živin pro kukuřici jsou uvedeny v tab. 1 (Vaněk et al., 2007).

Produkt	N	P	K	Ca	Mg
Zrno	22 - 26	4,4 – 6,6	21 - 33	4,3 – 7,1	4,0 – 6,0
Zel. hmota	3,5 - 4	0,7 – 0,9	2,9 – 3,7	0,9 – 1,3	0,3 – 0,6

Tab. 1 Střední odběr živin kukuřicí v kg na tunu produktu (VANĚK et al., 2007).

Tabulka 1 znázorňuje, že kukuřice má značné nároky na dusík, fosfor a draslík, potřeby vápníku a hořčíku jsou o něco nižší.

Nepostradatelnou úlohu v hnojení kukuřice činí dusík, který podporuje růst zelené hmoty, sušiny, podílí se na počtu palic na rostlině a pozitivně ovlivňuje příjem fosforu. Dusíkem hnojíme před setím s následným zapravením alespoň na hloubku setí. Na lehkých půdách a při vyšších atmosférických srážkách se doporučuje dávku dělit (LICHNER et al., 1983).

Celková úroveň dusíkatého hnojení v minerálních hnojivech by se měla dle očekávaného výnosu pohybovat mezi 80 – 120 kg N.ha⁻¹ (VANĚK et al., 1998).

Deficit dusíku je patrný pozorováním žlutozeleného zbarvením listů, chabým růstem a slabými stébly. Špatná dostupnost dusíku pro rostliny se projevuje zejména v suchých obdobích a v letech s nerovnoměrně rozloženými srážkami (JANČOVIČ et al., 2005).

Kukuřice má vysoké nároky na fosfor. Kritické období pro jeho příjem je v počátečních fázích růstu kukuřice. Proto je důležitý dostatečný obsah přijatelného fosforu v okolí osiva již v počátku vegetace. Z tohoto hlediska se uplatňuje specifické lokální hnojení pod patu. Hnojivo je aplikováno 4 – 5 cm pod úroveň osiva a 4 – 5 cm do strany. Celkové dávky fosforu se pohybují okolo 50 kg P.ha⁻¹ (ZIMOLKA et al., 2008).

Draslík podporuje tvorbu cukrů, snižuje poléhavost rostlin a zlepšuje jejich odolnost vůči vodnímu stresu. Draslík má kladný vliv na transpirační koeficient, který je snižován a rostlina tak efektivněji využívá vodu k tvorbě významných asimilátů (PREMACHANDRA et al., 2008).

Při volbě minerálních hnojiv bereme ohled na půdní reakci půdy. Na kyselých půdách je vhodné používat fyziologicky zásaditá nebo neutrální hnojiva (JANČOVIČ et al., 2005).

Kukuřice většinou dobře reaguje na organické hnojení, zvláště na lehkých půdách a ve vlhčích oblastech. Na podzim lze aplikovat hnůj v dávce 30 až 40 t.ha⁻¹ (POULÍK, 1996)

O agrochemickém účinku kejdy rozhodují hlavně kvalita kejdy a podmínky, za kterých je aplikována. Lze použít kejdu skotu až 60 – 80 tun na hektar. Z hlediska termínu aplikace jsou rozhodující půdní podmínky (VANĚK et al., 1998).

Vhodné je použití močůvky, dávky činí podle obsahu dusíku 40 až 70 t.ha⁻¹, zvláště v jarním období před přípravou půdy (VANĚK et al., 2007).

3.4.5. Ochrana proti škodlivým činitelům

Plevele

Kukuřice se pěstuje v širokých řádcích, jako teplomilná plodina se seje až při vyšších teplotách. Její růst je na počátku vegetace poměrně malý, a proto má minimální konkurenční schopnost vůči plevelům. Z tohoto pohledu je kladen vysoký důraz na systém regulace plevelů v kukuřici. Vytrvalé plevele je vhodné řešit v předplodinách (KAZDA et al., 2010).

Na řadě pozemků a zvláště dnes při větším podílu minimalizačních technologií jsou však nejvýznamnější plevele vytrvalé druhy. Jedná se hlavně o pýr plazivý, pcháč rolní a případně svlačec rolní. Typickými plevele v kukuřici jsou jednoleté jarní plevele, ale často jsou zde i přezimující nebo stále vzcházející druhy (ZIMOLKA et al., 2008).

Pokud přichází v úvahu mechanické hubení plevelů, jedná se především o plečkování. S plečkováním je vhodné začít co nejdříve a nejméně dvakrát jej opakovat. Pokud má plečkování pouze doplnit standardní celoplošný chemický zásah, provádíme jej minimálně 14 denním odstupem od postřiku, na hloubku 3 – 5 cm (HAKANSSON, 2003).

Choroby a škůdci

Kukuřice je jedna z mála plodin, která bývá v minimálním rozsahu napadena chorobami v průběhu vegetace. Ochrana proti houbovým chorobám při klíčení a vzcházení je zabezpečena mořením osiva (RYŠAVÁ et al., 1996).

V některých letech se objevují primární příznaky napadení obecnou snětivostí kukuřice, jejímž původcem je stopkovýtrusá houba *Ustilago maydis*. Typickým příznakem je tvorba hálek, které se mohou objevit na všech nadzemních částech rostliny. Přibližně od fáze časné mléčné zralosti začínají být patrné příznaky napadení palic houbami rodu *Fusarium*. Příznakem napadení je nepravidelné vyžrávání, deformace, hnědavé až červenofialové zabarvení zrn (KAZDA et al., 2010).

Během vzcházení poškozují kukuřici především polyfágní půdní škůdci. Významné poškození mohou způsobit drátovci – larvy kovaříků. Základní ochranou je setí insekticidně mořeného osiva (JANDA et al., 1982).

3.5. Rostlina a stres

Rostliny jsou v průběhu svého života vystaveny velmi proměnlivým podmínkám vnějšího prostředí. Ty mohou nejen zpomalovat jejich životní funkce, ale také poškozovat jednotlivé orgány a v krajním případě vést i k jejich uhynutí. Nepříznivé vlivy vnějšího prostředí závažně ohrožující rostlinu jsou označovány jako stresory. Termín stres je používán pro souhrnné označení stavu, ve kterém se rostlina nachází pod vlivem stresorů. Nejde přitom nikdy o nějaký ustálený a snadno definovatelný stav, ale spíše o dynamický komplex mnoha reakcí (JONES et al., 2008).

Negativní vlivy – stresory, působí na celou rostlinu, tj. na kořeny, nadzemní část i na vyvíjející se semena. Rostliny, respektive rostlinné druhy, jsou přizpůsobeny k vykonávání všech velmi důležitých životních funkcí za poměrně značného kolísání faktorů vnějšího prostředí. Při působení stresorů může rostlina dosáhnout nového rovnovážného stavu na základě činnosti kompenzačních procesů. Při nezvládnutí vlivu stresorů dojde až k uhynutí rostliny. Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, se nazývá stresová reakce (poplachová fáze – restituční fáze – fáze rezistence – fáze vyčerpání) (BLÁHA et al., 2003).

Poplachová fáze je zahájena bezprostředně po účinku stresoru či spíše kombinaci stresorů, kdy jsou jejich působením narušeny jejich buněčné struktury a životní funkce rostliny. V restituční fázi, nedojde-li ovšem k překročení letální meze rostliny a 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 (BLÁHA et al., 2003).

Stresové faktory, ať už fyzikálně-chemické či biotické mohou pronikat do vnitřního prostředí rostlin různých druhů nesterjně snadno, a to především v důsledku různě vyvinutých ochranných struktur. Tento způsob ochrany má převážně pasivní a dlouhodobý charakter. Jedná se vlastně o schopnost vyhnout se stresu, ke kterému přispívají také vhodně načasované životní cykly (LEVITT, 1980).

Výsledkem stresové reakce je určitá úroveň adaptační schopnosti. Přechodně se může zvýšit i úroveň odolnosti vůči abiotickým stresorům – tento jev se nazývá aklimatizace. Řada

rostlinných druhů se dokáže vyhnout působení stresů, většinou však se rostlina pokouší nastolení tolerance vůči stresu (LEVITT, 1980).

Stresory mohou ovlivňovat výnos a kvalitu zrna jednak nepřímo ještě před vlastní tvorbou semene, tím že oslabí rostlinu, nebo přímo v době kvetení, oplodnění a tvorby semene. V extrémním případě může dojít až ke vzniku semen, která nejsou schopná vyklíčit. Celosvětově se problematika semenářství spojená se stresory zabývá jak přímo studiem vlastností samotného semene, tak souvislostmi se stavem celé rostliny v nepříznivých podmínkách (BLÁHA et al., 2003).

Kořeny jsou stresory ovlivňovány stejně jako ostatní části rostliny. V nepříznivých podmínkách u kořenového systému dochází ke změnám v příjmu živin. Z nadzemních částí rostliny se přesouvají zásobní látky, které jsou pak využívány na tvorbu nových kořenů. Vlivem stresorů se mění i jednotlivé znaky kořenů, které jsou často typické pro daný typ stresoru (BLÁHA et al., 2003).

3.5.1. Stresové proteiny

Pokud je rostlina pod vlivem jakéhokoli stresu dojde často ve velmi krátké době k mnoha dramatickým změnám v zastoupení bílkovin uvnitř buňky jak po kvantitativní tak i po kvalitativní stránce. Produkce některých proteinů se poté divoce zvyšuje a jiných obráceně dochází k poklesu tvorby. Často se stává, že se ve velkém množství vytvářejí proteiny, které se za běžných okolností v buňkách nedají detekovat. Největší proměny v syntéze proteinů nastávají několik hodin po zahájení vlivu stresoru. Posléze nastává návrat do počátečního stavu. Z mnoha proteinů, které byly syntetizovány díky působení určitého stresoru, tak pouze část se pravidelně objevuje i u jiných typů stresů (JONES et al., 2008).

Proteiny vyvolané vodním deficitem (*dehydration-induced proteins*), se podobají stresovým proteinům indukovaným zasolením půdy a také kategorii chladových proteinů. Dehydratace navodí hlavně tvorbu enzymů potřebných pro zvýšení syntézy osmoticky aktivních látek. Výrazně stoupá tvorba skupiny enzymů metabolismu sacharidů, což má za následek hromadění jednoduchých cukrů a fruktanů. Specifickou skupinou asi dvaceti stresových proteinů, které vznikají při vodním deficitu v buňkách, jsou dehydriny (HASEGAWA et JENKS, 2005).

Dehydriny se vyskytují prakticky u všech vyšších rostlin. Molekuly dehydrinů jsou velice bohaté na glycin a na polární aminokyseliny (serin, treonin). Jsou proto velmi hydrofilní, ve vodných roztocích zůstávají rozpuštěné i po krátkém varu, čehož se využívá

k jejich izolaci. Na základě *in vitro* studií bylo zjištěno, že molekuly dehydrinů v plně hydratovaném prostředí zaujímají konformaci statického klubka (KOSOVÁ et al., 2008).

Dehydriny jsou intracelulární proteiny, které se mohou v malých množstvích vyskytovat i v pletivech rostoucích za optimálních podmínek. Jejich hlavní funkcí je, že ve svých molekulách vážou značné množství vody. Další důležitou funkcí je ochrana enzymů proti nízkým teplotám (KOSOVÁ et al., 2008).

3.6. Vodní stres

Deficit vody je pravděpodobně jedním z nejvýznamnějších limitujících faktorů vnějšího prostředí na světě, které ovlivňují výši a kvalitu rostlinné produkce (HNILÍČKA et al., 2008).

Na celosvětové úrovni je vodní deficit nejrozšířenější stresový faktor, který negativně ovlivňuje růst rostlin. (CHAVES et al., 2003).

Vodní stres, je nejvíce limitující stresor pro rostliny. Pokud má rostlinný organismus nedostatek přístupné vody snižuje se aktivita všech enzymů a zpomaluje se růst. Nejčastější příčinou nedostatku vody dostupné pro rostliny jsou klimatické poměry a průběh počasí. Důležitým faktorem v příjmu vody rostlinou je také obsah živin v půdě, zasolením půdy a důležitou roli hraje také půdní reakce (BLÁHA et al., 2003).

Na zemském povrchu jsou i oblasti s nepřetržitým nedostatkem vody. Tyto oblasti se vyskytují v Africe (saharská oblast) a také např. v Indii. Zde převládá výdej vody nad jejím příjmem (HNILÍČKA et al., 2007).

V místech, kde roční výpar převyšuje celkový roční úhrn srážek, nastává sucho pravidelně a dlouhodobě. Podnebí v těchto oblastech je považováno za aridní, na rozdíl od humidního podnebí v oblastech, kde je srážek nadbytek. Přibližně třetina povrchu pevnin na Zemi je zasažena nedostatkem srážek a šestina plochy na Zemi je natolik suchá že roční úhrn srážek nedosahuje ani čtvrtinu hodnoty případné roční evaporace (LARCHER, 1995).

U velké řady světových ekosystémů dochází k, sezónnosti srážek, které utvářejí vztah vody k rostlinám. Například, v oblastech středozemí se vyskytují vlhké, mírné zimy a v průběhu léta nastávají rozsáhlá sucha. Sezónní sucho je také charakteristické pro tropické suché lesy, které se rozkládají např. v jižním Mexiku a v bolivijských nížinách (NILSEN et ORCUTT, 1996).

Také na území České republiky dochází v posledních letech k výrazným výkyvům v množství a ročnímu rozložení dešťových srážek. Významná většina u nás hospodářsky významných druhů rostlin, které se pěstují, není na tyto extrémní v zásobení vodou specificky

adaptováno je nutné neustále vyvíjet nové genotypy, které mají zvýšenou odolnost vůči suchu (HOLÁ et al., 2009).

Nedostatek vody může nastat i v zimě a rostliny jím mohou být poškozeny, jestliže dlouhotrvající mrazy brání opětovnému doplnění vodních zásob (LARCHER, 1995).

Vodní stresy, které působí na rostliny krátkodobě, nemusí mít dopad na celkovou úroveň sklizně. Pokud vodní stres neporuší vodivé dráhy rostlin a voda je jediný limitující faktor, při nedostatku vody může rostlina reagovat změnami distribuce nebo redistribuce vody v orgánech a to pomocí osmotických změn v těchto orgánech. Akumulace asimilátů pak převládá v místech, která jsou deficitem vody méně zasažena a poškozena (BRESTIČ et OLŠOVSKÁ, 2001).

Dostupnost vody v půdě a její nedostatek pro rostlinu lze posuzovat z různých hledisek. Z agronomického hlediska lze za hranici nepříznivého působení považovat stav, kdy se začne snižovat růst rostlin s průkaznými následky pro výnos a kvalitu produkce. (HABERLE et al., 2008).

Velký význam na dostupnost vody v půdě má také její případný pokryv a zavlažování. LIU et al. (2010) pěstovali kukuřici ve třech různých variantách. V prvním případě byl povrch pozemku zakryt mulčem trávy, druhá varianta pokusu byla zavlažovaná a třetí tvořila kontrola. Z hlediska akumulace sušiny byly nejlépe, shodně vyhodnoceny první dvě varianty.

3.6.1. Působení vodního stresu na rostlinu

Prvořadě je pro rostlinu v mírném pásmu, zda sucho nastalo v průběhu vegetace, nebo zda rostlina roste s relativním nedostatkem vody od počátku vegetace. Jakmile nastane nedostatek vody v průběhu vegetace jeho vliv na metabolismus je silnější, neboť rostlina od počátku vegetace v suchu, její kořenový systém i nadzemní část je na tuto skutečnost lépe adaptována. Zejména mají silnější kutikulu, méně průduchů a relativně i menší listovou plochu (HNILIČKA et al., 2008).

Určit jak velkému stresu z nedostatku vody je rostlina vystavena je složité. Vzhledem k složitým vazbám mezi množstvím vody v rostlině a v okolním prostředí nelze dosti dobře zavést jednoduché kritérium, podle kterého bychom tento stav hodnotili. Ukazatele, které vycházejí ze stavu vody v rostlině (např. vodní potenciál buněk) jsou proto spolehlivější než údaje o vodě v prostředí (např. vodní potenciál půdy) (SCOTT, 2008).

Dopadem nedostatečného zásobování rostlinného organismu vodou v něm dochází k celé řadě význačných anatomických, morfologických, fyziologických i biochemických změn na úrovni buněk, pletiv, orgánů i celé rostliny (HOLÁ et al., 2009).

Při vlivu vodního stresu dochází především k snížení intenzity fotosyntézy rychlosti růstu. Důležitou úlohou vody je udržování turgidity. Turgor má u rostlin hlavní úlohu při růstu a prodlužování buněk. 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 et al., 2003).

Vodním deficitem je u většiny rostlinných druhů negativně ovlivněn růst buněk (HSIAO et al., 1976).

K měřitelnému zpomalení růstu dochází již při velmi malých ztrátách vody, kdy turgor klesne jen o 0,1 až 0,2 MPa. Růst se zastavuje již při poklesu turgoru na $-0,3$ až $-0,4$ MPa. K zastavení růstu tedy dochází dříve než k patrnému vadnutí listů. Pokud i nadále dochází k poklesu vodního potenciálu buněk přibližně na hodnotu $-0,2$ až $-0,8$ MPa dochází k rychlým změnám aktivity enzymů. Snižuje se syntéza bílkovin a cytokininů a zpomaluje se dělení buněk. Při dalším klesání vodního potenciálu až k hodnotám okolo $-1,0$ MPa dochází u velké většiny druhů k tvorbě alkoholu, cukrů, aminokyselin prolinu a dalších sloučenin. Další pokračující nedostatek vody se začíná projevovat následnými metabolickými změnami, a to hlavně u fotosyntézy a transportních pochodů v buňce (JONES, et al., 2008).

Vodní stres u vyšších rostlin ovlivňuje v první řadě průduchy, při jejich uzavírání zbrzdí výměnu oxidu uhličitého, např. u stále zelených rostlin keřů v oblasti kolem středozemního moře rychlost fotosyntézy v období sucha dosahuje pouze 60 až 20 % hodnot fotosyntézy z období dešťů (BLÁHA et al., 2003).

Při studiu fotosyntézy je důležité se nevěnovat pouze její rychlosti, ale také klást důraz na další fyziologické charakteristiky jako je otevírání a zavírání průduchů, vodivost průduchů, změny obsahu a charakteru chlorofylů a ostatních rostlinných barviv včetně biochemických reakcí (HNILÍČKA et al., 2007).

Během vodního stresu se zvyšuje degradace chlorofylu a klesá jeho koncentrace. Dále se snižuje transport látek, akumulace sušiny a současně dochází k hromadění energeticky bohatých látek a také k hromadění toxických látek. Pokud je vodní stres silný může dojít až k porušení membrán a k uhynutí rostliny (BLÁHA et al., 2003).

Při postupném vysychání se snižuje hydratace protoplazmy a tím i schopnost fotosyntetického aparátu plnit svoji činnost. Neoptimálnější rychlost příjmu CO_2 je jen v úzkém rozsahu optimálního zásobování vodou. Mimo tento rozsah příjem CO_2 začíná klesat, až dojde nakonec k jeho zastavení (BLÁHA et al., 2003).

Rostlina na nedostatečné množství vody v organismu reaguje tvorbou velké řady látek, které zvyšují osmotický tlak v buňkách, zvláště se zvyšuje koncentrace kyseliny abscisové

(ABA). Rostoucí koncentrace ABA v listech má za následek zavírání průduchů rostlin (Bláha a kol., 2003).

3.6.2. Působení vodního stresu na kořeny

Na nedostatek vody reaguje rostlina zvýšeným růstem kořenů (na úkor nadzemní části), pokud vodní stres již dosáhl únosné meze, růst kořenů snižuje, protože rostlina nemá dostatek asimilátů. Kořenový systém, který je ve větší hloubce zlepšuje přístup k zásobě vody v podorničí, důvodem je, že kořeny z vyšší hloubky vylučují vodu v povrchových vrstvách půdy a zlepšují příjem živin pro kořeny v této vrstvě. Když dojde k obnovení srážek, tak mohutnější kořenový systém (spolu s adaptacemi nadzemní části) může představovat i výhodu v konečné fázi života rostliny ve srovnání s rostlinami, které neprošly obdobím drobného nedostatku vody. Tato skutečnost byla naposledy sledována v letech 2000 a 2007 (HABERLE et al., 2008).

Sucho je z hlediska fyziologie hlavní abiotický stresor, který nejvíce ovlivňuje kořenový systém a má pak dodatečně vliv na nadzemní část rostliny. Z nejčastějších reakcí kořenů rostlin, které nevyrostaly v období sucha je, že reagují prodlužováním vlastní délky. Tato odezva je typická především u jednoletých rostlin. Pokud nastane sucho během vegetace, rostlina často reaguje omezením růstu postranních větví a prodlužováním hlavního kořene (BLÁHA et al., 2006).

Vodní stres má vliv na délku kořenů, hmotnost kořenů, povrch kořenů, množství kořenového vlášení a také na množství odebraných živin kořeny. Tyto vlastnosti kořenů jsou zřetelně ovlivněny genotypem a konkrétními vlastnostmi vodního deficitu (BLÁHA et HNILIČKA, 2004).

Hlavní funkcí kořenů je zabezpečit stálý příjem vody a minerálních látek do nadzemních orgánů rostlin. V případě, kdy je dlouhodobá nouze o vodu od začátku vegetace dochází k potlačení tvorby kořenového systému, zejména u některých rostlin. V počátečním období dochází k jeho prodlužování do větších hloubek, zároveň je však omezena tvorba postranních kořenů a kořenového vlášení. Pokud ovšem vodní stres i nadále pokračuje, dochází ke zmenšení kořenového systému, přestávají se vytvářet absorpční trichomy a nakonec se zcela růst zastaví a kořen uhyne (BLÁHA et al., 2003).

3.7. Adaptační mechanismy rostlin na vodní stres

Suchozemské rostliny si vyvinuly různě důmyslné mechanismy, pomocí nichž se jim daří nejen přežít, ale zachovat si i vysokou výkonnost v období sucha. Velké množství adaptivních mechanismů je uzpůsobeno tak, aby se rostlina vyhnula nebo alespoň tolerovala vodní deficit (FERERES, 1984).

Rostliny v období nedostatku vody řeší dilema, jestli mají za každou cenu zabránit ztrátám vody nebo si zachovat alespoň omezenou produkci. Rostlina má snahu mít otevřené průduchy, aby probíhala dostatečná difúze oxidu uhličitého stomaty do mezofylu listů pro potřeby fotosyntézy a zároveň má snahu stomata uzavírat z důvodu ztráty vody transpirací (ZÁMEČNÍK et al., 2007).

Rostliny kukuřice na krátkodobé působení sucha reagují svinováním svých listů. Při déle trvajícím vodním deficitu dochází k omezení růstu a k redukci počtu zrn v palici (MOUSSA et al., 2008).

Sukulenty dokážou díky vodním pletivům v listech, stoncích, kmenech nebo kořenech uchovávat vázanou vodu. Parenchymatické buňky se zvětšují na úkor mezibuněčných prostor a dochází i ke zvětšování jejich vakuol. V průběhu deštivého počasí rostliny načerpají vodu do vakuol, která se během sucha pozvolna uvolňuje, rostliny tak ztrácejí turgor nebo se srašťují. Naopak v suché periodě jsou schopny vodou maximálně šetřit a průduchy otevírají pouze v noci (SCOTT, 2008).

Nejúčinnější adaptaci na ochranu před nadměrným odparem (xeromorfní adaptace) reprezentují voskové povlaky, silná kutikula, různé trichomy, průduchy umístěné hlouběji do listu a úsporný režim jejich otevírání, zmenšení velikosti transpiračních orgánů, nastavení listů k slunci co nejmenší plochou. K těmto opatřením se může přidat i bezlistou. U rostlin s velkými listy při velkém vodním deficitu, může docházet až k částečné nekróze listů. (BLÁHA et al., 2003).

Strategii úniku v podmínkách nedostatku vody využívají efemerní jednoleté druhy pouští. Ty jsou schopny uskutečnit celý vývojový cyklus ve velmi krátké době a přečkat suché období, které může trvat až několik let, v podobě semen. Ne všechny efemerní jednoleté druhy jsou schopny přežívat tvrdé podmínky pouště. Efemery také nejsou typické xerofyty, neboť stresu unikají. Obecně platí, že podíl jednoletých druhů roste se stoupající ariditou (BLÁHA et al., 2003).

Některé efemerní druhy neomezují výpar vůbec a uchovávají si vysokou rychlost transpirace, dokud neuschnou. Stále zelené tvrdolisté stromy a keře v oblastech s periodickým

letním suchem mohou naopak omezovat spotřebu vody velmi účinně, snižují ji na 10 až 20 % množství, spotřebovaného když je voda dostupná. Nejúčinnější snižování transpirace nalézáme u CAM rostlin, jejichž průduchy jsou v období sucha úplně uzavřeny po celý den, jestliže se otevírají, je to jen v noci (LARCHER, 1995).

Nedostatku vody jsou rostliny schopny poměrně dlouho vzdorovat. Jednoleté rostliny, zejména plevely, mají schopnost několikanásobně zmenšit své rozměry, vykvést a dokončit generativní cyklus uzráním semen. Semena jsou klíčivá, ale jejich hmotnost může být v některých případech i menší než 50 % normální hodnoty (BLÁHA et al., 2003).

3.8. Fytohormony

Fytohormony jsou obecně se vyskytující organické nízkomolekulární látky, s funkcí endogenních signálních látek. Tyto přirozené metabolity jsou v rostlinách přítomny ve velmi nízkých koncentracích (10^{-6} – 10^{-9} M) a slouží k přenosu informací mezi pletivy a orgány v rostlině. Jsou transportované na krátké vzdálenosti především buněčným transportem, na dlouhé vzdálenosti vodivými pletivy (JACOBS, 1979).

Efekt fytohormonů je dále dán schopnostmi buňky signál rozeznat a reagovat na něj. Signál je rozeznáván specifickými receptory, jejichž množství určuje citlivost buňky k signálu. Schopnost na signál reagovat je dána stavem buňky, závisí na stupni diferenciaci i aktuálních trofických poměrech buňky. Efekty fytohormonů jsou proto velice pleiotropické (PROCHÁZKA et al., 1997).

Síla signálu fytohormonu odpovídá jeho koncentraci. Hladina fytohormonu je řízena na mnoha úrovních, především intenzitou jeho biosyntézy a degradací v místě jeho vzniku, rychlostí transportu do místa odpovědi a intenzitou jeho odbourávání v místě působení (HOOYKAAS et al., 1999).

Fytohormony se využívají jako růstové regulátory v rostlinné výrobě, ve vysokých koncentracích působí jako herbicidy (PROCHÁZKA et al., 1997).

Klasicky se uvádí pět základních kategorií fytohormonů – auxiny, cytokininy, gibbereliny, kyselina abscisová a etylén. V posledních desetiletích se objevují další signální látky fytohormonálního charakteru – kyselina jasmonová, kyselina salicylová, brassinosteroidy, polypeptidy a oligopeptidy (KUTINA et al., 1988).

3.8.1. Kyselina abscisová

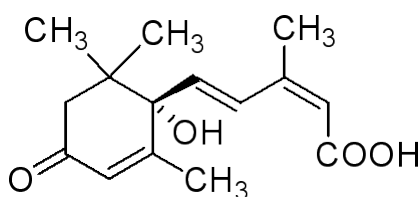
Identifikována v mnoha rostlinných orgánech, které mají chloroplasty nebo amyloplasty. Název abscisová kyselina vznikl chybnou interpretací opadu (abscise) listů, o němž se dnes již vím, že je vyvoláván etylénem (LANG, 1993)

Kyselina abscisová je významný všudypřítomný fytohormon, který řídí dlouhodobé růstové a vývojové procesy i aktuální stresové reakce. Vyskytuje se obecně u všech rostlin, ve všech pletivech a téměř ve všech buňkách. Ve většině případů působí antagonisticky ke gibberelinům, cytokininům i auxinům (ARACO et al 2003).

3.8.1.1. Chemické a fyzikální vlastnosti ABA

Patří k terpenoidním inhibitorům. Je složena ze tří isoprenoidních jednotek. Struktura její molekuli je podobná karotenoidům (KUTINA et al., 1988).

Z chemického hlediska je ABA definovaná jako kyselina (+)-(1'S, 2Z, 4E)-5-(1'-hydroxy-2',6',6'-trimetyl-4-oxo-2'-cyklo-hexenyl)-3-metyl-2,4-pentadienová (obr. 1.). Její přírozená forma ((S)-ABA) je obsažena hlavně v zelených listech. Poprvé byla izolována v roce 1963 jako látka urychlující opad plodů bavlníku. Uměle syntetizovaná (R)-ABA je významně méně účinná než přírodní. Další formou této významné látky je fotodegradabilní 2-cis-4-trans-izomer ABA, která se na světle snadno přeměňuje na trans-trans-izomer s jen nepatrnou fyziologickou aktivitou (PROCHÁZKA et al., 1997).



Obr. 1. (S)-ABA

3.8.1.2. Fyziologické účinky ABA

Regulace vodního režimu je jednou z nejdůležitějších funkcí kyseliny abscisové (SCOTT, 2008).

Při regulaci vodního režimu je zásadní schopnost ovládat průduchy rostliny. Při nedostatku vody v půdě stoupá biosyntéza ABA v kořenech a zvyšuje se její transport

xylémem do rostliny. ABA způsobuje otevírání a zavírání průduchů inhibicí ATP-protonové pumpy v plazmatické membráně svěřacích buněk. Pro otevírání průduchů je velmi důležitý obsah K⁺ iontů ve svěřacích buňkách. Když jsou K⁺ ionty transportovány do svěřacích buněk stoupá vodní potenciál a dochází k otevírání průduchů (LANG, 1993).

Průduchy reagují na signál ABA velmi citlivě. Zavírají se již po několika minutách od zvýšení koncentrace ABA, proto k zavírání průduchů a ke snížení transpirace dochází dříve než rostliny začnou vadnout. U kukuřice seté (*Zea mays*) se průduchy zavírají již za tři minuty (TREWAVAS et al. 1997).

Ve vadnoucích listech je velký podíl ABA v cytosolu buněk, kde je oxidována cytosolovými oxygenázami, což rychle snižuje její obsah. Snížení koncentrace ABA v chloroplastech listu zvýší však rychle její biosyntézu, a tak dojde k vzestupu koncentrace ABA v objemu buňky, což kompenzuje její ztráty degradací a translokací ze zvadlých listů. Po obnovení vodního potenciálu je většina ABA mimo chloroplasty odbourána a protože chloroplasty nejsou dále propustné pro ABA její koncentrace se v nich vrátí na hladinu, která brání další biosyntéze (THOMAS et al., 1994).

Ztráty vody v rostlinách během vodního stresu je tedy možno redukovat, a tak zvýšit odolnost rostlin proti suchu aplikací ABA (PROCHÁZKA et al., 1997).

Kyselina abscisová v normálních koncentracích inhibuje dlouhivý růst stonku. Při velmi malých koncentracích může stimulovat růst lodyhy. Podobně působí i nízká dávka regulátoru CCC (chlorcholinchlorid), a to pozitivním vlivem na syntézu giberelinů (KUTINA et al., 1988).

Příčinou neklíčení některých semen po sklizni je dormance, související s vysokým obsahem inhibičních látek, které mohou být odbourány buď ochlazením zbobtnaných semen (stratifikace), nebo ponechání suchých semen určitou dobu za normálních teplot (HOOYKAAS et al., 1999).

Nejčastější příčinou tohoto odpočinku je vysoký obsah rostlinných hormonů inhibiční povahy (ABA, kyseliny jasmonové, derivátů kyseliny benzoové, skořicové a kumarinu. Ty přerušují genovou expresi (blokují transkripci a translaci), ale mohou vyvolávat i nescifické inhibice enzymů (JACOBS, 1979).

Exogenní aplikace ABA na pupeny vede k jejich dormanci. To nasvědčuje tomu, že ABA je fytohormon, který navozuje dormanci pupenů. Je syntetizován v listech, které detekují délku dne a poté je translokována do pupenů kde indukuje dormanci (THOMAS et al., 1994).

V souvislosti se stárnutím je opad listů a plodů. Kyselina abscisová tu působí s interakcí s auxinem, který tvoří protiváhu urychlujícího vlivu na opad. V období opadu koncentrace ABA v listech stoupá, kdežto obsah auxinu klesá. Vedle toho je velmi úzký vztah mezi kyselinou abscisovou a etylénem (KUTINA et al., 1988).

Kyselina abscisová může nepřímo ovlivňovat opad (abscisi) tím, že navozuje senescenci buněk, což způsobuje tvorbu etylénu, tj. hormonu odpovědnému za abscisi. Do jaké míry se podílí ABA na regulaci procesů senesce a abscise, není zcela zřejmé (LANG, 1993).

4. MATERIÁL A METODY

4.1. Rostlinný materiál

Ambrosini

Ambrosini patří mezi velmi rané tříliniové hybridy a dosahuje vysokých výnosů. Pro tento hybrid je charakteristický vysoký obsah škrobu, vysoká stravitelnost, odolnost proti suchu, chladu a poléhání. Vhodný je do řepářských, obilnářských a bramborářských oblastí. Odrůda byla registrována v roce 2003 (KWS, 2012).

Lars

Lars náleží mezi rané hybridy. Je to hybrid s jednou z nejvyšších stravitelností organické hmoty podle výsledků zkoušek ÚKZÚZ. Známy je svojí odolností vůči poléhání, dobrým zdravotním stavem a plasticitou. Dosahuje vysokých výnosů silážní hmoty. Registrován byl v roce 2007 (Oseva Uni, 2009).

LG 3252

Patří mezi středně rané silážní hybridy a má výbornou krmivářskou kvalitu. Obsahuje vysoký podíl stravitelné vlákniny a optimální obsah škrobu. Je charakteristický rychlým počátečním růstem, mohutným habitem a výborným zdravotním stavem. LG 3252 je velmi tolerantní vůči houbovým chorobám. Tato odrůda byla registrována v roce 2007 (Oseva Uni, 2009).

Ricardinio

Tato odrůda výborně odolává chladu a suchu. Jedná se o dvouliniový, velmi raný zrnový hybrid. Rostliny jsou vysokého vzrůstu, palice jsou nasazeny středně vysoko. Registrována byla v roce 2010 (KWS, 2012).

4.2. Metoda kultivace

Rostliny byly pěstovány ve skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin ČZU v Praze, kde je možná regulace délky dne a teplotního režimu. Teplota byla nastavena na 25 °C ve dne a 18 °C v noci. Rostliny kukuřice byly pěstovány v nádobách se zahradním substrátem a pískem (2:1) o rozměrech 11x11 cm. Obsah živin v substrátu dosahoval: N 80 – 120 mg.l⁻¹, P₂O₅ 50 – 100 mg.l⁻¹ a K₂O 100 – 150 mg.l⁻¹.

V každé nádobě byla pěstována jedna rostlina. Rostliny byly vysévány metodou postupného výsevu po dobu deseti dnů (28.2. – 9.3. 2011). Při zahájení pokusu byly rostliny kukuřice rozděleny na čtyři varianty (u každé varianty 5 opakování). Schéma nádobového

pokusu zahrnovalo dvě základní varianty: kontrolní (s označením K) a stresovanou (omezená závlhka po dobu 18 dnů). Varianta stresovaná je dále členěna na tři dílčí varianty: varianta bez ošetření kyselinou abscisovou (S), ošetření kyselinou abscisovou na počátku pokusu (S1) a aplikace kyseliny abscisové v 9. dnu působení stresu (S2). Kyselina abscisová se aplikovala na rostliny kukuřice formou postřiku o koncentraci 100 $\mu\text{mol.l}^{-1}$. Kontrolní varianta byla zalévána na úroveň 70% MKK (maximální kapilární vodní kapacity). Pokus byl zahájen ve fázi 5 listů a ukončen ve fázi 9 listů. U juvenilních rostlin byla sledována fotosyntetická akumulace energie metodou spalné kalorimetrie. Během vegetace se uskuteční 10 odběrů. Rostliny se odebíraly celé. Dále se sušily v sušárně při 80 °C do konstantní hmotnosti.

4.3. Metoda stanovení kalorimetrického spalného tepla

K měření spalného tepla byl využit poloautomatický isoperiobolický spalný kalorimetr IKA C 200 (obr. 2.).

Metoda je založena na tom, že navážka rostlinného materiálu se spálí v kyslíku v kalorimetrické bombě za vysokého tlaku. Teplo uvolněné spálením vzorku se předá vodě v kalorimetrické nádobě, v níž je bomba ponořena, malá část tepla se vyměňuje s okolím a dodává se třením lopatek míchadla ve vodě. Teplo vzniklé spalováním se musí na tyto jevy korigovat (BUYSSE et al., 1993 et ŠESTÁK et al., 1966).

Pro výpočet spalného tepla byl využit následující vztah:

$$Q = \frac{(C \cdot Dt) - c}{m_v - m_p}$$

Q – spalné teplo vzorku (netto energie) (J.g^{-1}),

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

Dt – celkový vzestup teploty ($^\circ\text{C}$),

c – součet oprav (J),

m_v – hmotnost navážky vzorku,

m_p – hmotnost popelovin.



Obr. 2. Kalorimetr IKA C 200

4.4. Hodnocení výsledků pokusu

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny analýzou rozptylu, regresní a korelační analýzou na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Uvedená statistická hodnocení byla zpracována pomocí počítačového programu „Statistica Cz verze 7.0“ a výsledné grafy průběhů měření zpracovány v programu Microsoft Office Excel 2007.

5. VÝSLEDKY

Do pokusu byly zařazeny 4 genotypy kukuřice: Ambrosini, Lars, LG 3252 a Ricardinio.

Schéma pokusu bylo rozděleno do čtyř variant:

- K – kontrolní (zavlažované) rostliny,
- S – stresované (nezavlažované) rostliny,
- S1 - stresované rostliny, ošetřené kyselinou abscisovou při zahájení vodního deficitu,
- S2 – stresované rostliny, ošetřené kyselinou abscisovou v polovině působení vodního deficitu.

5.1. Hmotnost sušiny kořenů a nadzemní biomasy kukuřice

Průměrná hmotnost sušiny kořenů byla v rozmezí od 1,62 g (Lars, K) až po 4,37 g u zavlažované varianty (K) rostlin odrůdy Ricardinio. V porovnání jednotlivých odrůd u S varianty bylo zjištěno (viz tabulka 2 (viz přílohy tabulka I), že nejlépe se z hlediska vytvořené průměrné hmotnosti sušiny kořenů s vodním stresem vypořádaly rostliny odrůdy Ambrosini (3,37 g). Nejhorší reakce na vodní stres byla pozorována u rostlin kukuřice odrůdy Lars, které dosáhly průměrné hmotnosti sušiny kořenů 2,3 g.

Při porovnání variant pokusu nejvyšší průměrnou hmotnost sušiny kořenů (3,49 g) vytvořily stresované rostliny, u kterých byla aplikace kyseliny abscisové provedena v polovině trvání vodního deficitu (S2 varianta). Nejnižší průměrné hmotnosti sušiny kořenů bylo dosaženo u stresovaných rostlin bez aplikace kyseliny abscisové. U této varianty průměrná hmotnost sušiny kořenů byla 2,71 g. Průkazné rozdíly v průměrné hmotnosti sušiny kořenů byly mezi zavlažovanými rostlinami kukuřice (2,78 g) a oběma variantami pokusu, kde byla aplikována ABA (S1,S2) a také mezi nezavlažovanými rostlinami kukuřice bez aplikace kyseliny abscisové a oběma variantami ošetřenými ABA (S1,S2).

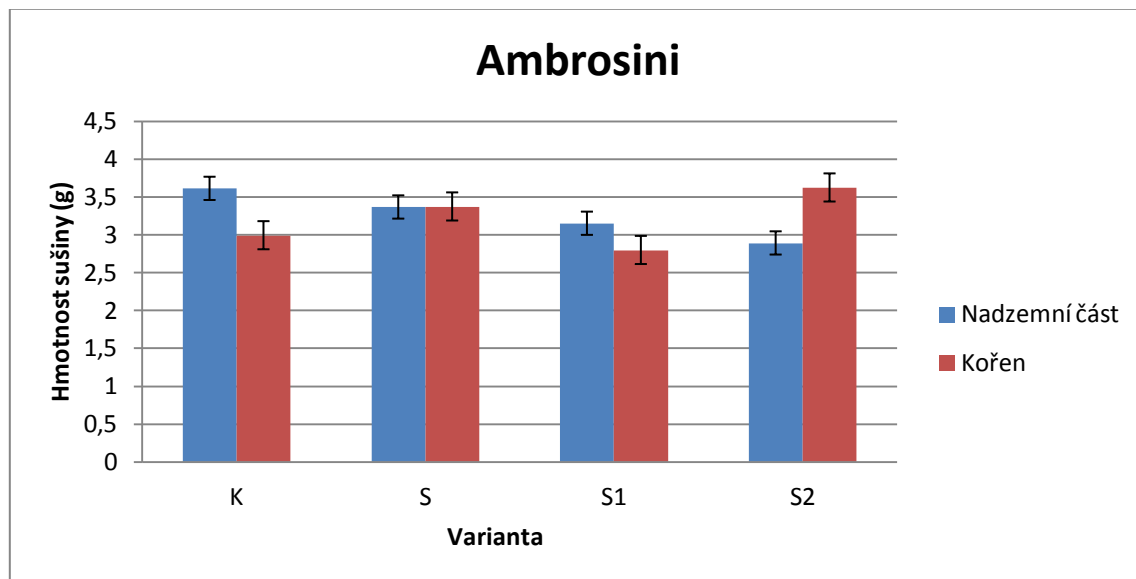
Z výsledků vyplývá, že průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy u všech variant stresovaných rostlin se pohybovala od 2,44 g (Lars, S) do 3,62 g (Ricardinio, S1). Jak dokládá tabulka 2 (viz přílohy tabulka I) průměrná hmotnost sušiny je průkazně ovlivněna odrůdou. Nejlépe se s vodním deficitem u hodnocení S varianty vypořádaly rostliny odrůdy Ricardinio,

kteře disponovaly s průměrnou hmotností sušiny nadzemní biomasy 3,48 g. Naopak nejhorších výsledků dosáhla při hodnocení S varianty odrůda Lars (2,44 g).

Z hlediska hodnocení variant stresovaných rostlin měla pozitivní vliv na průměrnou hmotnost sušiny nadzemní biomasy aplikace kyseliny abscisové na počátku zahájení stresu (S1 varianta). Takto ošetřované rostliny kukuřiči disponovaly s průměrnou hmotností sušiny nadzemní biomasy 3,15 g. Pokud byla kyselina abscisová aplikována v polovině doby trvání vodního deficitu (S2 varianta), tak takto ošetřené rostliny dosáhly nižší průměrné hmotnosti nadzemní hmoty (2,88 g) než u stresovaných rostlin, které kyselinou abscisovou ošetřovány nebyly (S varianta). Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy všech odrůd rostlin bez ošetření ABA byla 3,0 g. Průkazný rozdíl byl ovšem zjištěn pouze mezi S1 a S2 variantou.

Z grafu 1 je patrné, že nejvyšší průměrná hmotnost sušiny kořenů (3,62 g) byla stanovena u stresovaných rostlin odrůdy Ambrosini s aplikací kyseliny abscisové v polovině vodního stresu. Rostliny S1 varianty vykázaly průkazně nejnižší průměrnou hmotnost sušiny kořenů 2,79 g.

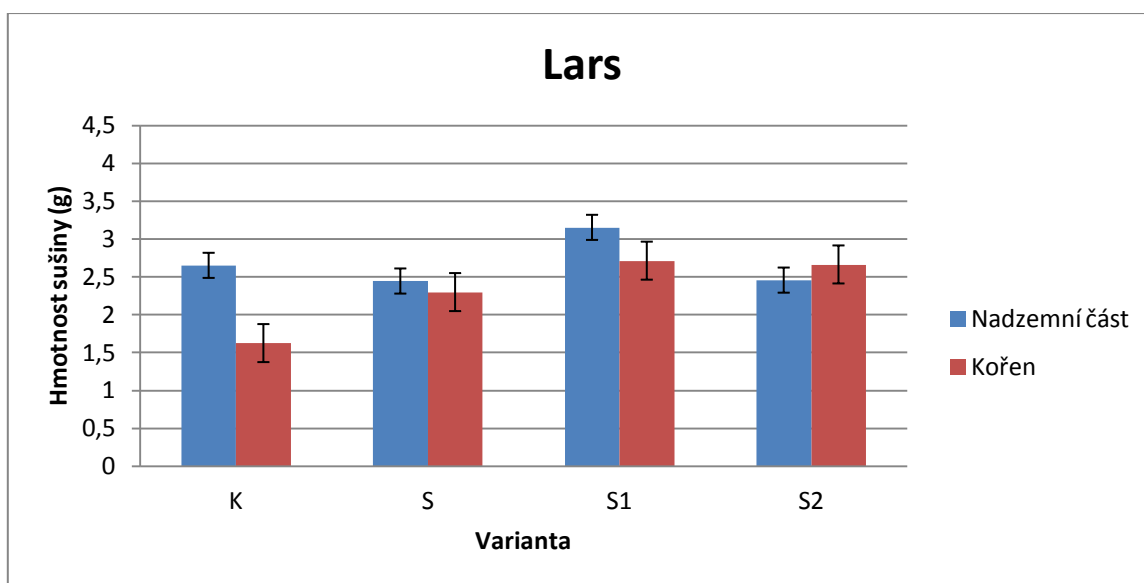
Graf 1: Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořenů u odrůdy **Ambrosini** v závislosti na variantě pokusu



Dále z grafu 1 vyplývá, že nejvyšší naměřená hodnota sušiny nadzemní hmoty u rostlin odrůdy Ambrosini je 3,62 g u kontrolní varianty. Průkazně nejnižší hmotnost sušiny nadzemní hmoty dosáhla S2 varianta (2,89 g). Zjevně průkazné rozdíly byly také sledovány mezi kontrolní variantou (3,33 g) a S1 variantou (3,15 g) a také mezi pouze stresovanou variantou (3,37 g) a S2 variantou.

Jak dokládá graf 2, prokazatelně nejnižší hodnoty průměrné hmotnosti sušiny kořenů měly kontrolní rostliny kukuřice odrůdy Lars (1,62 g). Nejvyšší rozdíl v hmotnosti sušiny kořenů byl právě mezi kontrolní variantou a stresovanými rostlinami, kde byla kyselina abscisová aplikována na počátku působení vodního deficitu. Rostliny S1 varianty disponovaly s průměrnou hmotností sušiny kořenů 2,71 g. Rozdíly v průměrné hmotnosti sušiny kořenů u všech variant stresovaných rostlin nebyl průkazný.

Graf 2: Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořenů u odrůdy **Lars** v závislosti na variantě pokusu.

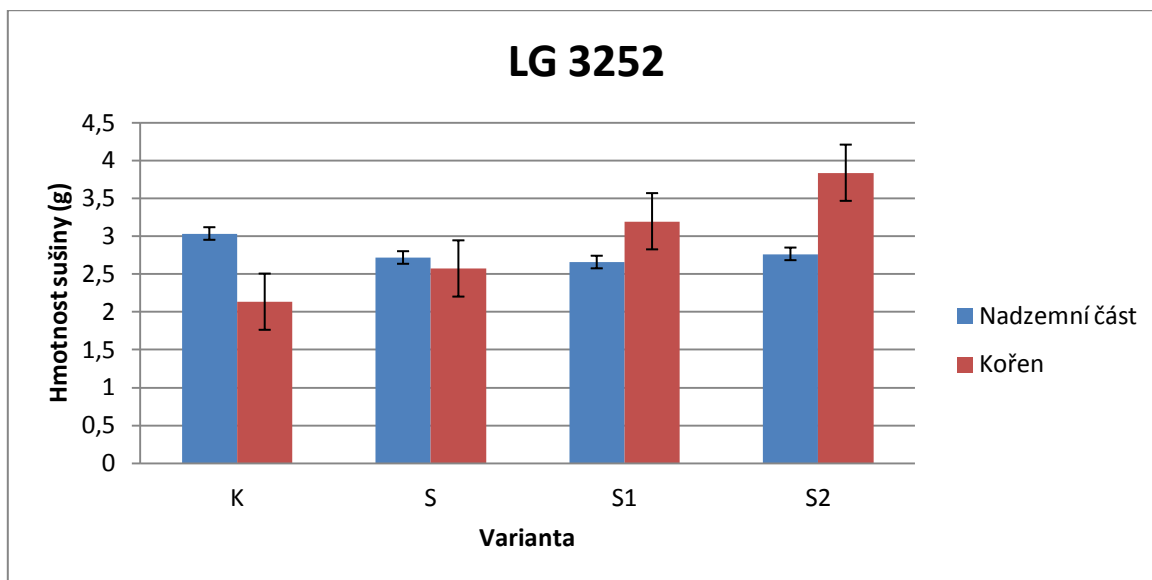


Hmotnost sušiny nadzemní biomasy odrůdy Lars, jak demonstruje graf 2 je nejvyšší u stresovaných rostlin, kde byla kyselina abscisová aplikována na počátku působení stresu. Průměrná hmotnost sušiny v tomto případě činila 3,15 g. Rozdíl mezi S1 variantou a ostatními variantami pokusu (K,S,S2) byl statisticky průkazný. Největšího rozdílu bylo docíleno mezi S1 a S variantou, tento rozdíl činil 0,71 g. Diference v průměrné hmotnosti sušiny mezi kontrolními rostlinami a variantami S,S2 byl neprůkazný. Odchylka v hmotnosti sušiny nadzemní biomasy mezi pouze stresovanými rostlinami (S) a S2 variantou činila pouze 0,01 g. Nejlépe na vodní deficit reagovaly stresované rostliny odrůdy Lars, u nichž se kyselina abscisová aplikovala při započítí vodního stresu (S1).

Graf 3 uvádí nejvyšší dosaženou průměrnou hmotnost sušiny kořenů rostlin S2 varianty. Rostliny kukuřice kultivované v S2 variantě pokusu dosáhly průměrné sušiny kořenů 3,84 g. Naopak nejhůře vodnímu deficitu čelily stresované rostliny bez ošetření kyselinou abscisovou (2,57 g). Diference v hmotnosti sušiny kořenů mezi S variantou a S2

variantou byla statisticky průkazná, rozdíl byl 1,27 g. Průměrná hmotnost sušiny kořenů rostlin kontrolní varianty byla 2,13 g.

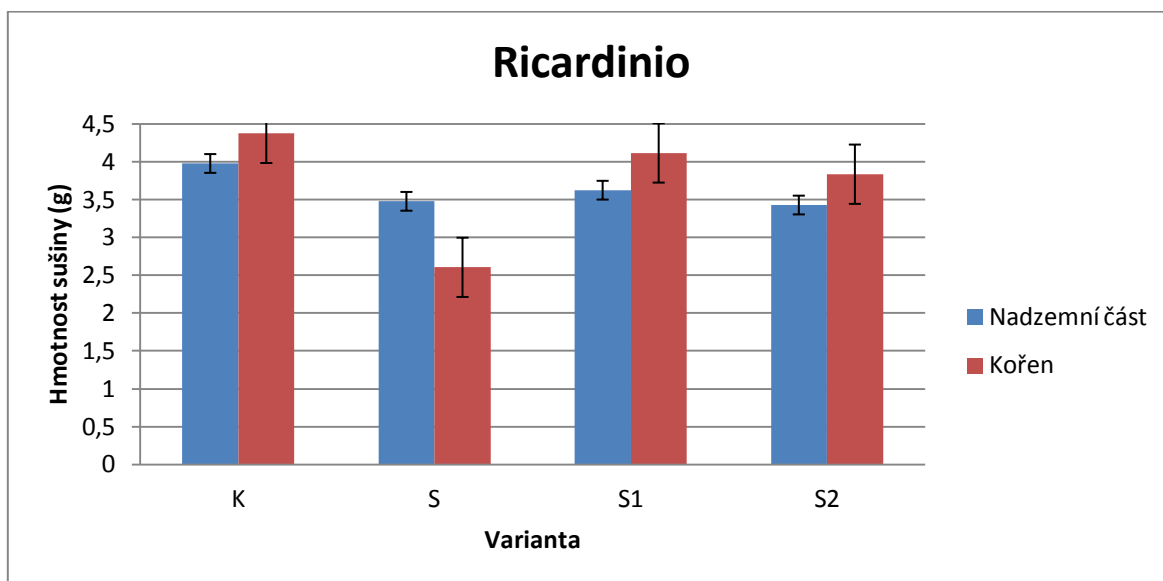
Graf 3: Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořenů u odrůdy **LG 3252** v závislosti na variantě pokusu.



Grafu 3 je demonstruje, že nejvyšší průměrné hmotnosti sušiny nadzemní biomasy dosáhly rostliny kukuřice odrůdy LG 3252 u kontrolní varianty, a to 3,03 g. Statisticky průkazné rozdíly v hmotnosti sušiny jsou mezi kontrolní variantou a všemi ostatními variantami stresovaných rostlin. Nejhuře na vodní deficit reagovaly stresované rostliny, které byly ošetřeny kyselinou abscisovou v počátečním stádiu experimentu (2,66 g). Nejlépe ze stresovaných rostlin se s vodním stresem vyrovnaly rostliny kukuřice S2 varianty. Jejich průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy činila 2,76 g. Mezi jednotlivými variantami stresovaných rostlin nebyly nalezeny průkazné průkazné rozdíly.

Průměrná hmotnost sušiny kořenů u odrůdy Ricardinio, jak udává graf 4 je u jednotlivých variant pokusu značně rozdílná. Průkazný rozdíl v hmotnosti sušiny kořenů byl mezi rostlinami kontrolní varianty (4,37 g) a stresovanými rostlinami bez aplikace kyseliny abscisové (2,6 g). Dále byl průkazný rozdíl mezi již jmenovanou S variantou a oběma variantami, kde byly rostliny ošetřovány kyselinou abscisovou. Rostliny kukuřice S1 varianty disponovaly s průměrnou hmotností sušiny kořenů 4,12 g a rostliny S2 varianty pokusu 3,83 g.

Graf 4: Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořenů u odrůdy **Ricardinio** v závislosti na variantě pokusu.



Z grafu 4 jsou patrné neprůkazné rozdíly v průměrné hmotnosti sušiny nadzemní biomasy u všech tří variant stresovaných rostlin. Z rostlin, na které působil vodní deficit, nejvyšší hmotnost sušiny nadzemní hmoty měly rostliny S1 varianty (3,62 g). Naopak nejhůře byl snášen vodní stres od rostlin kukuřice S2 varianty. U stresovaných rostlin, které byly ošetřeny kyselinou abscisovou v polovině působení vodního stresu, činila průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy 3,43 g. Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy rostlin kontrolní varianty dosáhla výše 3,98 g. Tato hodnota byla průkazně vyšší než hmotnost sušiny u všech variant stresovaných rostlin.

5.2. Obsah netto energie kořenů a nadzemní biomasy rostlin kukuřice

Průměrné množství spalného tepla kořenů se nacházelo v intervalu od 11,27 kJ.g⁻¹ (LG 3252, S) do 13,51 kJ.g⁻¹ (LG 3252, K). Dále z tabulky 3 (viz přílohy tabulka II) je patrné, že zanedbatelný vliv na netto energii kořenů měl vodní stres na rostliny odrůdy Lars (11,89 kJ.g⁻¹).

Průměrná netto energie kořenů stresovaných rostlin, které byly ošetřeny kyselinou abscisovou, při zahájení experimentu byla 12,62 kJ.g⁻¹. Průkazný rozdíl mezi množstvím spalného tepla rostlin S1 varianty byl pouze ve srovnání se stresovanými rostlinami, bez ošetření ABA (11,6 kJ.g⁻¹). Rostliny kontrolní varianty pokusu měly průměrné množství netto energie kořenů 13,0 kJ.g⁻¹. Diference mezi rostlinami S varianty a zavlažovanými rostlinami činila 1,4 kJ.g⁻¹, tento rozdíl byl statisticky průkazný. Dopad aplikace kyseliny abscisové na stresované rostliny v polovině působení vodního stresu (S2 varianta) byl z hlediska obsahu průměrné netto energie kořenů zanedbatelný v porovnání s netto energií kořenů rostlin S1 varianty (12,62 kJ.g⁻¹).

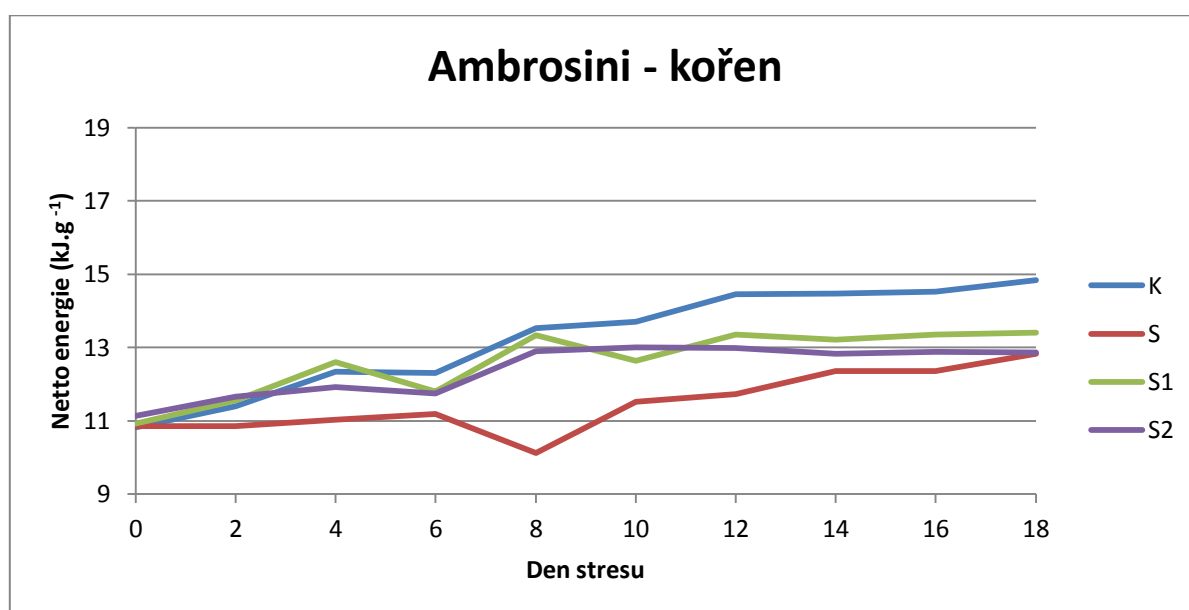
Jak uvádí tabulka 3 (viz přílohy tabulka II), průměrná hodnota netto energie nadzemní biomasy rostlin kukuřice se pohybovala v rozmezí od 14,23 kJ.g⁻¹ (LG 3252, S) do 16,11 kJ.g⁻¹ (LG 3252, K). S vodním deficitem se nejlépe vyrovnala odrůda Lars, jejíž rostlin neošetřené kyselinou abscisovou dosáhly nejvyšší hodnoty spalného tepla (14,73 kJ.g⁻¹) z této varianty. Naopak nejcitlivěji reagovala odrůda LG 3252.

Při porovnání všech pokusných variant, nejnižších hodnot z hlediska průměrné akumulace netto energie v nadzemní biomase docílily stresované rostliny kukuřice, které nebyly ošetřeny kyselinou abscisovou. Průměrné množství spalného tepla nadzemní biomasy u rostlin S varianty (14,49 kJ.g⁻¹) bylo prokazatelně nižší než průměrná hodnota netto energie nadzemní části rostlin kontrolní varianty (15,83 kJ.g⁻¹), a také než dosažené množství netto energie stresovaných rostlin, které byly ošetřeny kyselinou abscisovou na počátku působení vodního deficitu (S1 varianta). Rostliny kukuřice S1 varianty měly průměrnou hodnotu spalného tepla nadzemní biomasy 15,43 kJ.g⁻¹. Rozdíl v průměrném množství netto energie nadzemní hmoty rostlin mezi S1 a S2 variantou činil 0,7 kJ.g⁻¹, jednalo se o statisticky prokazatelnou diferenci.

Jak je patrné grafu 5 dochází u stresovaných rostlin kukuřice odrůdy Ambrosini dochází od počátku stresu (10,87 kJ.g⁻¹) do šestého dne (11,2 kJ.g⁻¹) k pozvolnému nárůstu obsahu netto energie kořenů. Od této doby do 8. dne následovalo statisticky významné snížení, které se projevilo prudkým snížením energie kořenů na hodnotu 10,12 kJ.g⁻¹. V průběhu

dalších deseti dnů stresu se opět netto energie kořenů u této varianty zvyšovala na konečnou hodnotu 12,83 kJ.g⁻¹. Rostliny kuřice S1 varianty měly při zahájení vodního deficitu vyšší obsah netto energie kořenů (10,93 kJ.g⁻¹) než rostliny kontrolní varianty (10,82 kJ.g⁻¹). V průběhu 6. dne stresu se tato situace obrátila. Obsah netto energie stresovaných rostlin, které byly na počátku experimentu ošetřeny kyselinou abscisovou se snížil na 11,8 kJ.g⁻¹. Do osmého dne je možné zaznamenat průkazné zvýšení netto energie na 13,33 kJ.g⁻¹. V podobné škále se netto energie kořenů udržovala až do 18. dne stresu (13,4 kJ.g⁻¹).

Graf 5: Průběh obsahu netto energie kořenů u odrůdy **Ambrosini** v závislosti na variantě pokusu.

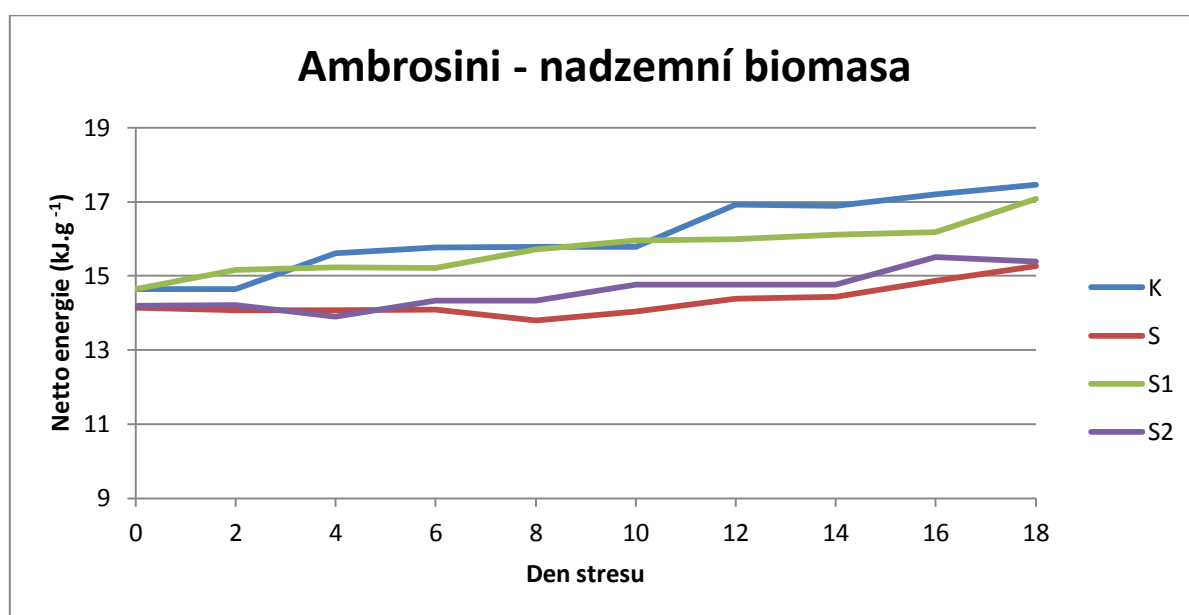


Graf 5 dále dokumentuje, že průběh obsahu netto energie kořenů rostlin S2 varianty byl téměř totožný s variantou S1, ale takřka po celou dobu trvání vodního stresu byla netto energie kořenů rostlin S2 varianty nižší (12,99 kJ.g⁻¹, 12. den) než u rostlin S1 varianty (13,36 kJ.g⁻¹). Množství spalného tepla kořenů zavlažovaných rostlin od 10. dne pokusu (13,7 kJ.g⁻¹) se začalo výrazně lišit všem stresovaným rostlinám. Poslední den experimentu byla hodnota netto energie u rostlin kontrolní varianty 14,84 kJ.g⁻¹.

Jak vyjadřuje graf 6 obsah netto energie stresovaných rostlin odrůdy Ambrosini, bez ošetření kyselinou abscisovou stagnuje až do šestého dne stresu (14,1 kJ.g⁻¹). Poté během dvou dnů docházelo k jejímu snižování na hodnotu 13,8 kJ.g⁻¹. Od 8. dne naopak docházelo k postupnému nárůstu netto energie na konečných 15,38 kJ.g⁻¹. U varianty S2 netto energie nadzemní biomasy do čtvrtého dne mírně klesala (13,89 kJ.g⁻¹) z hodnoty 14,2 kJ.g⁻¹. Od

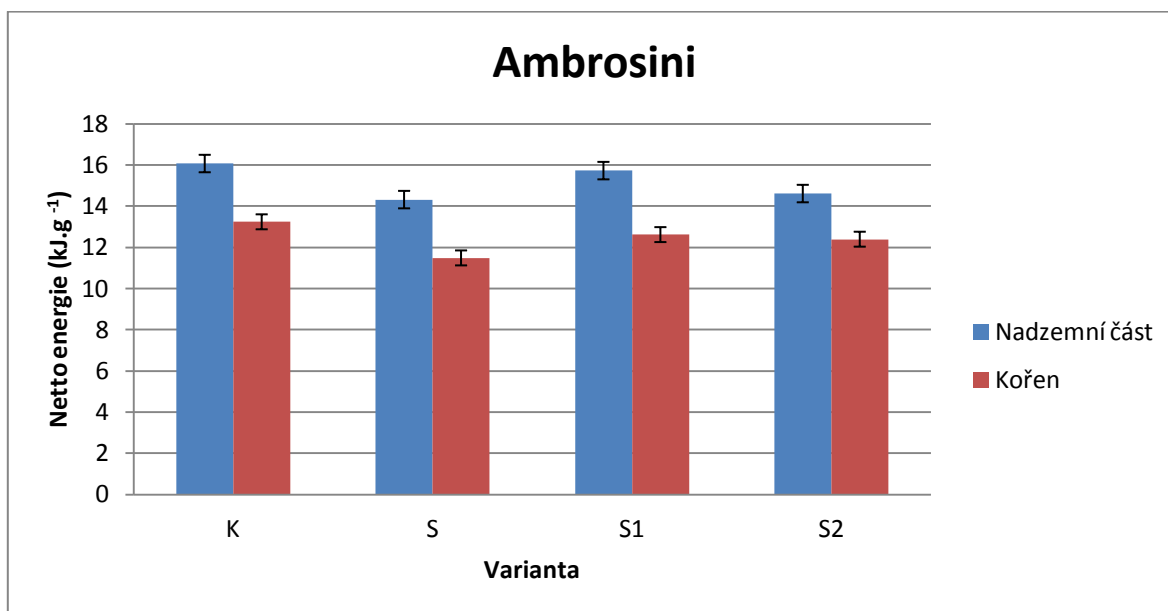
tohoto okamžiku do 16. dne stresu spalné teplo mírně narůstalo, tento den bylo docíleno nejvyšší hodnoty netto energie $15,51 \text{ kJ.g}^{-1}$. Rostliny kukuřice ošetřené kyselinou abscisovou na počátku experimentu ($14,64 \text{ kJ.g}^{-1}$) měly rovnoměrný nárůst obsahu netto energie na konečnou hodnotu $17,08 \text{ kJ.g}^{-1}$. Od počátku pokusu rostliny kukuřice zavlažované varianty převyšovaly v obsahu netto energie S a S2 variantu. Ve srovnání s rostlinami S1 varianty byl nárůst množství spalného tepla vyrovnanější. Na závěr pokusu byla stanovena hodnota netto energie na $17,48 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Graf 6: Průběh obsahu netto energie nadzemní biomasy u odrůdy **Ambrosini** v závislosti na variantě pokusu.



Graf 7 uvádí průměrný obsah netto energie kořenů rostlin odrůdy Ambrosini. Nejnižší průměrné množství spalného tepla bylo naměřeno u rostlin S varianty ($11,49 \text{ kJ.g}^{-1}$). Rozdíl mezi touto variantou pokusu a zavlažovanými rostlinami činil $1,75 \text{ kJ.g}^{-1}$ a jednalo se tedy o statisticky průkazný rozdíl. Průměrná netto energie kořenů rostlin S1 varianty byla $12,62 \text{ kJ.g}^{-1}$. Naměřené průměrné spalné teplo kořenů u S2 varianty bylo $12,4 \text{ kJ.g}^{-1}$. Z tohoto zjištění vyplývá, že termín aplikace kyseliny abscisové u odrůdy Ambrosini na netto energii kořenů neměl průkazný vliv. Avšak neošetřené rostliny S varianty měly průkazně nižší netto energie kořenů než obě ošetřované varianty (S1,S2).

Graf 7: Průměrný obsah netto energie nadzemní biomasy a kořenů odrůdy **Ambrosini** v závislosti na variantě pokusu.

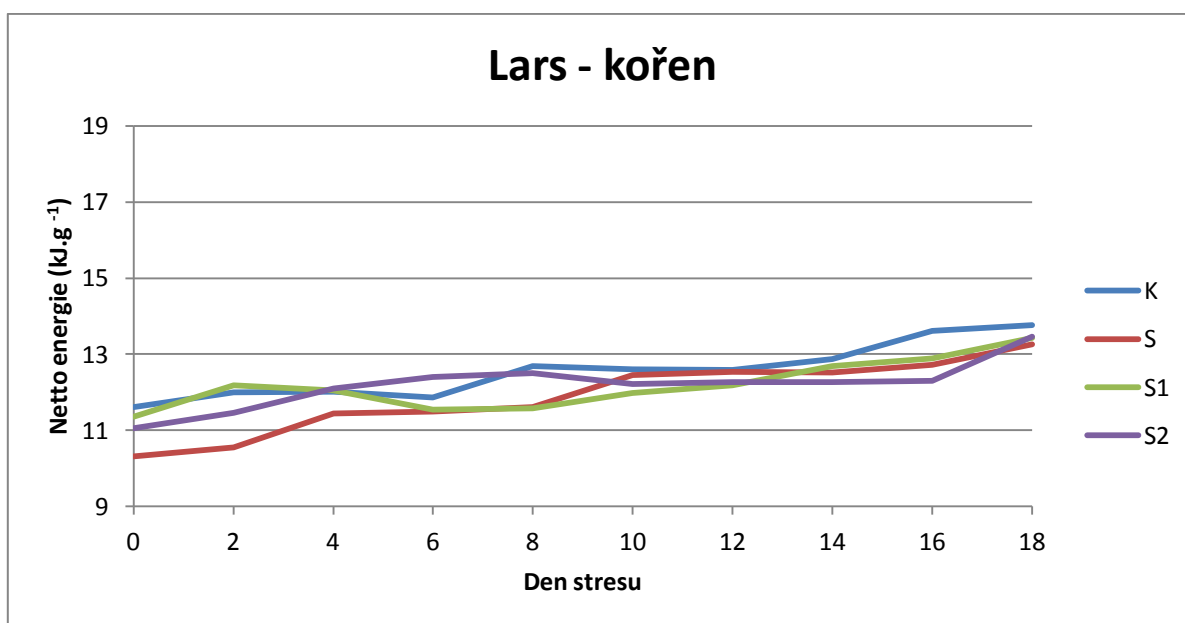


Z grafu 7 plyne, že průměrný obsah energie nadzemní biomasy rostlin odrůdy Ambrosini byl nejvyšší u kontrolní varianty (16,07 kJ.g⁻¹). Průkazný rozdíl v množství spalného tepla byl jak mezi stresovanými rostlinami bez aplikace kyseliny abscisové (14,32 kJ.g⁻¹) tak i rostlinami varianty S2, které dosáhly průměrné netto energie nadzemní biomasy 14,61 kJ.g⁻¹. Diference mezi S a S2 variantou činila pouhých 0,29 kJ.g⁻¹ a proto nebyla statisticky průkazná. Průkazný rozdíl byl nalezen mezi průměrnou netto energií nadzemní hmoty stresovaných rostlin, které byly ošetřeny kyselinou abscisovou při zahájení vodního stresu (S1) a S variantou.

Jak udává graf 8, bylo množství netto energie kořenů rostlin u odrůdy Lars v rámci sledovaných variant a ontogenetického vývoje vyrovnány. Stresované rostliny bez aplikace kyseliny abscisové po celý průběh vodního stresu navyšovaly své množství netto energie kořenů do maximální hodnoty 13,25 kJ.g⁻¹. Z hodnoty 10,56 kJ.g⁻¹ (2. den). Netto energie kořenů rostlin S2 varianty pozvolna narůstala od počátku pokusu (11,06 kJ.g⁻¹) do osmého dne stresu, kdy byla stanovena hodnota 12,5 kJ.g⁻¹. V průběhu 9. dne, po aplikaci kyseliny abscisové nastalo statisticky průkazné snížení obsahu netto energie kořenů (12,22 kJ.g⁻¹), tento následně zmírněný pokles trval až do 16. dne stresu. Poslední dva dny působení vodního deficitu se obsah energie kořenů rostlin pěstovaných ve variantě S2 průkazně zvýšil (13,46 kJ.g⁻¹).

Z grafu 8 je patrný nárůst netto energie kořenů u rostlin S1 varianty do druhého dne stresu ($12,18 \text{ kJ.g}^{-1}$). Až do šestého dne docházelo k poklesu na hodnotu $11,55 \text{ kJ.g}^{-1}$. Od tohoto okamžiku do 18. dne vodního deficitu probíhal rovnoměrný nárůst obsahu netto energie na konečnou hodnotu $13,42 \text{ kJ.g}^{-1}$. Rostliny kontrolní varianty opět dosáhly nejvyšší naměřené hodnoty netto energie kořenů, kdy naměřený interval hodnot netto energie byl $11,62 \text{ kJ.g}^{-1}$ (1. odběr) až $13,76 \text{ kJ.g}^{-1}$ (18. den).

Graf 8: Průběh obsahu netto energie kořenů u odrůdy **Lars** v závislosti na variantě pokusu

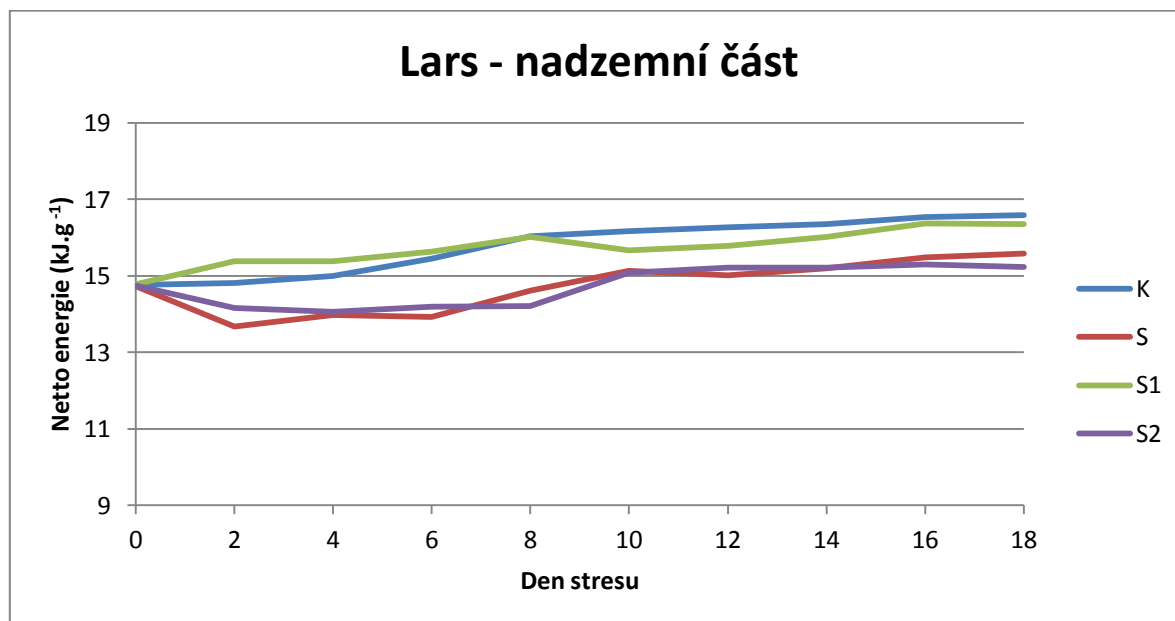


Nejlépe ze stresovaných rostlin odrůdy Lars se s vodním deficitem v průběhu pokusu vyrovnávaly rostliny, ošetřené kyselinou abscisovou na počátku experimentu ($15,38 \text{ kJ.g}^{-1}$, 2.den) (viz graf 9). Do osmého dne pokusu vykazovaly rostliny S1 varianty pouze nepatrně nižší obsah netto energie nadzemní části ($16,02 \text{ kJ.g}^{-1}$) než rostliny kontrolní varianty ($16,04 \text{ kJ.g}^{-1}$). Poté nastalo u rostlin S1 varianty k mírnému poklesu netto energie nadzemní části na $15,67 \text{ kJ.g}^{-1}$. Od desátého dne byl zaznamenán rovnoměrný nárůst spalného tepla na konečnou hodnotu $16,35 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Z grafu 9 je patrný účinek kyseliny abscisové aplikované v polovině vodního stresu u rostlin kukuřice S2 varianty. Před aplikací ABA se obsah netto energie nadzemní biomasy u S2 varianty pohyboval u hranice $14,2 \text{ kJ.g}^{-1}$, po následném ošetření kyselinou abscisovou do desátého dne stresu se obsah netto energie průkazně zvýšil na $15,08 \text{ kJ.g}^{-1}$. V dalším průběhu vodního deficitu docházelo již ke stagnaci množství spalného tepla nadzemní biomasy rostlin S2 varianty na konečných $15,23 \text{ kJ.g}^{-1}$. Průběh obsahu netto energie u stresovaných rostlin

bez ošetření (S varianty) ($13,97 \text{ kJ.g}^{-1}$, 4. den) byl takřka totožný jako u rostlin kukuřice S2 varianty ($14,06 \text{ kJ.g}^{-1}$). Další paralelou bylo navyšování obsahu netto energie nadzemní části rostlin S1 varianty a zavlažovaných rostlin. Rostliny kontrolní varianty dosáhly na konci pokusu obsahu netto energie $16,58 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Graf 9: Průběh obsahu netto energie nadzemní části u odrůdy **Lars** v závislosti na variantě pokusu.

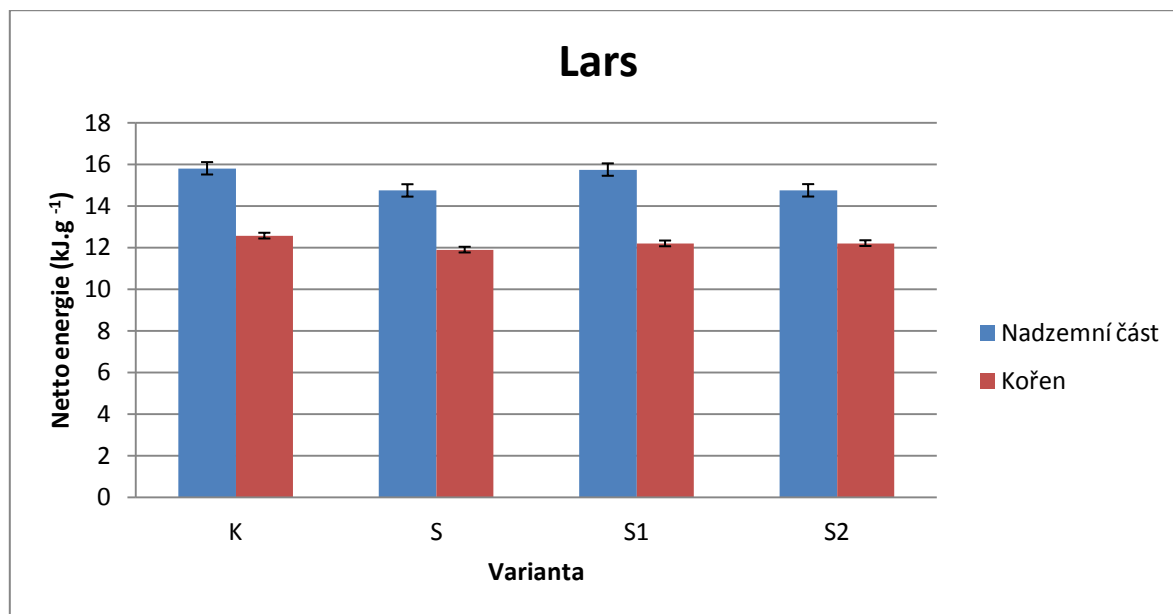


Průměrný obsah netto energie kořenů rostlin odrůdy Lars je u všech variant pokusu velice vyrovnaný (viz graf 10). Nejnižší průměrné hodnoty spalného tepla dosáhly stresované rostliny, bez ošetření ABA ($11,89 \text{ kJ.g}^{-1}$). Průkazný rozdíl je pouze s rostlinami kontrolní varianty, které měly průměrnou hodnotu netto energie $12,56 \text{ kJ.g}^{-1}$. Naměřená průměrná hodnota netto energie kořenů rostlin S1 varianty byla $12,19 \text{ kJ.g}^{-1}$. Průkazný rozdíl byl také patrný jenom s rostlinami zavlažované varianty. Nejvyšší průměrné množství spalného tepla ze stresovaných rostlin naakumulovaly rostliny S2 varianty ($12,2 \text{ kJ.g}^{-1}$).

Jak dokládá graf 10 nejvyšší průměrný obsah netto energie nadzemní biomasy rostlin odrůdy Lars je zaznamenán u zavlažovaných rostlin ($15,8 \text{ kJ.g}^{-1}$). Stresované rostliny, u nichž byla aplikace kyseliny abscisové provedena devátý den stresu činilo průměrné množství spalného tepla $14,74 \text{ kJ.g}^{-1}$. Rozdíl mezi kontrolní a S2 variantou byl statisticky průkazný ($1,06 \text{ kJ.g}^{-1}$). Ze stresovaných rostlin měly nejlepší obsah energie rostliny S1 varianty ($15,74 \text{ kJ.g}^{-1}$). Diference mezi S1 variantou a zavlažovanými rostlinami byla pouze $0,06 \text{ kJ.g}^{-1}$. Nejhůře se na vodní deficit z hlediska obsahu netto energie adaptovaly rostliny S varianty.

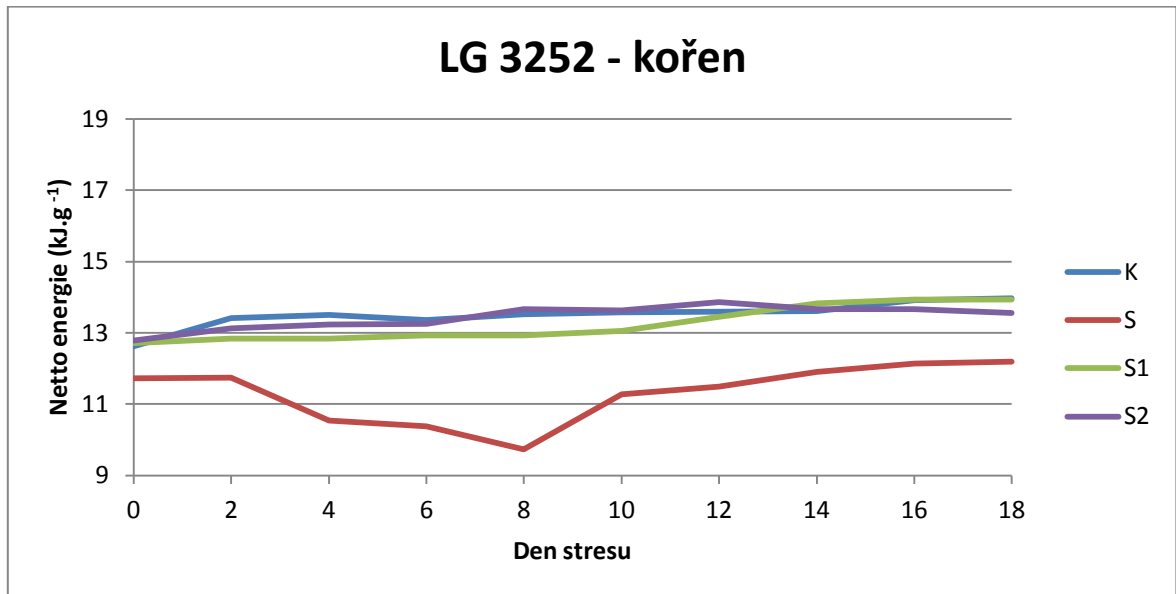
Jejich množství spalného tepla nadzemní biomasy ($14,73 \text{ kJ.g}^{-1}$) nebylo průkazně nižší jen při porovnání s rostlinami S2 varianty ($14,74 \text{ kJ.g}^{-1}$).

Graf 10: Průměrný obsah netto energie nadzemní biomasy a kořenů odrůdy **Lars** v závislosti na variantě pokusu.



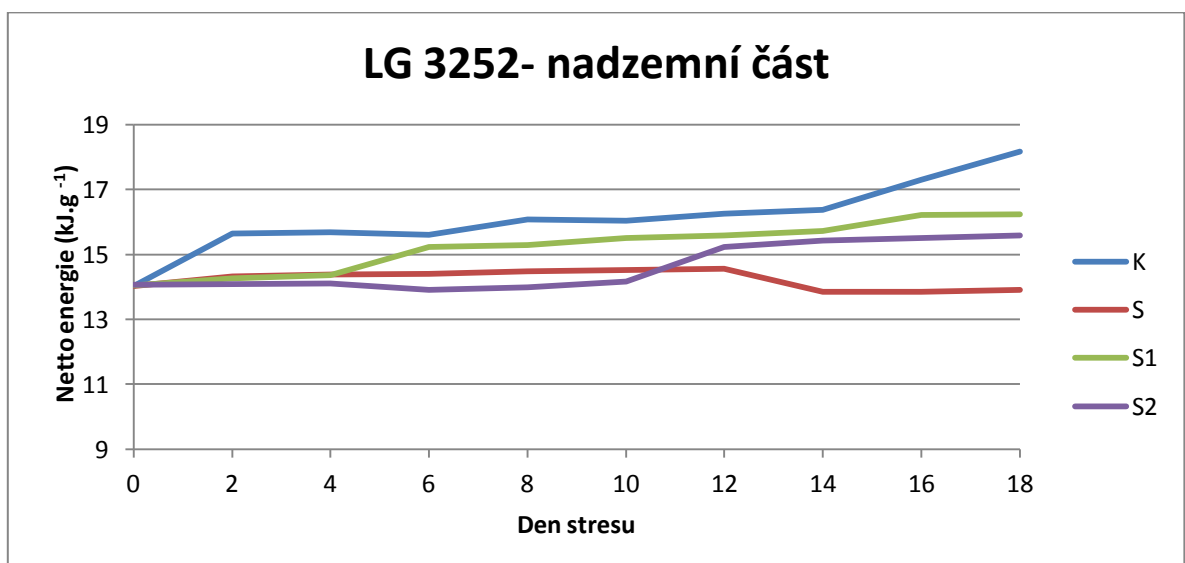
Zcela odlišný byl průběh fotosyntetické akumulace energie do kořenů rostlin odrůdy LG 3252 než měly rostliny stresované, bez ošetření kyselinou abscisovou (viz graf 11). Od druhého dne ($11,74 \text{ kJ.g}^{-1}$) do osmého dne stresu převládal strmý pokles netto energie kořenů na minimální hodnotu $9,73 \text{ kJ.g}^{-1}$. V dalším průběhu vodního deficitu se množství netto energie kořenů rostlin S varianty postupně navyšovalo. Značný nárůst byl mezi 8. a 10. dnem stresu ($11,27 \text{ kJ.g}^{-1}$). Do konce vodního deficitu pokračoval nadále mírný nárůst spalného tepla, kdy 18. den bylo dosaženo hodnoty obsahu energie $12,18 \text{ kJ.g}^{-1}$. Rostliny S2 varianty do desátého dne stresu mírně navyšovaly obsah netto energie kořenů ($13,05 \text{ kJ.g}^{-1}$), mezi 10. a 14. dnem stresu však došlo k prudkému zvýšení spalného tepla na $13,83 \text{ kJ.g}^{-1}$. Poslední čtyři dny stresu docházelo k udržování této hodnoty. Obsah netto energie rostlin S2 varianty měly takřka totožný průběh jako rostliny kontrolní varianty. Poslední den stresu difference mezi netto energií kontrolních rostlin a rostlin S2 varianty byla $0,4 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Graf 11: Průběh obsahu netto energie kořenů odrůdy **LG 3252** v závislosti na variantě pokusu.



Z grafu 12 vyplývá, že nárůst netto energie nadzemní části rostlin kontrolní varianty odrůdy LG 3252 byl od počátku pokusu vyšší než u rostlin stresovaných. U rostlin ošetřených kyselinou abscisovou při zahájení vodního stresu byl nárůst do 4. dne stresu mírný. Od čtvrtého (14,37 kJ.g⁻¹) do šestého dne (15,24 kJ.g⁻¹) stresu došlo k prudkému zvětšení obsahu netto energie. V dalších dnech u rostlin S1 varianty pokračoval nárůst až na konečnou hodnotu 16,23 kJ.g⁻¹.

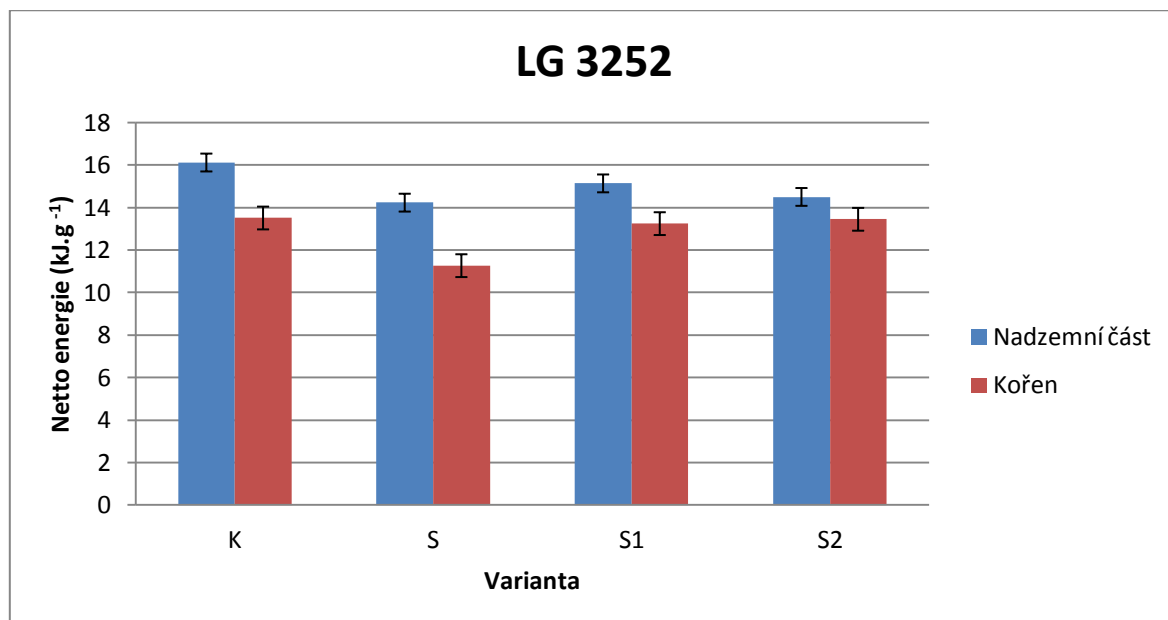
Graf 12: Průběh obsahu netto energie nadzemní biomasy odrůdy **LG 3252** v závislosti na variantě pokusu.



Dále z grafu 12 můžeme pozorovat, že rostliny S2 varianty velice dobře zareagovaly na aplikaci kyseliny abscisové provedenou 9. den stresu. Jejich netto energie nadzemní biomasy se prudce navýšila od 10. do 12. dne vodního nouze ($15,23 \text{ kJ.g}^{-1}$, 12. den). Od tohoto okamžiku pokračovalo plynulé navyšování spalného tepla až k hodnotě $15,58 \text{ kJ.g}^{-1}$ (18. den). V případě stresovaných rostlin bez aplikace ABA se netto energie nadzemní biomasy neprůkazně zvyšovala až do 12. dne stresu ($14,57 \text{ kJ.g}^{-1}$) z $14,38 \text{ kJ.g}^{-1}$ (4. den), poté během dvou dnů nastalo velmi výrazné snížení obsahu energie až na $13,85 \text{ kJ.g}^{-1}$. U této hodnoty se množství spalného tepla pohybovalo až do konce experimentu.

V grafu 13 je pozorovatelná nejnižší hodnota spalného tepla kořenů rostlin odrůdy LG 3252 u stresované varianty bez ošetření ABA, toto množství průměrné netto energie ($11,27 \text{ kJ.g}^{-1}$) bylo průkazně nižší v porovnání se všemi dalšími variantami pokusu. Z rostlin, které byly ovlivněny vodním stresem na tuto skutečnost nejlépe reagovaly rostliny S2 varianty. Jejich průměrný obsah netto energie kořenů činil $13,45 \text{ kJ.g}^{-1}$. Kontrolní rostliny dosáhly průměrné netto energie kořenů $13,51 \text{ kJ.g}^{-1}$. Rostliny S1 varianty měly průměrný obsah energie $13,24 \text{ kJ.g}^{-1}$. Tato hodnota byla průkazně vyšší pouze s hodnotou netto energie kořenů, které dosáhly rostliny S varianty ($11,27 \text{ kJ.g}^{-1}$).

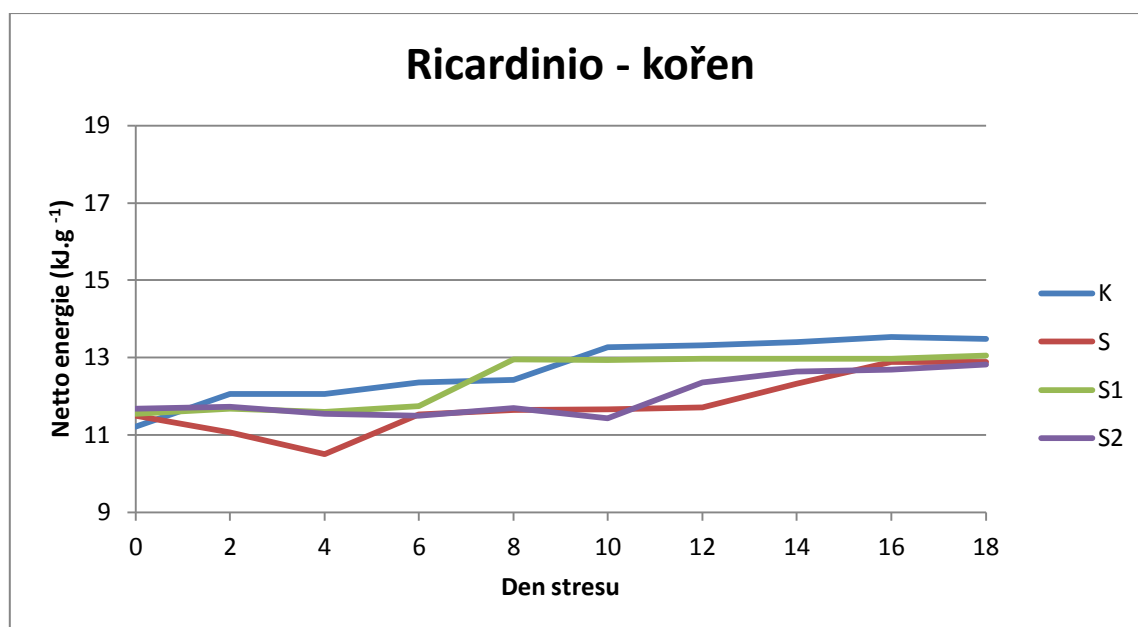
Graf 13: Průměrný obsah netto energie nadzemní biomasy a kořenů odrůdy **LG 3252** v závislosti na variantě pokusu.



V grafu 13 je uvedeno, že průměrný obsah netto energie nadzemní biomasy stresovaných rostlin (S varianta) odrůdy LG 3252 je $14,23 \text{ kJ.g}^{-1}$. Rostliny S1 varianty měly

průměrnou hodnotu spalného tepla nadzemní biomasy ve výši $15,14 \text{ kJ.g}^{-1}$, rozdíl mezi touto variantou a průměrnou netto energií rostlin dalších variant rostlin, na které působil vodní deficit, není průkazný. Průkazný rozdíl je ovšem mezi rostlinami S1 varianty a průměrnou netto energií zavlažovaných rostlin ($16,12 \text{ kJ.g}^{-1}$). Stresované rostliny, na které byla aplikována kyselina abscisová 9. den stresu, vykazovaly průměrnou hodnotu spalného tepla $14,5 \text{ kJ.g}^{-1}$. Tato hodnota byla průkazná pouze s hodnotou zjištěnou u kontrolních rostlin.

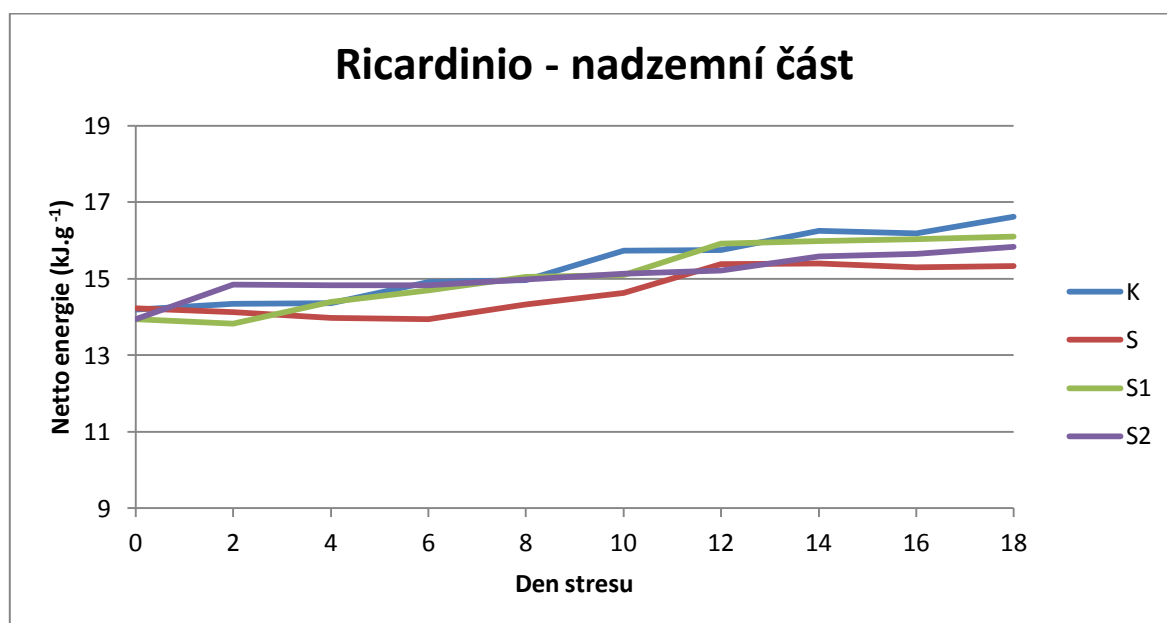
Graf 14: Průběh obsahu netto energie kořenů odrůdy **Ricardinio** v závislosti na variantě pokusu.



Jak je patrné z grafu 14 netto energie kořenů stresovaných rostlin (S varianta) odrůdy Ricardinio zpočátku pokusu do čtvrtého dne vodního stresu klesala ($10,5 \text{ kJ.g}^{-1}$). V dalších dnech stresu docházelo k růstu množství spalného tepla až do posledního 18. dne experimentu ($12,89 \text{ kJ.g}^{-1}$). Průběh obsahu netto energie kořenů rostlin S1 a S2 varianty byl do čtvrtého dne stresu totožný. Množství spalného tepla kořenů bylo u rostlin obou variant $11,54 \text{ kJ.g}^{-1}$. Do 10. dne vodního deficitu obsah netto energie stresovaných rostlin, na které byla aplikována ABA v polovině působení vodního stresu stagnoval ($11,43 \text{ kJ.g}^{-1}$). Posledních osm dní experimentu obsah netto energie stále rostl až na hodnotu $12,82 \text{ kJ.g}^{-1}$. Zatímco množství spalného tepla rostlin S1 varianty dosáhlo svého vrcholu 8. den stresu ($12,95 \text{ kJ.g}^{-1}$). Další dny pokusu se tato hodnota příliš neměnila. Netto energie kořenů zavlažovaných neprůkazně narůstala po celý průběh experimentu, na konci pozorování dosáhla vyšší netto energie ($13,48 \text{ kJ.g}^{-1}$) jak všechny varianty stresovaných rostlin.

Jak udává graf 15 netto energie nadzemní části rostlin odrůdy Ricardinio stresovaných rostlin, které nebyly ošetřeny kyselinou abscisou od započetí stresu do 6. dne stresu mírně klesala ($13,94 \text{ kJ.g}^{-1}$). Od šestého do dvanáctého dne vodního deficitu však docházelo k mírnému nárůstu netto energie nadzemní části ($15,38 \text{ kJ.g}^{-1}$). Poté, vlivem působení vodního deficitu docházelo k postupnému snižování množství spalného tepla a konečná hodnota byla $15,34 \text{ kJ.g}^{-1}$. U rostlin S1 varianty se do druhého dne vodního deficitu množství spalného tepla snižovalo ($13,83 \text{ kJ.g}^{-1}$). Zbýlých 16 dní vodního stresu je možné již zaznamenat postupný nárůst na konečnou hodnotu $16,1 \text{ kJ.g}^{-1}$.

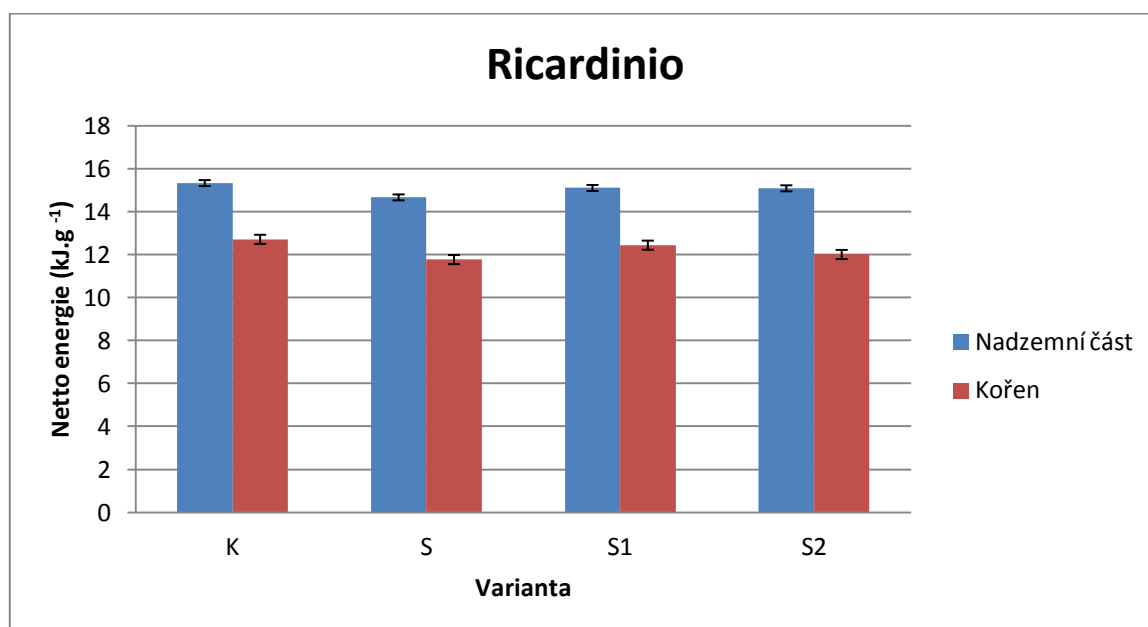
Graf 15: Průběh obsahu netto energie nadzemní části odrůdy **Ricardinio** v závislosti na variantě pokusu



V grafu 15 je možno pozorovat průkazný nárůst netto energie nadzemní části stresovaných rostlin, na které byla kyselina abscisová aplikována 9. den stresu. Druhý den tato hodnota činila $14,85 \text{ kJ.g}^{-1}$. Poté do 12. dne vodního deficitu se tato hodnota pouze neprůkazně zvyšovala na hodnotu $15,22 \text{ kJ.g}^{-1}$. Během posledních šesti dnů experimentu však množství spalného tepla průkazně zvýšilo z hodnoty $15,22 \text{ kJ.g}^{-1}$ na hodnotu $15,83 \text{ kJ.g}^{-1}$. Netto energie nadzemní části zavlažovaných rostlin v průběhu pokusu vlivem ontogenetického vývoje rostlin se zvyšovala, neboť na počátku pokusu byla $14,2 \text{ kJ.g}^{-1}$. Na konci pokusu byla hodnota spalného tepla hodnota nadzemní biomasy ve výši $16,61 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Průměrná netto energie kořenů rostlin odrůdy Ricardinio (viz graf 16) je nejnižší u stresovaných rostlin, které nebyly ošetřeny kyselinou abscisovou ($11,77 \text{ kJ.g}^{-1}$). Pozitivní vliv aplikace kyseliny abscisové na rostliny při zahájení vodního deficitu potvrzují rostliny S1 varianty, které dosáhly průměrné netto energie kořenů rostlin $12,44 \text{ kJ.g}^{-1}$. Pokud je však aplikace ABA provedena až v polovině působení vodního stresu na množství spalného tepla kořenů to nemá tak příznivý efekt jak potvrzuje dosažená netto energie rostlin S2 varianty ($12,0 \text{ kJ.g}^{-1}$). U této odrůdy je průkazný rozdíl v průměrném množství netto energie kořenů mezi zavlažovanými rostlinami ($12,71 \text{ kJ.g}^{-1}$) a variantami S a S2.

Graf 16: Průměrný obsah netto energie nadzemní části a kořenů odrůdy **Ricardinio** v závislosti na variantě pokusu.



V grafu 16 je zaznamenána jako nejvyšší průměrná netto energie nadzemní části odrůdy Ricardinio u zavlažovaných rostlin ($15,33 \text{ kJ.g}^{-1}$). Tato hodnota je průkazně vyšší než průměrná netto energie nadzemní části stresovaných rostlin, bez ošetření kyselinou abscisovou, u nichž průměrné množství spalného tepla činilo $14,66 \text{ kJ.g}^{-1}$. Rostliny S1 varianty měly průměrný obsah netto energie nadzemní části $15,1 \text{ kJ.g}^{-1}$. Statisticky doložitelný rozdíl je pouze v porovnání s rostlinami S varianty. Naopak neprůkazná diference byla v porovnání s rostlinami S2 varianty, které dosáhly průměrného množství spalného tepla nadzemní části $15,09 \text{ kJ.g}^{-1}$.

6. DISKUSE

Do pokusu byly zapojeny 4 odrůdy kukuřice: Ambrosini, Lars, LG 3252 a Ricardinio. Schéma pokusu bylo rozděleno do 4 variant:

- K – kontrolní (zavlažované) rostliny,
- S – stresované (nezavlažované) rostliny,
- S1 - stresované rostliny, ošetřené kyselinou abscisovou při zahájení vodního deficitu,
- S2 – stresované rostliny, ošetřené kyselinou abscisovou v polovině působení vodního deficitu.

6.1. Hmotnost sušiny

Průměrná hmotnost sušiny kořenů kontrolních rostlin dosáhla hodnoty 2,78 g. Tato hodnota byla neprůkazná v porovnání s hmotností sušiny kořenů rostlin stresovaných (S varianta), která činila 2,71 g. Naopak CHARTROULAKIS et al. (1992) ve svých výzkumech s kiwi dospěli k názoru, že vodní stres podporuje tvorbu sušiny kořenů. Rostliny zasažené vodním deficitem preferují růst kořenů na úkor růstu nadzemní části. Podobný názor také mají MIXIA et al (2009), kteří dále potvrdili, že v rostlinách, které byly zasaženy vodním deficitem se zvyšuje obsah stresového proteinu prolinu.

Stresované rostliny kukuřice, které nebyly ošetřeny kyselinou abscisovou, dosáhly průměrné hmotnosti sušiny nadzemní biomasy 3,0 g. Rostliny kukuřice kontrolní varianty měly průkazně vyšší průměrnou hmotnost sušiny nadzemní biomasy (3,33 g). Z těchto dat vyplývá, že vodní deficit negativně ovlivňuje tvorbu sušiny. Ke stejnému názoru se kloní také NESMITH et RITCHIE (1992), kteří zkoumali nárůst sušiny zrna kukuřice. Rostliny kukuřice pěstovali v polních podmínkách. Rostliny, které trpěly nedostatkem srážek (pěstovány v krytu) dosáhly o 21 – 40 % nižšího výnosu sušiny zrna než kontrolní (nezakryté) rostliny. Tento jev potvrzuje také OUATTAR et al. (1987), kteří dokonce zjistili snížení sušiny zrna o 50 % u stresovaných rostlin oproti výnosu sušiny kontrolních rostlin.

Průměrná hmotnost sušiny nadzemní biomasy zavlažovaných rostlin odrůdy Ricardinio činila 3,98 g. Rostliny této odrůdy zasažené vodním deficitem měly průkazně nižší průměrnou hmotnost sušiny nadzemní části (3,48g). Při procentuálním vyjádření tato diference činila 12,5 %. ZHI-QING et al. (2009) v nádobovém pokusu došli k podobnému zjištění. Zavlažované rostliny kukuřice genotypu Ludan 981 vytvořily v průběhu experimentu

o 13 % vyšší hmotnost sušiny nadzemní biomasy než rostliny pěstovaných v podmínkách vodního deficitu.

Negativní vliv vodního deficitu na tvorbu sušiny (výnosu) potvrzují také BOONJUNG et FUKAI (1996). Ve svých pokusech v Austrálii mezi sebou porovnávali výnos běžně pěstované (zavlažované) rýže a rýže stresované suchem. Značný vliv měla doba výskytu vodního stresu. Pokud rostliny rýže byly zasaženy vodním deficitem v období metání, došlo ke zkrácení délky laty a to vedlo ke snížení výnosu o 30 % oproti kontrolním rostlinám. Jestliže se nedostatek vody dostavil až v době, kdy docházelo k ukládání asimilátů do zrna, došlo k poklesu výnosu zrna o 40 %. Také FERRÉ et al (2000) potvrzují ve své práci, že vodní deficit měl negativní vliv na výnos kukuřičného zrna.

Termín aplikace kyseliny abscisové na stresované rostliny byl velice důležitý. Pokud byla aplikace provedena na počátku působení vodního deficitu (S1 varianta). Hmotnost sušiny nadzemní biomasy rostlin kukuřice S1 varianty byla kyselinou abscisovou stimulována. Takto ošetřené rostliny kukuřice dosáhly průměrné hmotnosti sušiny nadzemní biomasy 3,15 g. Naproti tomu rostliny S varianty pouze 3 g. Zároveň také u této varianty bylo pozorováno průkazné zvýšení průměrné hmotnosti sušiny kořenů (3,2 g) oproti neošetřené variantě (2,71 g). Stejných výsledků dosáhli také ve svých experimentech DUAN et al. (2007), kteří aplikovali kyselinu abscisovou na rostliny smrku štetinatého (*Picea asperata*). Kyselina abscisová stimulovala uzavírání průduchů, a tím došlo k lepšímu využití vody v rostlině. To mělo za následek, že takto ošetřené rostliny dosáhli vyšší hmotnosti sušiny nadzemní biomasy tak i kořenů.

Pokud však byly stresované rostliny ošetřeny kyselinou abscisovou v polovině působení vodního deficitu (S2 varianta), tak u takto ošetřených rostlin byl značně potlačen růst nadzemní biomasy. V porovnání se stresovanými rostlinami měly průměrnou hmotnost sušiny nadzemní hmoty o 0,12 g nižší. Tento rozdíl však nebyl statisticky průkazný. Naopak růst a tím i hmotnost kořenů byla tímto termínem aplikace podpořena. Stresované rostliny kukuřice ošetřené v polovině působení stresu preferovali růst kořenů na úkor nadzemní biomasy. Průměrná hmotnost sušiny kořenů rostlin S2 varianty byla 3,49 g. Tato hodnota byla průkazně vyšší než zjištěná průměrná hmotnost sušiny kořenů zavlažovaných rostlin (2,78 g) a také rostlin stresovaných bez ošetření ABA (2,71 g).

Podobný experiment byl proveden CREELMAN et al. (1990) na rostlinách sóji. Během výzkumu byla použita stejně koncentrovaná kyselina abscisová ($100 \mu\text{mol.l}^{-1}$). Termín aplikace kyseliny abscisové měl také významný vliv na hmotnost sušiny nadzemní biomasy a kořenů sóji. Rostliny sóji postižené suchem, které byly ošetřeny kyselinou abscisovou

v pozdější době trvání vodního deficitu, vykazovaly také zvýšený růst kořenů na úkor nadzemní části.

6.2. Obsah netto energie

Průměrná netto energie kořenů kukuřice se pohybovala od 11,27 kJ.g⁻¹ (odrůda Lars, varianta S) do 13,51 kJ.g⁻¹ (odrůda LG 3252, kontrolní varianta). Během ontogenetického vývoje sledovaných odrůd kukuřice docházelo k postupnému nárůstu energie v kořenech. Tuto skutečnost potvrzují ve svých výzkumech HNILIČKA et al. (2007), který posuzoval vliv vodního deficitu na obsah fotosynteticky akumulované energie v kořenech pšenice.

Průměrná hodnota spalného tepla nadzemní biomasy stresovaných rostlin (S varianta) byla 14,49 kJ.g⁻¹. V případě kontrolních rostlin byl obsah netto energie kořenů ve výši 13,0 kJ.g⁻¹. Podobných výsledků ve své práci dosáhli také HNILIČKA et al. (2011).

Na základě statistické analýzy je možné konstatovat, že obsah energie nadzemní biomasy je průkazně nižší u rostlin stresovaných, bez ošetření ABA ve srovnání s rostlinami kontrolními. Průměrný obsah energie kontrolních rostlin byl 15,83 kJ.g⁻¹, kdežto u rostlin stresovaných 14,49 kJ.g⁻¹. Získané výsledky jsou v rozporu s MARTÍNKOVOU et al. (2007), kteří konstatují, že obsah energie listů stresovaných rostlin ječmene je vyšší ve srovnání s kontrolou.

Průměrná netto energie nadzemní biomasy zavlažovaných rostlin kukuřice dosáhla hodnoty 15,83 kJ.g⁻¹. Naproti tomu stresované rostliny bez ošetření kyseliny abscisové měly průkazně nižší hodnotu spalného tepla nadzemní hmoty (14,49 kJ.g⁻¹). MARTÍNKOVÁ et al. (2007) při studiu vlivu vodního deficitu na změnu obsahu netto energie u vybraných odrůd jarního ječmene také zjistila, že působení vodního stresu má negativní vliv na obsah netto energie obilok. To je také v souladu s prací HNILIČKY et al., kteří při studiu obsahu energie zrna pšenice, došli k závěru, že rostliny pšenice zasažené suchem měly o 1,66 kJ.g⁻¹ nižší hodnotu netto energie než zavlažované rostliny.

Jak je patrné z výsledků, stresované rostliny kukuřice, neošetřené kyselinou abscisovou dosáhly průkazně nižší hodnoty netto energie nadzemní biomasy (14,49 kJ.g⁻¹) než rostliny zasažené vodním deficitem, na které byla aplikována ABA na počátku pokusu (15,43 kJ.g⁻¹). Také HNILIČKA et al. (2009) na svých experimentech dokumentovali, že při aplikaci 24 – epibrassinolidu na rostliny pšenice došlo k lepší reakci rostlin na vodní deficit podobně jako u ošetření rostlin kyselinou abscisovou. Rostliny pšenice ošetřené brassinosteroidy docílily vyššího energetického obsahu zrn než pouze stresované rostliny.

7. ZÁVĚR

Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

1. Ze zkoumaných odrůd kukuřice měly nejvyšší průměrnou hmotnost sušiny kořenů rostliny odrůdy Ricardinio (3,52 g). Nejnižší průměrnou hmotnost sušiny kořenů byla zjištěna u odrůdy Lars (2,56 g).
2. Nejnižší průměrnou hmotnost sušiny kořenů mají stresované rostliny (S varianta), které dosáhly výše 2,71 g. Nejvyšší průměrnou hmotností sušiny kořenů disponovaly rostliny S2 varianty (3,49 g).
3. Nejvyšší průměrnou hmotnost sušiny nadzemní biomasy měla odrůda Ricardinio (3,51 g). Naopak rostliny odrůdy Lars vytvořily pouze 2,68 g průměrné sušiny nadzemní biomasy.
4. Rostliny kontrolní varianty dosáhly průměrné hmotnosti sušiny nadzemní biomasy 3,33 g. Tato hodnota byla průkazně vyšší než zjištěná nejnižší hmotnost sušiny u rostlin S2 varianty (2,88 g).
5. Nejvyšší průměrné netto energie kořenů dosáhla odrůda LG 3252 13,45 kJ.g⁻¹. Naopak nejnižší průměrné hodnoty spalného tepla kořenů měly rostliny odrůdy Lars 12,20 kJ.g⁻¹.
6. Při porovnání všech stresovaných rostlin pokusu nejvyšší netto energií kořenů disponovaly rostliny S1 varianty (12,62 kJ.g⁻¹). Nejhůře na vodní deficit reagovaly rostliny S varianty (11,6 kJ.g⁻¹). Průměrná netto energie kořenů zavlažovaných rostlin činila 13,00 kJ.g⁻¹.
7. Z hlediska porovnání odrůd nejvyšší průměrné netto energie nadzemní části dosáhly rostliny odrůdy Lars 15,25 kJ.g⁻¹. Rostliny odrůdy LG 3253 měly nejnižší hodnotu netto energie nadzemní biomasy (14,99 kJ.g⁻¹).
8. Ze zasažených rostlin vodním stresem nejlépe na tuto skutečnost z hlediska průměrného množství spalného tepla v nadzemní biomase reagovaly rostliny S1 varianty (15,43 kJ.g⁻¹). Nejhůře se adaptovaly rostliny kukuřice S varianty, které měly obsah netto energie nadzemní biomasy 14,49 kJ.g⁻¹. Zavlažované rostliny vytvořily průměrný obsah spalného tepla v nadzemní biomase 15,83 kJ.g⁻¹.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Abreu, M. L., Gimenes Júnior, M., Pincelli, R.P., Lara, A.C. da C., Brachtvogel, E.L., Silva, M. de A. 2010. Water relations, menology and produktivity of maize under water deficit. *Cultura Agronomica*. 18 (1), p. 81 – 93
- Araco, R., Vernieri, P., Irigoyen, J.J., Sánchez-Díaz, M., Franco Tognoni, F., Pardossi, A. 2003. Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays* L.) in avoiding chilling-induced water stress. *Plant Science*. 165 (3). p. 671 – 679
- Bennetzen, J.L., Hake, S. 2008. *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer. USA. 587 p. ISBN: 978-0-387-79417-4
- Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Mollerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. *Rostlina a stres*. VÚRV. Praha. 156 p. ISBN: 80-86555-63-1
- Bláha, L., Hnilička, F. 2004. Influence of abiotic stresses on the basic trakte of the root Systém. *Biologia*, p. 145 – 150
- Bláha, L., Hnilička, F. 2006. Význam vlastností kořenů a semen pro odolnost rostlin vůči abiotickým stresorům. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2006 (Sborník příspěvků). 17. května 2006. p. 1 – 10 ISBN: 80-213-1484-2
- Boonjung, H., Fukai, S. 1996. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. *Field Crops Research*. 48 (1). Brisbane. p. 47 - 55
- Buysse, J., Merckx, R. 1993. An improved colorimetric method to quantify sugar kontent of plant tissue. *Journal of Experimental Botany*. 44 (10), p. 1627 – 1629
- Brestič, M., Olšovská, K. 2001. *Vodný stres rostlin: příčiny, dosledky, perspektivy*. SPU. Nitra. 149 p. ISBN: 80-7137-902-6
- Creelman, R.A., Mason, H.S., Bensen, R.J., Boyer, J.S., Mullet J.E. 1990. Water deficit and Abscisic Acid Cause Differential Inhibition of Shoot versus Root Growth in Soybean Seedlings. *Plant Physiol*. 92 (1). USA. p. 205 - 214
- Demerová, K., Doubková, Z. 2003. *Geneticky modifikované organismy: otázky spojené s jejich vznikem a využíváním*. Ministerstvo ŽP. Praha. 38 p.
- Dostál, J. 1989. *Nová květena ČSSR II.*, Academia, Praha, 1548 p.
- Duan, B., Yang, Y., Lu, Y., Korpeainen, H., Berninger, F., Li, Ch. 2007. Interactions between Water deficit, ABA and provenances in *Picea asperata*. *Experimental Botany*. 58 (11). p. 3025 – 3026

- Ferré, I., Oijen, M., Leffelaar, P.A., Faci, J.M. 2000. Analysis of maize growth for different irrigation strategies in northeastern Spain. *European Journal of Agronomy*. 12. p. 225 - 238
- Fereres, E. 1984. Variability in Adaptive Mechanisms to Water Deficit in Annual and Perennial Crop Plants. *Bulletin de la Societe Botanique de France*. p. 17 – 32
- Fuksa, V. 2009. Šlechtění je běh na dlouhé trati. Dostupné z <<http://www.agroweb.cz>>.
- Haberle, J., Trčková, M., Růžek, P. 2008. Příčiny nepříznivého působení sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. VÚRV. Praha. 28 p. ISBN: 978-80-87011-45-4
- Hakansson, S. 2003. Weeds and weed management on arable land: an ecological approach. Cabi Publishing. USA, 274 p. ISBN: 08-519-965-15
- Hasegawa, P. M., Jenks, M. A. 2005. Plant abiotic stress. Blackwell Publishing. USA. 270 p. ISBN: 14-051-223-82
- Hnilička, F., Bláha, L., Zámečník, J., Novák, V., Ottová, M. 2000. Vliv abiotických stresorů na akumulaci netto energie v obilkách ozimé pšenice (*Triticum aestivum*). *Rostlinná výroba*. 46 (12). p. 549 - 554
- Hnilička, F., Martínková, J., Hniličková, H. 2007. Vliv vodního deficitu na utváření výnosotvorných prvků a výši výnosu jarního ječmene. *Nové Agro*. p. 46 – 47
- Hnilička, F., Bláha, L., Dotlačil, L. 2007. Změna klimatu vyžaduje přizpůsobení plodin. *Úroda*. 7. p. 64 – 66
- Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Kočová, M., Rothová, O. 2008. Vliv sucha na rychlost fotosyntézy a transpirace juvenilních rostlin kukuřice. *Úroda*, 8. p. 48 – 49
- Hnilička, F., Hniličková, H., Martínková, J., Bláha, L., Kadlec, P. 2009. Impact of 24-epibrassinolide on chemical structure and energy content in beat grain. *Vagos* 83 (1). p. 17 – 22.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Kočová, M., Rothová, O. 2011. Studium suchovzdornosti kukuřice (*Zea mays* L.) pomocí vybraných fyziologických charakteristik. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011 (Sborník příspěvků). 9. – 10. 3. 2011. s. 48 – 51. ISBN: 978-80-7427-06
- Hooykaas, P.J.J., Hall, M.A., Libbenga, K.R. 1999. *Biochemistry and Molecular Biology of Plant Hormones*. 541 p. ISBN: 0-444-89825-5

- Holá, D., Benešová, M., Haisel, D., Hnilička, F., Hniličková, H., Honnerová, J., Kočová, M., Kučera, T., Rothová, O., Procházková, D., Wilhelmová, N. 2009. Fyziologické a biochemické parametry inbredních a hybridních genotypů kukuřice vystavených vodnímu deficitu. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2009 (Sborník příspěvků). 4. – 5. března 2009. p. 130 – 135
ISBN: 978-80-213-1874-8
- Hsiao, T.C., Aceveda, E., Fereres, E., Henderson, D.W. 1976. Water Stress, Growth and Osmotic Adjustment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. p. 479 - 500
- Hůla, J., Zelená, L. 1995. Technika v postupech ochranného zpracování půdy k široko řádkovým plodinám. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 28 p.
- Hůla, J., Abrham, Z., Bauer, F. 1997. Zpracování půdy. Brázda. Praha. 140 p.
ISBN: 978-80-209-0265-8
- Hůla, J., Procházková, B., Dovrtěl, J. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press. Praha. 246 p. ISBN: 978-80-867-2628-1
- Chartzoulakis, K., Noitsakis, B., Therios, I. 1993. Photosynthesis, plant growth and dry matter distribution in kiwifruit as influenced by water deficits. *Irrigation Science*. 14 (1). p. 1 – 5
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Perena, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*. 30 (3). p. 239 - 264
- Chloupek, O. 2008. Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. 3. vyd. Academia. Praha. 307 p. 978-80-200-1566-2
- Jacobs, W. P., 1979. Plant hormones and plant development. Cambridge University Press 339 p. ISBN: 0-521-22062-9
- Jančovič, J., Ďurková, E., Vozár, L. 2005. Krmoviny I., Ústav vedecko-technických informací pre podohospodárstvo. Nitra. 100 p.
- Janda, J., Belej, J., Derco, M., Feranec, P., Fojtík, K., Fortuněk, F., Husárová, M., Javorek, E., Korbíny, Z., Luxová, M., Ormandy, A., Piovarči, A., Piršel, A., Polerecký, O., Podolák, M., Repka, J., Škultéty, M., Truksa, J., Valterová, L., Vidovič, J., Vožda, J., Záborský, J. 1982. Kukurica. Příroda. Bratislava. 402 p.
- Jones, H. G., Flower, T. J., Jones, M. B. 2008. Plants under stress. Cambridge. 256 p.
ISBN: 0-521-34423-9
- Judd, W., Campbell, Kellogg, Stevens, Donoghue. 2008. Plant systematics a phylogenetic Approach. Sinauer Associates. Sunderland. 611 p. ISBN: 978-08789-3407-2
- Kazda, J., Mikulka, J., Prokinová, E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin. Profi Press. Praha. 399 p. ISBN: 978-80-86726-34-2
- Klesnil, A., Benda, J., Halva, E. 1978. Intenzivní výroba píče. 2. vyd. SZN. Praha. 378 p.

- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I.T. 2008. Dehydriny: Struktura, funkce a využití při studiu stresů vyvolávající dehydrataci rostlin. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2008 (Sborník příspěvků). 12. – 13.2. 2008. p. 239 – 244. ISBN: 978-80-87011-18-8
- Křístková, M. 2009. Dosavadní zkušenosti s pěstováním geneticky modifikované Bt kukuřice v ČR. Ministerstvo zemědělství. Praha. 44 p.
- Kutina, J. 1988. Regulátory růstu a jejich využití v zemědělství a zahradnictví. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 414 p.
- KWS OSIVA. 2012. Sortiment hybridů kukuřice 2012. Březen 2012. Dostupné z <www.kws.de/li/fh/faq>.
- Lang, V. 1993. The Role of ABA and ABA-Induced Gene Expression in Cold Acclimation of *Arabidopsis thaliana*. Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden. 70 p. ISBN: 978-91-576-4734-4
- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. Springer. Berlin. 513 p. ISBN: 3-540-43516-6
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stress. 2. vyd. Academic Press. New York. 350 p.
- Lichner, S., Klesnil, A., Halva, E. 1983. Krmovinárstvo. Príroda. Bratislava. 548 p.
- Liu, Y., Yang, S., Li, S., Chen, X., Chen, F. 2010. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150 (4). p. 606 - 613
- Martínková, J., Hnilička, F., Hejnák, V. Vliv vodního deficitu na fotosyntetickou akumulaci energie u jarního ječmene. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář. Hotel Mendlov. 28.5. – 1.6. 2007. p. 163 - 166
- Martínková, J., Hejnák, V., Hnilička, F. 2007. Vliv vodního deficitu na změnu obsahu energie a hmotnosti obilky v klase u vybraných odrůd jarního ječmene. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2007 (Sborník příspěvků). 21.3. – 22.3. 2007. s. 339 – 343. ISBN: 978-80-213-1621-8
- Mixia, W., Xi, S., YaQin, Y., Huanjie, C. 2009. Effects of water deficit on dry matter accumulation, wue and physiological indexes of maize. *Ganhanqu Yanjiu*. 26 (3). s. 396 – 400. ISBN: 1001-4675
- Mollier, A., Pellerin, S. 1999. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *Journal of Experimental Botany*. p. 487 – 497
- Moussa, H.R., Abdel-Aziz, S.M. 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crop Science*. 1 (1). p. 31 - 36

- NeSmith, D.S., Ritchie, J.T. 1992. Maize (*Zea mays* L.) response to severe soil water deficit during grain filling. *Field Crops Research*. 29 (1). p. 23 - 35
- Nilsen, E. T., Orcutt, D.M. 1996. *Physiology of Plants under Stress*, Virginia Polytechnic Institute and State University. USA. 689 p. ISBN: 9780471031529
- Oseva Uni. 2009. Nabídka osiv – jaro 2009. Březen 2012. Dostupné z <www.osevauni.cz/osiva/pdf>.
- Ouattar, S., Jones, J.R., Crookston, R.K. 1987. Effect of Water Deficit during Grain Filling on the Pattern of Maize Kernel Growth and Development. *Crop Science*. 27 (4). p. 726 - 730
- Pačuta, V., Černý, I., Poláček, M. 1998. *Pestovanie poľných plodín, Ústav vedecko-technických informácií pre podohospodárstvo*. Nitra. 128 p. ISBN: 978-80-7427-083-3
- Petr, J. 2008. Geneticky modifikované plodiny a životní prostředí. *Úroda*. 1. p. 51 – 56
- Poulík, Z. 1996. *Výživa a hnojení pícních kultur*. Institut výchovy a vzdělávání Mze ČR. Praha. 36 p. ISBN: 80-7105-109-8
- Povolný, M., Vacek, E.. 2009. *Přehled odrůd 2009 - Kukuřice*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno. 83 p.
- Premachandra, H., Seneka, H., Fujito, K., Ogata, S. 2008. Water Stress and Potassium Fertilization in Field Grown Maize: Effects on Leaf Water Relations and Leaf Rolling. *Journal of Agronomy and crop Science*. Japan. p. 195 – 201
- Procházka, S., Šebánek, J., Macháčková, I. a kolektiv. 1997. *Regulátory rostlinného růstu*. Academia. Praha. 395 p. ISBN: 80-200-0597-8
- Ryšavá, B., Longauerová, J., Mazúr, M. a kolektiv 1996. *Pestovanie kukurice*. Ústav vedecko-technických informácií pre pôdohospodárstvo. Nitra. 55 p.
- Smith, C.W., Rauge, C.A., Betrán, J. 2004. *Corn: origin, history, technology, and production*. Wiley Series in Crop Science. 949 p. ISBN: 04-714-1184-1
- Scott, P. 2008. *Physiology and Behaviour of Plants*. Wiley. England. 305 p. ISBN: 978-0-470-85024-4
- Šašková, D. 1993. *Trávy a obilí*. Artia a Granit. Praha. 64 p. ISBN: 80-85805-03-0
- Šesták, Z., Čatský, J., Šetlík, J., Nečas, J., Květ, J., Smetánková, M., Slavík, B., Janáč, J., Vozněsenskiij, V.L., Bartoš, J., Avratašuková, N., Kubín, Š. 1966. *Metody studia fotosyntetické produkce rostlin*. Academia. Praha. 394 p.
- Šuk, J., Balík, J., Jakobe, P., Jambor, V., Kohout, V., Loučka, R., Táborský, V., Vrzal, J. 1998. *Kukuřice*. VP AGRO. Kněžves. 129 p.

- Thomas T. L.. 1997. ABA signaling in plant development and growth. Signal Transduction Plants. Birkhauser Verlag Basel. Switzerland. p. 23 – 43
- Trewavas, A. J., Malho, R. 1997. Signal perception and transduction: The origin of the phenotype . The Plant Cell. 9 (7). p. 1181 – 1195
- Vaněk, V., Balík, J., Němeček, R., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 1998. Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. 1. vyd.. Farmář – zemědělské listy. Praha. 124 p. ISBN: 80-902413-1-X
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 176 p. ISBN: 976-80-86726-25-0
- Zámečník, J., Bilavčík, A., Faltus, M. 2007. Termodynamika chování vody v rostlinách v nepříznivých podmínkách. 29. mezinárodní český a slovenský kolorimetrický seminář (Sborník příspěvků). Pardubice. p. 129 – 134
- Zhi-qing, Y., Wei-wei, Y., Xiu-shan, T., Bao-xing, Y., Jian-jie, B. 2009. Effect of Water Stress on Dry-Matter Partition of Summer Maize. Acta Agriculturae Boreali-Sinica. China.
- Zimolka, J., Prokop, M., Hrstková, P., Říha, K., Povolný, M., Balounová, M., Cerkal, R., Červinka, J., Doležal, P., Dvořák, J., Fajman, M., Jánský, J., Křen, J., Palík, S., Poláčková, J., Polišínská, I., Procházková, B., Richter, R., Ryzny, P., Smutný, V., Tichý, F., Vaculová, K., Winkler, J., Zeman, L. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. 1. vyd., Profi Press Praha. 200 p. ISBN: 978-80-86726-31-1

9. PŘÍLOHY

Tabulka I: Průměrná hmotnost sušiny kořenů a nadzemní biomasy

Odrůda	Varianta	Hmotnost sušiny (g) kořenů	Hmotnost sušiny (g) nadzemní biomasy
Ambrosini	K	2,92 ± 1,44	3,61 ± 1,42
Ambrosini	S	3,37 ± 1,20	3,37 ± 0,87
Ambrosini	S1	2,80 ± 0,95	3,15 ± 0,91
Ambrosini	S2	3,62 ± 2,04	2,89 ± 0,72
Lars	K	1,62 ± 0,70	2,65 ± 1,20
Lars	S	2,30 ± 1,46	2,44 ± 0,77
Lars	S1	2,71 ± 1,18	3,15 ± 2,16
Lars	S2	2,66 ± 1,10	2,46 ± 0,79
LG 3252	K	2,13 ± 1,30	3,03 ± 1,24
LG 3253	S	2,57 ± 1,40	2,72 ± 0,97
LG 3254	S1	3,20 ± 1,37	2,66 ± 0,81
LG 3255	S2	3,84 ± 2,16	2,76 ± 0,80
Riccardino	K	4,37 ± 3,27	3,98 ± 1,99
Riccardino	S	2,60 ± 0,91	3,48 ± 0,96
Riccardino	S1	4,12 ± 1,90	3,62 ± 1,34
Riccardino	S2	3,83 ± 1,46	3,43 ± 0,89

Tabulka II. Průměrný obsah netto energie kořenů a nadzemní biomasy

Odrůda	Varianta	Netto energie (kJ.g ⁻¹) kořenů	Netto energie (kJ.g ⁻¹) nadzemní biomasy
Ambrosini	K	13,24 ± 1,36	16,07 ± 0,96
Ambrosini	S	11,49 ± 0,79	14,32 ± 0,42
Ambrosini	S1	12,62 ± 0,85	15,72 ± 0,66
Ambrosini	S2	12,40 ± 0,66	16,61 ± 0,50
Lars	K	12,56 ± 0,68	15,80 ± 0,68
Lars	S	11,89 ± 0,91	14,73 ± 0,64
Lars	S1	12,19 ± 0,61	15,74 ± 0,46
Lars	S2	12,20 ± 0,60	14,74 ± 0,50
LG 3252	K	13,51 ± 0,35	16,11 ± 1,03
LG 3253	S	11,27 ± 0,79	14,23 ± 0,28
LG 3254	S1	13,24 ± 0,47	15,14 ± 0,74
LG 3255	S2	13,45 ± 0,32	14,50 ± 0,68
Riccardino	K	12,71 ± 0,75	15,33 ± 0,84
Riccardino	S	11,77 ± 0,71	14,66 ± 0,59
Riccardino	S1	12,44 ± 0,66	15,10 ± 0,83
Riccardino	S2	12,01 ± 0,51	15,09 ± 0,51