

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv vodního deficitu a aplikace osmoticky aktivních látek
na hodnoty spalného tepla v biomase kukuřice seté**

Bakalářská práce

Autor práce: Tomáš Mrština

Obor studia: Rostlinná produkce - ABR

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

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv vodního deficitu a aplikace osmoticky aktivních látek na hodnoty spalného tepla v biomase kukuřice seté" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20. dubna 2018

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za odborné vedení při vypracování mé bakalářské práce. Děkuji za jeho čas, který mi poskytnul při získávání dat k pokusu, jeho odborné rady, jeho nezměrnou trpělivost a náklonost.

Vliv vodního deficitu a aplikace osmoticky aktivních látek na hodnoty spalného tepla v biomase kukuřice seté (*Zea mays* L.)

Souhrn

V bakalářské práci byl ověřován vliv vodního deficitu a aplikace osmoticky aktivních látek, konkrétně prolinu, na kukuřici setou (*Zea mays* L.).

Cílem této práce bylo stanovení vlivu vodního deficitu, aplikace osmoticky aktivních látek a tvorby asimilátů a energeticky bohatých látek. Stanovení rozdílné citlivosti vybraných genotypů kukuřice seté vůči vodnímu deficitu a jejich reakce na aplikaci osmoticky aktivních látek. Sledovat vliv aplikace osmoticky aktivních látek a vodního deficitu na obsah energie v sušině rostlinných orgánů.

Do pokusu byly zařazeny tři genotypy kukuřice: RGT LIPEXX, INDEXX a SIXXTUS. Rostliny kukuřice seté byly pěstovány za částečně řízených světelných a teplotních podmínek ve skleníku FAPPZ. Rostliny byly pěstovány v nádobách o objemu 25 l v homogenním substrátu balotiny. Design pokusu zahrnoval čtyři varianty a 4 opakování. Kontrolní varianta KK byla zalévána pravidelně závlahovou dávkou 0,25 l vody. Vodní stres (SK) u stresovaných variant byl navozen postupným vysycháním substrátu po dobu 10 dnů. Poté se rostliny rehydratovaly. Tyto dvě základní varianty se dále rozdělily na variantu ošetřenou prolinem a variantu neošetřenou.

Hmotnost sušiny se stanovovala standardními metodami, kdy rostlinný materiál byl umístěn do sušárny a sušen při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti. Metodou spalné kalorimetrie byl stanovován transport asimilátů a jejich translokace v rámci jednotlivých vegetativních orgánů.

Ze získaných výsledků vyplývá, že hmotnost sušiny kořenů byla o 8,2 % vyšší u rostlin stresovaných v porovnání s rostlinami kontrolními, kdežto hmotnost nadzemní biomasy byla vyšší u kontrolních rostlin o 41,8 %. V případě aplikace prolinu na rostliny bylo zjištěno, že hmotnost sušiny kořenů a nadzemní biomasy kontrolních rostlin byla ovlivněna aplikací prolinu, kdy u hybridu RGT SIXXTUS byla zaznamenána vyšší hmotnost v porovnání s neošetřenou variantou. V případě rostlin stresovaných se nejvýrazněji hmotnost kořenů a nadzemní biomasy po aplikaci prolinu zvýšila u hybridu RGT INDEXX. Na aplikaci prolinu

změnou hmotnosti kořenů u kontrolních rostlin nejméně citlivě reagoval hybrid RGT INDEXX a u rostlin stresovaných RGT LIPEXX. V případě nadzemní biomasy se jednalo u kontrolních rostlin o genotyp RGT LIPEXX a u rostlin stresovaných RGT SIXXTUS. Spalné teplo bylo u kořenů a nadzemní biomasy vyšší u kontrolních rostlin, než u stresovaných rostlin o 5,2 % a 6,5 %. Spalné teplo kořenů a nadzemní biomasy bylo ovlivněno aplikací prolinu u hybridu RGT INDEXX, kdy byla zaznamenána vyšší hodnota spalného tepla u ošetřených rostlin na rozdíl od kontrolních. U stresovaných rostlin se použití prolinu nejvíce projevilo u genotypu RGT LIPEXX na hodnotě 15,18 kJ.g⁻¹.

Na aplikaci prolinu nejméně reagoval změnou hodnot spalného tepla hybrid RGT SIXXTUS rozdílem 0,46 % (0,07 kJ.g⁻¹) u kontrolních rostlin a v případě rostlin stresovaných RGT LIPEXX rozdílem 1,15 % (0,16 kJ.g⁻¹). Na aplikaci prolinu nejméně reagoval u kontrolních rostlin hybrid RGT LIPEXX hodnotou 12,17 kJ.g⁻¹ a u stresovaných rostlin RGT SIXXTUS hodnotou 11,75 kJ.g⁻¹. Ze sledovaných hybridů se jako tolerantní k vodnímu stresu jeví hybrid RGT SIXXTUS a naopak jako citlivý RGT INDEXX.

Klíčová slova: kukuřice setá, vodní stres, sucho, spalné teplo, spalovací kalorimetrie

Effect of water deficiency and application of osmotically active substances on the calorific values of maize biomass

Summary

In bachelor thesis was investigated the effect of water deficit and application of osmotically active substances, namely proline, on maize (*Zea mays* L.).

The aim of this work was to determine the effect of water deficiency, application of osmotically active substances and formation of assimilates and energy-rich substances. Determination of different sensitivity of selected maize genotypes against water deficit and their response to application of osmotically active substances. Monitor the effect of application of osmotically active substances and water deficit on the energy content of plant organs dry matter.

Three genotypes of corn were included in the experiment: RGT LIPEXX, INDEXX and SIXXTUS. Corn seedlings were grown under partially controlled light and temperature conditions in the FAPPZ greenhouse. Plants were grown in 25 l containers in a homogeneous substrate of glass microspheres. The experimental design included four variants and 4 repetitions. Control variant KK was irrigated regularly with an irrigation dose of 0.25 l of water. Water stress (SK) in stressed variants was induced by gradually drying the substrate for 10 days. The plants were then rehydrated. These two basic variants were further subdivided into a variant treated with proline and an untreated variant.

The dry weight was determined by standard methods where the plant material was placed in an oven and dried at 80 ° C to a constant weight. By means of the calorimetry method, transport of assimilates and their translocation within individual vegetative organs was determined.

The obtained results indicate that the weight of the root dry was 8.2% higher for the plants stressed compared to the control plants, while the weight of the above-ground biomass was higher for the control plants by 41.8%. In the case of plant proline application, it was found that the weight of root dry matter and above-ground biomass of control plants was affected by the proline application, where the RGT SIXXTUS hybrid was higher in comparison with the untreated variant. In the case of stressed plants, the mass of roots and above-ground biomass after proline application increased most with the RGT INDEXX hybrid. For the proline application by changing the root mass in control plants, the RGT INDEXX hybrid was least sensitive, and RGT LIPEXX in stressed plants. In the case of above-ground biomass, control plants were genotype RGT LIPEXX and plants stressed by RGT SIXXTUS. Combustion heat was higher in the case of roots and above-ground biomass in control plants than in stressed plants by 5.2% and 6.5%. Combustion heat of roots and above-ground biomass was affected by the proline application of the RGT INDEXX hybrid, where the higher calorific value of the treated plants was recorded as compared to the control ones. For stressed plants, proline use was most prominent in the RGT LIPEXX genotype at 15.18 kJ.g⁻¹.

The proline was least affected by the change in the RGT SIXXTUS combustion heat value by 0.46% (0.07 kJ.g⁻¹) in control plants, and in the case of plants stressed by RGT LIPEXX by a difference of 1.15% (0.16 kJ.g⁻¹). For proline treatment, the RGT LIPEXX hybrid was at least

12.17 kJ.g⁻¹ in control plants and 11.75 kJ.g⁻¹ in stressed plants RGT SIXXTUS. Of the monitored hybrids, the hybrid RGT SIXXTUS appears to be water-stress tolerant and, conversely, as a sensitive RGT INDEXX.

Keywords: corn, water stress, drought, burning heat, combustion calorimetry

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a hypotézy.....	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Botanická charakteristika kukuřice seté (<i>Zea mays</i> L.).....	3
3.1.1	Šlechtění kukuřice.....	6
3.1.2	GM kukuřice Evropa a USA.....	7
3.2	Historie a současnost pěstování kukuřice seté	8
3.2.1	Historie a současnost pěstování kukuřice seté ve světě	8
3.2.2	Historie a současnost pěstování kukuřice v ČR.....	9
3.3	Obecná charakteristika stresů.....	10
3.4	Vodní stres	13
3.5	Vliv vodního deficitu na rostliny	14
3.6	Osmoticky aktivní látky	18
3.7	Spalná kalorimetrie a její využití ve stresové fyziologii rostlin	20
4	Metodika.....	23
4.1	Charakteristika pokusného materiálu	23
4.2	Založení pokusu.....	23
4.3	Metody měření fyziologických charakteristik	24
4.3.1	Stanovení hmotnosti sušiny.....	24
4.3.2	Stanovení spalného tepla	24
5	Výsledky.....	26
5.1	Hmotnost sušiny kořenů.....	26
5.2	Hmotnost sušiny nadzemní biomasy.....	30
5.3	Obsah spalného tepla kořenů	34
5.4	Obsah spalného tepla nadzemní biomasy	38
6	Diskuze.....	43
6.1	Hmotnost sušiny kořenů.....	43
6.2	Hmotnost sušiny nadzemní biomasy.....	44
6.3	Obsah spalného tepla kořenů	44
6.4	Obsah spalného tepla nadzemní biomasy	45
7	Závěr	47
8	Přehled použité literatury	49

1 Úvod

Kukuřice se používá jako krmivo pro hospodářská zvířata, lidskou výživu, biopalivo a surovina v průmyslu.

Oproti čtyřicátým letům minulého století kdy byla kukuřice používána k lidské spotřebě, v současnosti je 60 % použito jako krmivo pro zvířata, 10 % se používá k přímé lidské spotřebě a zbývajících 30 % se využívá v průmyslové výrobě, k výrobě takových produktů, jako jsou alkoholy na bázi kukuřice, sladidla a kuchyňské oleje.

Kukuřice je zvláštní, ale také úžasná rostlina. Zvláštní je, že vzhledem k výběru člověka tato rostlina nemůže zasévat svá vlastní semena, a proto je závislá na péči, kterou ji člověk dává, aby přežila. Je úžasná nejen kvůli své velikosti, ale také svým významem jako potravinářská rostlina.

Kukuřice je známa tím, že může způsobovat vodní erozi, jelikož je setá v širokých řádcích. V USA je například zaveden tzv. strip-till, tedy vysetí kukuřice do rýh v půdě a v mezi řádku jsou zbytky předplodiny, která zadržuje vodu a tím snižuje vodní erozi. V ČR se ale tento systém zatím nerozšířil.

V této práci je sledován vliv vodního deficitu na tvorbu sušiny a translokaci asimilátů u vybraného souboru genotypů kukuřice seté (*Zea mays* L.). Transport asimilátů byl sledován na základě použití metody spalné kalorimetrie. Ke snížení negativního dopadu vodního deficitu na juvenilní rostliny kukuřice seté byl na rostliny exogenně aplikován prolin, jako „antistresová látka“

2 Cíl práce a hypotézy

Bakalářská práce se zaměřuje na vliv vodního deficitu na tvorbu sušinu a obsah energeticky bohatých látek u juvenilních rostlin kukuřice seté (*Zea mays* L.). Součástí práce je sledování vlivu exogenně aplikované aminokyseliny prolin na sledované fyziologické parametry rostlin kukuřice a zda uvedená látka sníží negativní působení vodního stresu na rostliny.

Z výše uvedeného vyplývají cíle práce:

1. Cílem práce je stanovení vlivu vodního deficitu, aplikace osmoticky aktivních látek a jejich ovlivnění tvorby asimilátů a energeticky bohatých látek.
2. Stanovení rozdílné citlivosti vybraných genotypů kukuřice seté vůči vodnímu deficitu a jejich reakce na aplikaci osmoticky aktivních látek.
3. Sledovat vliv aplikace osmoticky aktivních látek a vodního deficitu na obsah energie v sušině rostlinných orgánů.

Na základě cílů práce byly stanoveny vědecké hypotézy:

1. Mezi vybranými genotypy kukuřice seté se projeví při působení vodního deficitu a aplikace osmoticky aktivní látky v juvenilních fázích vývoje rozdílné reakce v obsahu energie (vliv genotypu).
2. Kombinace působení vodního deficitu a aplikace osmoticky aktivní látky ovlivňuje transport asimilátů a obsah energie (vliv varianty).
3. Vodní deficit ovlivňuje tvorbu energeticky bohatých látek a sušiny v juvenilních rostlinách kukuřice seté (*Zea mays* L.).

Kukuřice setá byla jako modelová rostlina vybrána proto, že se dá uplatnit jako krmivo pro hospodářská zvířata ve formě siláže či zrna, nebo jako surovina pro zpracovatelský průmysl. Díky své produkci biomasy našla také uplatnění v produkci bioplynu z kukuřičné biomasy. Kukuřice patří také mezi nejpěstovanější plodiny na světě.

3 Literární rešerše

Botanická charakteristika kukuřice seté (*Zea mays* L.)

Kukuřice setá (*Zea mays* L.), obr. 1, je rostlina z čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Její původní domovinou je Amerika, kde asi před 10 000 lety byla domestikovaná domorodými národy v Mexiku. Do Evropy se dostala po objevení Ameriky Kryštofem Kolumbem (Corn, 2018).



Obrázek 1 – Kukuřice setá (*Zea mays* L.)

Zdroj: Hoskovec, kukuřice setá, 2008

Kukuřice je podle Dostála (1989) statná rostlina, která má 150-250 (400) cm dlouhé stéblo a průměr stébla činí 2-6 cm. Stéblo je plné a přímé. Pochvy listů jsou hladké, jazýček 3-5 mm velký a uťatý. Čepele jsou ploché, široké, čárkovitě kopinaté.

Listy jsou široké 5-15 mm, na líci slabě chlupaté a drsné. Květenství je jednopohlavné a rostlina je jednodomá. Samičí květenství je ve válcovitých palicích v úžlabí dolních listů. Až do zralosti obalených nafouklými pochvami, z nichž nahoře vyčnívá hustý svazek nitovitých brvitých čnělek, ukončených rozeklanou bliznou. Samčí květenství je vrcholová, přímá lata, složená z hustých, úzkých až 20 cm dlouhých lichoklasů. Klásky jsou uspořádány ve dvojicích. Dolní klásky jsou přisedlé, horní jsou stopkaté. Obilky jsou neokoralé.

Eckhoff et al. (2003) uvádí, že existují stovky genotypů kukuřice, většina komerčně pěstovaných hybridů pochází z několika málo významných ras. Pro pěstitelské účely lze kukuřici rozdělit do čtyř kategorií:

Kukuřice koňský zub (*Zea mays* var. *Indentata*), viz obr. 2, je primárním typem kukuřice pěstované v americkém kukuřičném pásu, stejně jako v Evropě, Jižní Africe a Číně. Odrůdy typu koňský zub byly hybridizací a výběrem přizpůsobeny tak, aby poskytly širokou škálu agronomických charakteristik. Byly vyšlechtěny speciální odrůdy s jedinečnou charakteristikou škrobu, jako jsou např. vysokoamylózní (lineární škrob) a voskovité (rozvětvený škrob) genotypy kukuřice. Jsou také šlechtěny další genotypy, jako je kukuřice s vysokým obsahem oleje a vysoko-lyzinová kukuřice (Eckhoff et. al., 2003).



Obrázek 2 – Obilka kukuřice koňský zub

Zdroj: SMEP, Agrobiologie, 2006

Kukuřice obecná neboli tvrdá (*Zea mays* var. *Indurata*) je geneticky odlišná od předků kukuřice a je charakterizována tvrdými kulatými jádry, jak dokládá obr. 3. Endosperm z kukuřičného zrna je složen převážně z tvrdého nebo sklovitého endospermu. Tvrdý endosperm umožňuje kukuřici tvrdé odolat větším poškozujícím nárazovým silám, což má výhodu při prodeji. Agronomické vlastnosti tvrdé kukuřice se liší od kukuřice koňského zubu. Měla by se pěstovat v pestrém osevním postupu včetně pěstování krycích plodin (Eckhoff et. al., 2003).



Obrázek 3 – Obilka kukuřice obecné

Zdroj: SMEP, Agrobiologie, 2006

Kukuřice pukancová (*Zea mays* var. *Everta*) byla geneticky vybrána pro svou schopnost explodovat při zahřátí. Pukání nastane, když se zrna, viz obr. 4, rychle zahřívají na cca 240 °C. Hustý endosperm omezuje difuzi vodní páry, která vyvolává tlak v jádře tak dlouho, dokud nevybuchne. Jedná se o škrobové granule, které explodují a v průběhu procesu roztahují proteinovou matici. Jak se proteinová matrice ochlazuje, stává se tuhá. Bílá načechraná část popcornu je želatinovaný škrob rozptýlený na povrchu matrice buněk s expandovanými buňkami (Eckhoff et. al., 2003).



Obrázek 4 – Obilka kukuřice pukancové

Zdroj: SMEP, Agrobiologie, 2006

Sladká kukuřice (*Zea mays* var. *Saccharata*) je kukuřice zubovitého typu, jak je patrné z obr. 5. Tato kukuřice je sklížena nezralá a je určena pro konzervování, mražení a přímou konzumaci jako zelenina. Hybridy sladké kukuřice obsahují gen, který zpomaluje konverzi glukózy na škrob v endospermu. Obvykle se v kukuřičném cukru obvykle vyskytuje tři až čtyřikrát více polysacharidů s krátkým řetězcem než u jiných odrůd kukuřice (Eckhoff et. al., 2003).



Obrázek 5 – Obilka kukuřice cukrové

Zdroj: SMEP, Agrobiologie, 2006

3.1.1 Šlechtění kukuřice

Smysl aplikace genového inženýrství zcela závisí na pochopení složitosti a souhry tolerančních mechanismů. V žádném známém příkladu nejsou fyziologické údaje dostatečně informativní, aby zcela popsaly toleranční mechanismy druhů. Je velmi nápomocné soustředit veškeré úsilí do šlechtění na toleranci vůči suchu a zasolení půdy. Šlechtí se na tyto čtyři důležité směry: vodní deficit, iontová toxicita a nerovnováha živin (Ashraf et Harris, 2005).

Gewin (2003) uvádí, že kukuřice je jednou z nejnovějších inovací lidstva. Lidé naučili křížit rostliny a pomalu vyšlechtili bujnou a produktivní moderní kukuřici ze zubaté nenáročné trávy nazývané teosinte.

Mnoho genotypů kukuřice je geneticky modifikováno pro rezistenci na herbicid glyfosát nebo pro produkci bílkovin z *Bacillus thuringiensis* (Bt) k usmrcení specifických hmyzích škůdců, či pro suchovzdornost (Corn, 2018).

Bt kukuřice snižuje potřebu pesticidů, a zatímco primární výhoda přichází převážně během výrazného zamoření kukuřice (Gewin, 2003). Sekundární efekt spočívá podle Gewin (2003) v tom, že se za těchto podmínek daří prospěšnému hmyzu mnohem lépe.

Přestože výzkumy, zaměřené na zlepšení odolnosti proti vodnímu stresu a efektivnosti využívání vody, jsou prováděny již řadu let, stále není jasný jejich mechanismus (Hong-Bo et. al., 2008).

Duvick et al. (2004) vytvořili hypotézu, že důležitou složkou dlouhodobého výnosu kukuřice, v americkém kukuřičném pásu, je nahromadění vícenásobných znaků, které přispívají k toleranci různých stresů, včetně sucha. Nejistili žádné specifické fyziologické rysy

přispívající ke zlepšení abiotické stresové tolerance, uznali sucho jako jeden z důležitých abiotických stresů.

Hammer et al. (2009) použili model plodin, aby poskytli důkaz, že zlepšení struktury a funkce kořenového systému, by zvýšily kapacitu kukuřice k získání dostupné půdní vody. Jsou to pravděpodobně kandidáti, kteří by přispěli k dlouhodobému zlepšení výkonnosti v období sucha.

Vedle nepřímých zlepšení výnosů při suchu, které byly spojeny s rozsáhlými zkouškami v různých podmínkách, vyskytujícími se v kukuřičném pásu centrálního USA, byla zahájena přímá selekce výnosových prvků za sucha v západní oblasti amerického kukuřičného pásu (Cooper et al., 2014).

3.1.2 GM kukuřice Evropa a USA

Vědci vyvinuli plodiny, které usnadňují zemědělcům kultivaci. V roce 1995 byla americkou agenturou pro ochranu životního prostředí po důkladném testování schválena první plodina produkující endotoxin Bt. O rok později byla schválena kukuřice Bt a nyní většina kukuřice v USA má gen toxinu Bt (Ye et al., 2000).

Koch et al. (2015) tvrdí, že Bt plodiny mají obrovský potenciál ke snížení používání syntetických i organických pesticidů. Kukuřici Bt mohou zemědělci snížit náklady spojené s ochranou proti chorobám a škůdcům a zvýšit svůj výnos. Obecně se uvádí, že Bt plodiny jsou spojeny s nižším použitím insekticidů, na základě průzkumů od roku 1998 do roku 2007.

V Evropě se k roku 2015 pěstovala GMO kukuřice nejvíce ve Španělsku, kde její plocha činila 120 000 ha. V ČR v roce 2016 pěstoval kukuřici pouze jeden pěstitel na 75 ha. V roce 2017 se již na území ČR modifikovaná kukuřice nepěstovala (eAGRI, 2009).

V ČR upravuje pěstování GMO zákon č. 78/2004 Sb., o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty (eAGRI, 2009).

V USA se oproti Evropě pěstuje geneticky modifikovaná kukuřice na ploše cca. 36 mil. ha (World of Corn, 2018).

Historie a současnost pěstování kukuřice seté

3.2.1 Historie a současnost pěstování kukuřice seté ve světě

Historie moderní kukuřice začíná zhruba před 10 000 lety. Kukuřice byla poprvé zavedena do kultury podél hranice mezi USA a Mexikem, přičemž původní plodina byla označována jako "teosinta" v Mexiku (Evolution of corn, 2013).

Teosinta pochází z Mexika, Guatemaly, Hondurasu a Nikaraguy. Kukuřice obecná (*Zea mays mays*) byla vyšlechtěna z Balsas teosinty (*Z. mays parviglumis*) a pochází z jižního Mexika v předkolumbijských dobách před více než 6000 lety. Teosinta je buď jednoletá, nebo vytrvalá rostlina. Jednoleté druhy silně připomínají domorodé kukuřice jejich velkou výškou a podobným samčím květenstvím. Nicméně, liší se malými palicemi ukrytých v úžlabí listů. Teosinta má vysokou odolnost proti virovým a houbovým chorobám, stejně jako proti hmyzím škůdcům.

Na obrázku 6 je vlevo předpokládaný předek „teosinta“ a napravo novodobá kukuřice.

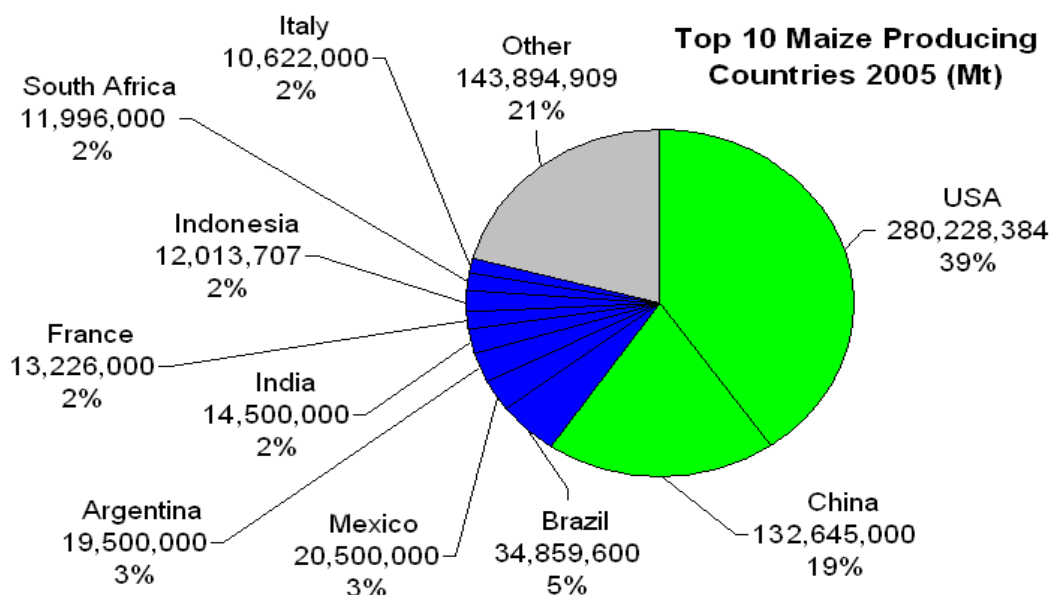


Obrázek 6 – Teosinte a novodobá kukuřice

Zdroj: Maize from El Gigante Rock Shelter shows early transition to staple crop, Penn State, 2015

Staří mexičtí zemědělci podnikli první kroky k domestikaci kukuřice, při sklizni semen, která poté vyseli. Tito zemědělci si všimli, že ne všechny rostliny jsou stejné. Některé rostliny byly větší než jiné nebo některá zrna chutnala lépe než z jiné rostliny. Zemědělci sklídili zrno z kukuřic, které splňovali jejich požadavky, a znovu je zaseli pro příští sklizeň. Tyto klasy se postupem času stávaly větší, s vyšším počtem zrn (Evolution of corn, 2013).

Kukuřice setá se pěstuje v šíři od Kanady a Ruska až po Jižní Ameriku a v současnosti se jedná o jednu z nejdůležitějších obilovin světa. Podle Shiferaw (2011) se v letech 2003-2008 každoročně produkce kukuřice zvýšila o 6,0 % v Asii, 5,0 % v Latinské Americe a 2,3 % v subsaharské Africe. Přičemž v Asii a Latinské Americe se meziročně plochy kukuřice zvýšily o 3,5 %. Největšími pěstiteli kukuřice na Zemi jsou podle (WorldAtlas, 2018) Spojené státy americké. V USA se ročně vyprodukuje téměř 377,5 milionů tun, což představuje 39 % z celkové světové roční produkce kukuřice, jak dokládá obr. 7. Z něho dále vyplývá, že dalším velkým světovým producentem kukuřice je Čína, která má 19 % z celkové produkce. Poté s menším zastoupením Brazílie a EU-27. A dále producenti, kteří mají zastoupení do tří procent a to Mexiko, Argentina a Indie.



Obrázek 7 –Světová produkce kukuřice seté (*Zea mays* L.)
Zdroj: Gramene: Zea production, 2005

3.2.2 Historie a současnost pěstování kukuřice v ČR

Přes některé kontroverze se ukázalo, že kukuřice byla poprvé dovezena do Evropy resp. do Španělska Kryštofem Kolumbem v roce 1493 (Rebourg et. al., 2002).

Byla brána jako ceněná užitková rostlina a od Španělů byla převzata do Francie a Itálie. Z těchto zemí se

dostala přes Černé moře do Ruska. Střední Evropu seznámili s kukuřicí pravděpodobně Romové. Na Slovensko a Moravu se plodina dostala pravděpodobně z Turecka a Rumunska (Vojtová, 2013).

Na území ČR v oblastech s teplým klimatem se vedle uvedených obilnin rozšířilo v novověku pěstování kukuřice. Jako import ze zámoří se sem dostala z italského nebo tureckého prostředí, jak o tom svědčí její lidové označení (turecké žito, turkyň) (Tempír, 1963).

Z panonské oblasti se pěstování kukuřice rozšířilo na jižní Moravu v 1. polovině 19. stol. Od té doby se zde začala intenzivně pěstovat. Kukuřičné zrno sloužilo jako krmivo pro dobytek, v menší míře také jako součást lidové stravy (kukuřičné kaše), jak uvádí Tempír (1963).

Podle Neubauera (1989) se na našem území kukuřice pěstuje na zrno a na siláž v podstatě dodnes. Kukuřici na zrno sklízíme především kvůli osivu, které bylo možno dál prodávat. Je známo, že v průběhu 20. století kukuřice zabírala plochu přes 200 000 ha. Nelze zapomenout na využití kukuřice pro krmné účely, které zabírali okolo 70 % a pro průmyslové účely.

V roce 2016 se v ČR pěstovala na 79 303 ha kukuřice na zrno a na 241 500 ha kukuřice na zelenou hmotu k silážování. U kukuřice na zrno se zdá být trend klesající, zatím co u kukuřice na zelenou hmotu je trend lehce stoupající (ČSÚ, 2017).

Obecná charakteristika stresů

Ve většině definic je stres považován za významnou odchylku od optimálního stavu života. Stres vyvolává změny a reakce ve všech funkčních úrovních organismu. Zpočátku mohou být tyto změny a reakce reverzibilní, ale mohou se také stát trvalými. Dokonce, i když je stresující událost pouze dočasná, vitalita rostliny se zhoršuje (Larcher, 2003).

Rozlišují se dva typy stresu: „eustres a distres“, které jsou představeny v psychologii (Lazarus, 1966).

Rovnováha mezi tolerancí a citlivostí může určit, zda použitý stresový faktor má pozitivní (eustres) nebo negativní (distres) účinek. Například, nedostatek vody způsobuje stres pro vegetativní pletiva rostlin a je smrtící pod bodem trvalého zvlhčování. Naproti tomu

deficit vody nad bodem trvalého zvlhčování nebo pro krátké časové období může vyvolat odolnost (hardening) rostliny (Gordon, 1992; Lichtenthaler, 1996).

Rejeb et al. (2014) uvádí, že rostliny na stres složitě reagují a zahrnují řadu fyziologických, molekulárních a buněčných adaptací. Kombinace abiotického a biotického stresu může mít pozitivní vliv na výkon rostliny snížením náchylnosti na biotický stres. Taková interakce mezi oběma typy stresu vede k příslušným signalizačním cestám. Tyto signály mohou být synergické nebo antagonistické a zahrnují mimo jiné zapojení fytohormonů, transkripčních faktorů, kinázových kaskád a reaktivních forem kyslíku (ROS). V některých případech může takový signál vést ke křížové toleranci a zvýšení odolnosti rostlin proti patogenům.

Rostliny podléhají v přirozeném prostředí trvalému vystavení různým biotickým a abiotickým stresům, proto si vyvinuly složité mechanismy pro vnímání vnějších signálů a umožnily tak reagovat na změny životního prostředí. Fytohormony jako kyselina salicylová (SA), kyselina jasmonová (JA), ethylen (ET) a kyselina abscisová (ABA) jsou endogenní látky s nízkou molekulovou hmotností, které primárně regulují odezvu rostlin proti biotickým a abiotickým stresům. Vytvářejí synergické nebo antagonistické akce, které jsou označovány jako signály (Fujita, 2006).

Larcher (2003) dále uvádí, že když se u rostliny dosáhne hranice schopnosti regulovat stres, tak se dosud latentní poškození rozvíjí v chronické onemocnění nebo nevratné poškození. Doslovný význam slova "stres" je dychtivost (odvozená z latinského *stringera*) nebo strach.

Podle Newtonových pohybových zákonů je síla vždy doprovázena opačnou silou. Jestliže tělo A působí na tělo B, pak musí tělo B vyvíjet sílu proti tělu A. Tyto dvě síly se nazývají akce a reakce a jsou součástí nesouvislého celku známého jako napětí. Když je rostlina vystavena stresu, tělo je v napjatém stavu. Vnější síla vytváří vnitřní síly mezi kontinuálními částmi těla, což vede ke změně velikosti nebo tvaru (Levitt, 1980).

Pochopení abiotického stresu u rostlin a jeho dopadu na reakci a adaptaci rostlin je velmi aktuální otázka v oblasti rostlinné biologie, která byla v poslední době motivována rostoucími obavami o produkci potravin v rámci změny klimatu.

Podle Blum (2016) je proto definice stresu a způsobu jeho vzájemného propojení s rostlinou zásadní pro vysledování příčiny, následku a adaptace ve svém skutečném fyziologickém a genomickém zázemí. Správné definice nejsou jen otázkou formality, ale

základním plánem pro výzkum směřem k pochopení tohoto jevu a jeho důsledkům při navrhování lepšího výzkumu a získávání správných závěrů. Jacob Levitt (1972), který se zabýval stresem u rostlin ve své době, nastínil klíčové pracovní definice abiotického stresu a stresové odolnosti, které byly v souladu se známou fyziologií stresu v té době a které byly přijaty jeho vrstevníky (Blum, 2016).

Např. efemerní rostliny klíčí, rostou a kvetou velmi rychle po sezónních deštích. Tímto způsobem dokončují svůj životní cyklus během období dostatečné vlhkosti a vytvářejí spící semena před nástupem suché sezóny. Podobně mnoho arktických rostlin rychle dokončilo svůj životní cyklus během krátkého arktického léta a přežilo v zimě ve formě semen. Vzhledem k tomu, že efemerní rostliny nikdy skutečně nezaznamenávají stres sucha nebo nízké teploty, tyto rostliny přežívají stresu prostředím tím, že se vyhýbají stresu. Mechanismy vyhýbání snižují dopad stresu, i když je stres přítomen v prostředí (Ördög et Zoltán, 2011).

Některé druhy dokáží přečkat nepříznivé období sucha ve formě podzemního přežívajícího orgánu a vyhnout se tak poškození rostlinného těla v důsledku působení sucha. Tyto hlízy, oddenky a bulvy mají velkou zásobní kapacitu vody (Nilsen a Orcutt, 1996).

Uvedení autoři konstatují, že vytrvalé druhy využívají vývojové plasticity, aby se vyhnuly sezóně s nedostatkem vody. Jde o fenomén opadu listů při suchu, které je známé například z mediteránních a pouštních oblastí. Listy se vyvinou v zimě, kdy je relativně vysoká dostupnost vody. Jak dochází k poklesu vodního potenciálu před svítáním ke konci jara a v létě, většina listů odpadne. Druhy opadavé za sucha přežijí periodu vodního stresu v dormantním stádiu.

Stres rostliny podle Ördög et Zoltán (2011) obvykle odráží náhlou změnu stavu prostředí. U stresově tolerantních druhů rostlin však expozice určitému stresu vede k aklimatizaci tohoto specifického stresu v závislosti na čase. Stres a aklimatizace rostlin jsou tak úzce propojeny. Stresově indukovaná modulace homeostázy může být považována za signál, aby rostlina iniciovala procesy potřebné pro vytvoření nové homeostázy spojené s aklimatizovaným stavem. Rostliny vykazují stresovou odolnost nebo stresovou toleranci vzhledem ke své genetické schopnosti přizpůsobit se stresu a vytvořit nový stav homeostázy. Navíc proces aklimatizace u stresově rezistentních druhů je obvykle reverzibilní po odstranění vnějšího napětí.

Jedním z nejvýznamnějších projevů environmentálního stresu v rostlinách je zvýšená produkce reaktivních kyslíkových radikálů (ROS). Tyto ROS způsobují buněčnou toxicitu. Jsou

to například sloučeniny jako superoxid, hydroxylový radikál, peroxy, alkoxy a hydroperoxy. Ascorbátperoxidáza (APX) je klíčovým antioxidačním enzymem těchto zachytávacích systémů. Katalyzuje konverzi H_2O_2 na H_2O za použití askorbátu jako elektronového dárce. Exprese APX je regulována v reakci na stres a při normálním růstu a vývoji rostlin. APX hraje klíčovou roli v antioxidačním enzymu při udržování buněčné homeostázy (Pandey et al., 2017).

Vodní stres

Deficit vody může být definován jako jakýkoliv obsah vody v pletivu nebo buňce, který je pod nejvyšším obsahem vody v rostlině (Larcher, 2003). Oproti tomu sucho je pojem podle Lloyd-Hughes (2014), která formuluje obecnou kvalitativní definici, že sucho je "deficit vody ve srovnání s normálními podmínkami". Vycházíme-li z lokální vodní bilance, tak se ukazuje, že univerzální popis sucha vyžaduje odkaz na zásobování vodou, poptávku a řízení. Stav sucha je prokázán na základě existence klimatologických norem pro množství procesně specifických termínů.

Sucho je obecné označení pro nedostatek vody v krajině. Je vyvoláno nedostatkem atmosférických srážek v důsledku výskytu suchých období a je ovlivňováno mnoha dalšími faktory, včetně antropogenních. Definice sucha proto není jednoznačná. K hodnocení jeho intenzity se používají různé indexy sucha:

- 0 – bez výskytu sucha,
- 1 – slabé sucho,
- 2 – mírné sucho,
- 3 – výrazné sucho,
- 4 – výjimečné sucho,
- 5 – extrémní sucho.

Můžeme přitom vycházet z několika hledisek, která na sebe navazují: meteorologické sucho vyvolává agronomické sucho (nedostatek vody v půdě), hydrologické sucho (sucho definované pro povrchové toky určitým počtem za sebou jdoucích dní, týdnů, měsíců i let) a

socioekonomické sucho (nedostatek pitné vody pro obyvatele, užitkové vody pro průmysl, nemožnost využívat hydroelektrárny). Sucho patří mezi největší meteorologicky podmíněná přírodní ohrožení zejména v chudých zemích (ČMeS, 2017).

Tate a Gustard (2000) shrnují různé techniky pro definování sucha. Hydrologové na rozdíl od ekonomů nebo sociálních vědců definují sucho v závislosti na nedostatcích vody v některé části hydrologického cyklu (srážky, vlhkost půdy, tok řek a podzemní vody), dopadu na veřejné zásobování vodou, zavlažování nebo výrobu vodní energie. Obecné rysy sucha jsou jejich závažnost, frekvence, trvání a prostorové rozměry.

Vliv vodního deficitu na rostliny

Rostliny vykazují řadu mechanismů, které snižují vliv vodního stresu na ně. Mezi hlavní mechanismy patří snížení ztráty vody díky zvýšené difúzní odolnosti, zvýšenému příjmu vody z hlubokých kořenových systémů a jejich efektivnímu využití a menšímu podílu šťavnatých listů, které snižují ztrátu při transpiraci. Jedná se např. o ionty draslíku, které patří mezi významná osmotika; ionty křemíku, které zlepšují rovnováhu buněčné vody (Farooq et al., 2009).

Nedostatek vody je vnímán primárně kořeny. Ty poté posílají signál k vyvolání reakce na sucho, aby maximalizovaly schopnost rostlin přežít (Galon et. al., 2018).

Sucho je hlavní faktor omezující symbiotickou fixaci dusíku (NF) při pěstování sóji. Vlivem působení vodního deficitu dochází ke snížení symbiotické fixace dusíku v kořenech soji, ale zároveň se zvyšuje množství aminokyselin a acylmočovin, jak dokládá práce Gil-Quintana et al. (2013).

Silná souvislost mezi vodním potenciálem listů, zpožděním kvetení a stabilitou membrány byla pozorována za sucha, jak dokládá práce Kumar et Kujur (2003). Podle nich sucho zpomaluje kvetení ve všech odrůdách rýže seté (*Oryza sativa* L.). Výrazné zpoždění kvetení souviselo s vyšší sterilitou klásků a nižší výtěžností. Zpoždění kvetení v důsledku sucha je silným indikátorem citlivosti na sucho. V rámci stresů rostliny vyvinuly značnou kapacitu ke zvládnutí nepříznivých environmentálních podmínek. Dostupnost vody představuje významný omezující faktor růstu a rozvoje rostlin. Strategie, které umožňují rostlinám vyrovnat se s nedostatkem vody, zahrnují rychlé reakce, jako je uzavření průduchů

a dlouhodobější změny metabolismu, růstu a vývoje. Ty zahrnují zrychlené stárnutí a opad spodních listů. Rychlost odezvy na stres zprostředkovávají fytohormony (Havlová et al., 2007).

Nízký vodní potenciál způsobuje snížení koncentrace endogenní kyseliny giberelové₁ a kyseliny giberelové₁₉ v hypokotylech sóji (Bensen et al., 1990).

Rostlinné látky, jako je kyselina salicylová, auxiny, gibereliny, cytokininy a kyselina abscisová, modulují reakce rostlin na sucho. Polyaminy, citrulin a několik enzymů (superoxid dismutáza a superoxid kataláza) působí jako antioxidanty a snižují nepříznivé účinky nedostatku vody (Farooq, 2009).

Cytokininy regulují růst a vývoj rostlin prostřednictvím komplexní sítě signalizace. Exprese genů huseníčka rolního (*Arabidopsis thaliana*) pro tvorbu isopentenyl-transferázy, podílejících se na biosyntéze bioaktivních cytokininů, byla potlačena stresem sucha a kys. abscisovou (ABA), což vedlo ke snížení obsahu biologicky aktivních cytokininů. Kromě toho, za normálních podmínek nedostatek cytokininů zvýšil citlivost rostlin na exogenní ABA. Toto způsobilo potlačení regulace klíčových genů biosyntézy ABA, čímž došlo k významnému snížení hladiny endogenní ABA v cytokinin-deficientních rostlinách (Nishyama et. al., 2011).

Nejvíce studovaný hormon s ohledem na vodní deficit je kyselina abscisová (ABA). Je obecně známo, že se její koncentrace zvyšuje v rostlinném pletivu, když je rostlina vystavena stresu z nedostatku vody nebo osmotickému stresu (Nilsen and Orcutt, 1996).

Galon et. al. (2018) Uvádí, že mutantní rajčata (*Solanum lycopersicum* L.) s konstitutivní reakcí na giberelin a jejich téměř isogenní linie 'Micro-Tom' (MT) byly použity pro zhodnocení úlohy signalizace kyseliny giberelové v komunikaci mezi kořenem a nadzemní částí rostliny při stresu suchem. Z jejich výsledků vyplynulo, že při nedostatku vody rajčata zpomalila svůj růst. Fyziologické důsledky stresu při suchu a indukce ABA v rostlinách mohou vést k opadu orgánů, dormanci, inhibici či stimulaci kvetení, uzavření průduchů, inhibici růstu, zvýšenému vodnímu potenciálu, heterofylii listů, zvýšené produkci trichomů a trnů, sníženému odnožování trav, zvýšenému poměru root/shoot, inhibici klíčivosti, snížené variabilitě pylu, zrychlení zrání embrya (Trewavas and Jones, 1991).

Stres suchem spouští biosyntézu kyseliny abscisové (ABA), což vede k její akumulaci. Podle Pospíšilové et al. (2005) bylo naakumulováno v listech kukuřice při vodním deficitu 410 ng.g⁻¹ (f.m.). Z výsledků Bray (1988) s mutanty rajčat ABA-deficientních vyplynulo, že během sucha se u nich nesyntetizují polypeptidy a translační produkty, které jsou syntetizovány

během sucha u nemutantních rostlin. U těchto rostlin je syntéza těchto látek regulována změnami v koncentraci ABA. Podle Nilsen et Orcutt (1996) toto vede ke změnám struktury membrány, které iniciují iontový transport, což vede ke ztrátě buněčného turgoru a následně k uzavření průduchů.

Nilsen and Orcutt (1996) dále uvádí, že vlivem dehydratace pletiv dochází ke zvýšení koncentrace etylénu. Během 6 hodin při působení stresu o hodnotách vodního potenciálu - 0,1; -1,17; -1,4; -1,68 a -1,83 MPa se zvýšila produkce etylénu v listech. Tento jev byl také zaznamenán u pomerančovníku (*Citrus sinensis*), jak uvádí Ben-Yehoshua a Aloni (1974).

Eklund et. al. (1988) zkoumali vztah mezi dostupností vody a produkcí ethylenu, který byl studován na 24-letých smrcích ztepilých (*Picea abies* (L.) Karst.). Z jejich výsledků nevyplývaly změny produkce ethylenu vyvolané suchem, což je v rozporu s obecným tvrzením o pozitivním vztahu mezi stresem při suchu a produkcí ethylenu.

Naopak Zhenzhu et al. (1995) studovali vývoj ethylenu a obsah polyaminů, který vzrostl při půdním suchu. S rozvojem sucha v půdě vzrostl obsah malondialdehydu a propustnost plazmalemy.

Na molekulární úrovni bylo identifikováno několik genů reagujících na suchu a transkripčních faktorů, jako je gen pro vazbu na elementy citlivých na dehydrataci, akvapaporiny, pozdní embryogeneze bohaté LEA proteiny a dehydriny (Farooq, 2009).

Nedostatek vody je vnímán primárně kořeny. Ty poté posílají signál k vyvolání reakce na suchu, aby maximalizovaly schopnost rostlin přežít.

Metabolismus rostlin je definován jako soubor fyzikálních a chemických reakcí a vztahů fotosyntézy, respirace a syntézy a degradace organických sloučenin. Fotosyntéza vytváří substráty pro dýchání a výchozí organické sloučeniny používané jako stavební kameny pro následnou biosyntézu nukleových kyselin, aminokyselin a proteinů, sacharidů a organických kyselin, lipidů a přírodních produktů. Sekundární metabolismus rostlin produkuje látky, které napomáhají růstu a rozvoji rostlin, ale nejsou nutné pro přežití rostliny (Plant, 2017).

Rostliny rostoucí v podmínkách vodního stresu nejvýrazněji mění uhlíkový metabolismus, syntézu aminokyselin a bílkovin, včetně buněčného dělení (Gil-Quintana et al., 2013).

Voda je důležitá pro růst a vývoj rostlin. Stres z nedostatku vody, trvalý nebo dočasný, omezuje růst a vývoj přirozené vegetace a výkonnost rostlin více, než jakékoliv jiné faktory

životního prostředí. Nedostatek vody je důležitým environmentálním omezením produkce rostlin. Vodním deficitem vyvolané ztráty produkce pravděpodobně překročí ztráty způsobené vlivem dalších faktorů, neboť vodní deficit ovlivňuje nejenom růst a vývoj rostlin, ale také jejich metabolismus (Hong-Bo et. al., 2008).

Nayyar a Gupta (2006) uvádí, že metabolické důvody spojené s citlivostí druhů rostlin C3 a C4 na stres vody nejsou dobře známy. Rostliny pšenice (*Triticum aestivum*) a kukuřice (*Zea mays*) byly vystaveny nízkému (-0,4 MPa), střednímu (-0,8 MPa) a silnému (-1,5 MPa) vodnímu stresu vyvolané PEG-6000 po dobu 7 dnů za kontrolovaných podmínek. Při nízkém stresu se oba rostlinné druhy významně neodlišovaly, střední a silný stres způsobily výrazné poškození pšenice ve srovnání s kukuřicí. Podle Sgherri a Navari-Izzo (1995) u mladých rostlin slunečnice (*Helianthus annuus* 'Licia Stella') dochází při mírné úrovni vodního stresu ke změně pružnosti membrány. Současně, v reakci na malý osmotický potenciál ($\Psi\pi$) a střední míru vodního potenciálu (Ψ_w) se zvyšuje hladina glutathionu a indukují se enzymatické aktivity související s cyklem askorbátu/glutathionu. Při silném stresu z nedostatku vody se účinnost tohoto obranného mechanismu snížila, zesílily se oxidační procesy a dále se snížil obsah rozpustných proteinů.

Azospirillum spp. jsou bakterie podporující růst rostlin (PGPB), které zvyšují růst několika mechanismy, včetně produkce fytohormonů, jako jsou kyselina abscisová (ABA), kyselina indol-3-octová (IAA) a gibereliny (GA). Jejich přítomnost může také zmírnit vodní stres rostliny. Byly popsány účinky *Azospirillum lipoferum* u rostlin kukuřice (*Zea mays* L.) ošetřených inhibitory syntézy ABA a GA, fluridonu (F) a prohexadionu-Ca (P (Cohen et. al., 2009).

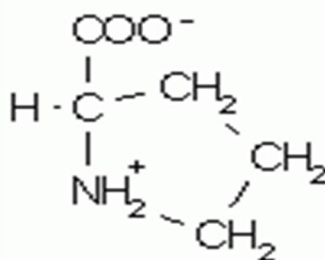
Blée (2002) tvrdí, že fytoxylipiny jsou metabolity produkované v rostlinách oxidační transformací nenasycených mastných kyselin prostřednictvím série rozdílných metabolických cest. Biochemická disekce a genetické přístupy poskytly přesvědčivý důkaz, že tyto okysličené deriváty se aktivně účastní mechanismů obrany rostlin. Během uplynulého desetiletí se zájem o tuto oblast soustředil na biosyntézu kyseliny jasmonové (jedna větev metabolismu C18 polynenasycených mastných kyselin) a na její vztah k ostatním rostlinným obranným signálním cestám.

Osmoticky aktivní látky

Jednou z látek, která může procházet cytoplazmatickou membránou volně, je voda, pohybující se na základě koncentračního spádu. Jedná se tedy o difuzi. Protože je tento pohyb velmi důležitý, dostal speciální název – osmóza. Pohyb vody se ustálí v okamžiku, kdy dojde k vyrovnání koncentrací obou roztoků. Voda naředí koncentrovanější roztok. Molekuly cukru (a stejně fungují i různé ionty nebo molekuly bílkovin) nazýváme osmoticky aktivní látky. Osmóza je tedy pohyb vody do místa s větší koncentrací osmoticky aktivních látek (Larcher, 2003).

Osmoticky účinné látky byly objeveny ve zvýšeném množství v rostlinných buňkách po vystavení buněk vodnímu stresu. Látky obsahují anorganické i organické ionty. Akumulace organických látek v reakci na stres může způsobit toxicitu, i když potenciální toxicita organických látek je často nižší než iso-osmotické hladiny anorganických iontů. Organické látky, např. prolin a glycin betain, chrání proteiny před dehydratací a ochrana je úměrná koncentrací těchto dvou látek (Jones et al. 1989).

Mezi osmoticky aktivní látky je řazena také aminokyselina prolin. Prolin vzniká hydrolýzou bílkovin. Jeho molekula, viz obr. 8, obsahuje sekundární aminovou skupinu (> NH) spíše než primární aminoskupinu (> NH₂), (Proline, 2018).



Obrázek 8 – Strukturní vzorec prolinu.

Zdroj: VŠCHT: Přehled strukturních vzorců, rok neznámí

V rostlinách je prolin podle Hayat et al. (2012) syntetizován dvěma cestami, tj. glutamátovou cestou a ornitinovou cestou. Glutamátová cesta představuje významnou akumulaci prolinu během osmotického stresu. Prolin je syntetizován z kyseliny glutamátové přes intermediární Δ^1 -pyrrolin-5-karboxylát (P5C). Reakce je katalyzována pomocí Δ^1 -pyrrolin-5-karboxylát syntetázy (P5CS) a Δ^1 -pyrrolin-5-karboxylátové reduktázy (P5CR). P5CS

je kódován dvěma geny, zatímco P5CR je kódován pouze jedním jako u většiny rostlinných druhů.

Uvedení autoři dále konstatují, že prolinový katabolismus je situován do mitochondrií. Zde dochází vlivem působení prolindehydrogenázy nebo prolinoxidas (PDH nebo POX) k tvorbě glutamátu. Tato reakce se děje přes produkci P5C z prolinu za součinnosti enzymu P5C dehydrogenázy (P5CDH), která přeměňuje P5C na glutamát. PDH transkripce je aktivována rehydratací a prolinem, ale potlačena dehydratací, čímž se zabrání degradaci prolinu během abiotického stresu. Prolin může být dále syntetizován z ornitinu, který je transaminován na P5C ornithinem-S-aminotransferázou. Ornitinová dráha je důležitá během vývoje semen a v některých rostlinách v průběhu působení stresu indukovanou akumulací prolinu.

Akumulace prolinu přispívá ke stresové toleranci mnoha způsoby. Protože prolin působí jako molekulární chaperon, je schopen udržet integritu proteinu a zvýšit aktivitu různých enzymů (Hayat et al. 2012).

Prolin může působit jako signalizační molekula, která moduluje funkce mitochondrií, ovlivňuje proliferaci buněk nebo buněčnou smrt a spouští specifickou expresi genu, což může být nezbytné pro obnovu rostliny ze stresu (Szabados and Saviouré, 2010).

Ashraf and Foolad (2007) uvádí, že prolin má pozitivní vliv na integritu enzymů a membrán spolu s adaptivními úlohami při osmotickém přizpůsobení rostlin pěstovaných za stresu. Alternativním přístupem je exogenní aplikace prolinu na rostliny za stresových podmínek, kdy dle Ashraf and Foolad (2007) např. u ječmene setého (*Hordeum vulgare* L.), kukuřice seté (*Zea mays* L.) a čiroku (*Sorghum* sp.), způsobuje významné zvýšení růstu a výnosu u stresovaných rostlin. Obdobné závěry ve své práci uvádí Hanson et. al. (1976) v případě ječmene.

Nedávné objevy Kavi Kishor et al. (2015) poukazují na to, že prolin hraje důležitou roli v růstu a diferenciaci rostlin v celém životním cyklu. Je to klíčový determinant mnoha proteinů buněčných stěn, které hrají důležitou roli při vývoji rostlin. Protein arabinogalaktan, proteiny bohaté na hydroxyprolin a prolin jsou důležitými složkami proteinů v buněčných stěnách, které hrají klíčovou roli v signální transdukci buněk, vývoji rostlin a stresové toleranci.

Osmoprotektanty s nízkou molekulovou hmotností, včetně glycinbetainu, prolinu a dalších aminokyselin, organických kyselin a polyolů, které jsou rozhodující pro udržení buněčných funkcí v období sucha (Farooq et al. 2009).

Mezi další osmoticky aktivní látky patří chlorid sodný, chlorid vápenatý, různé ionty (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), močovina a glukóza (Neumann et al., 2018).

Spalná kalorimetrie a její využití ve stresové fyziologii rostlin

Transformace sluneční energie na energii chemicky vázanou v organických sloučeninách, které tvoří přibližně 95 % sušiny, je základem pro tvorbu biomasy. Zbývajících přibližně 5 % tvoří nehořlavé části tj. popel (Hnilička et al. 2015).

Poměr nehořlavých částí se značně liší mezi jednotlivými rostlinnými orgány, stejně jako mezi rostlinami z různých pokusů např. Stražil (1998) uvádí, že energie obsažená v rostlinách je tvořena z 98 % energií získanou fotosyntézou.

Energie se hromadí a je uložena v organických sloučeninách uhlíku, což může být vyjádřeno jako výhřevnost. Výhřevnost může být definována jako energetický obsah biomasy. Při oxidaci se ztrácí energie ve formě tepla, ale uvolněný CO_2 může být při fotosyntéze opakovaně asimilován (Hnilička et al. 2015).

Erol et al. (2009) tvrdí, že biomasa je nejdůležitějším zdrojem výroby energie založené na obnovitelných zdrojích energie.

Biomasa byla vždy hlavním zdrojem energie pro lidstvo a v současné době se odhaduje, že přispívá k 10 až 14 % světové dodávky energie (McKendry, 2001).

Erol et al. (2009) konstatují, že spalování je hlavní aplikovaná technologie pro výrobu tepla a energie z biomasy a je obecně ekonomicky proveditelná. Spalování biomasy jako paliva má mnoho ekologických a ekonomických výhod. Je to levný, čistý a obnovitelný zdroj energie. Výhřevnost biomasy je údajem o chemicky vázané energii a v procesu spalování se přeměňuje na tepelnou energii. Výhřevnost je nejdůležitější vlastností paliva, která určuje její energetickou hodnotu. Konstrukce a řízení spalovací komory na biomasu silně závisí na výhřevnosti biomasy.

Tepelná analýza má nyní více než jedenáct desetiletí historie. Během této dlouhé historie byly vyvinuty různé techniky a v mnoha výrobcích byla použita tepelná analýza. V

současné době se aplikace termické analýzy rozšiřuje mezi minerály, anorganické látky, kovy, keramiku, elektronické materiály, polymery, organické látky, léčiva, potraviny a biologické organismy. Zatímco aplikace v každém z nich začala ve výzkumu, rozšiřuje se prostřednictvím vývoje do kontroly procesů a vlastností. Dnes je termální analýza základním nástrojem pro výzkum a vývoj materiálů, zatímco zabezpečení kvality je nyní jedním z "horkých témat" v tepelné analýze (Ozawa, 1999).

Jako termodynamická metoda má spalovací kalorimetrie široké spektrum použití v aplikované fyziologii rostlin. Vhodně kombinuje své fyzické vztahy s vlastnostmi živých organismů a poskytuje tak pevný přehled o výměně energie mezi rostlinou a jejími okolními podmínkami. Měření fotosyntetické rychlosti, vyjádřené změnami energetického obsahu, je srovnatelné s plynometrickými metodami, protože průběh fotosyntézy a energetický obsah v listech, závislých na jejich ontogenetickém vývoji, je podobný. Spalovací kalorimetrie umožňuje monitorovat změny akumulace živin a jejich translokaci mezi jednotlivými orgány rostliny (Hnilička et al., 2015).

Spalná kalorimetrie je metoda kombinující fyzikální termodynamiku s ostatními vědeckými disciplínami. Například se používá k hodnocení biomateriálu, v medicíně, v chemickém průmyslu, v produkci polymerů, skla a stavebního materiálu. Je také využíváno v energetice, produkci paliv a výbušnin. Spalovací kalorimetrie je nepostradatelnou v odpadovém hospodářství, v potravinářském a krmivářském průmyslu (Lamprecht, 1998).

Podle McGloin et al. (2018) jsou rostliny z energetického hlediska otevřeným systémem, neboť získávají energii z vnějších zdrojů. Tento vztah je možné matematicky definovat následujícím způsobem:

$$Q_n = I_v + I_i + I_m + F \pm H - I_e - E_x - T - R$$

Q_n	energetická bilance ekosystému, čistý příjem energie do ekosystému;
I_v	ozáření ve viditelném rozsahu;
I_i	ozáření v neviditelném rozsahu světelného spektra;
I_m	množství energie vázané v importovaných organických látkách;
F	energie fixovaná v hrubé primární produkci (fotosyntéza);
H	výměna tepla s okolím;
I_e	energie vyzařovaná ekosystémem (voda, půda, organismy) do prostoru;
E_x	množství energie vázané v exportovaných organických látkách;
T	energie použita v průběhu evapotranspirace
R	respirace a rozkladné procesy

Z uvedeného vztahu vyplývá bilance mezi energií přijatou ekosystémem a energií vydanou z ekosystému. Z energetického hlediska je velmi významný poměr mezi fotosyntézou a dýcháním, neboť pokud by se tento rozdíl rovnal nule, tak by rostlina nebo ekosystém byl v rovnováze energetické bilance (Kai et al., 2012).

Podle Hejnáka (2003), Hniličky et al. (2015) je kalorická hodnota sušiny rostliny určena jejím chemickým složením. V řadě případů by tedy mohlo být využito i chemických analýz pro kvalifikovanou představu o spalném teple v rostlině. Ovšem o fyziologických procesech, směrech transportu asimilátů v rostlině od zdrojů (source) do míst jejich spotřeby (sink) poskytují biochemické analýzy mnohem lepší a přesnější informace než spalná kalorimetrie jen s využitím izotopové techniky sledování metabolismu uhlíku v rostlině. Komplexní biochemická analýza suchého rostlinného materiálu je navíc velmi náročná analyticky i finančně. Spalná kalorimetrie je naproti tomu rychlá, analyticky na obsluhu nenáročná fyziologická metoda umožňující hodnocení fotosyntetické a produkční výkonnosti rostlin v průběhu vegetace a ve vztahu k podmínkám vnějšího prostředí.

Spalná kalorimetrie má podle Hejnáka (2003) široké spektrum využití, např.

1. V produkční, stresové a ekologické fyziologii rostlin při posuzování fotosyntetické výkonnosti (stanovení obsahu netto energie, tedy energie v gramu sušiny bez popelovin).
2. V pícninářství a krmivářství při studiu energetické (výživné) hodnoty krmení.
3. Při posuzování biologických materiálů jako alternativních paliv, resp. jako zdrojů obnovitelné energie.
4. V ekologických studiích zjišťování energetické bilance ekosystémů a rostlinných společenstev.

4 Metodika

V rámci pokusu se sledoval vliv vodního stresu a osmoticky aktivní látky prolinu na hmotnost sušiny a podíl spalného tepla v sušině juvenilních rostlin kukuřice.

Charakteristika pokusného materiálu

Do pokusu byly použity 3 linie kukuřice firmy RAGT. Osivo bylo získáno od firmy VP Agro. Mají stejného udržovatele odrůdy s číslem 1065.

Linie kukuřice RGT Lipexx má FAO 280. Byla registrována v roce 2016. Typ zrna této odrůdy je koňský zub. Je velmi vysoce tolerantní vůči suchu. V suchém roce 2015 měla v kategorii rané zrno ÚKZÚZ druhý nejvyšší výnos 10,34 t/ha = 109,4 % na kontroly. Má rychlé uvolňování vody ze zrna a rovnoměrně dozrává. Je to středně vysoká rostlina s klasickým postavením listů (Katalog odrůd, 2018).

Linie RGT Indexx má FAO 280. Byla registrována v roce 2011. Má velmi vysoký výnos zelené hmoty i suché hmoty na siláž i bioplyn a výborné parametry stravitelnosti i při vysokých výnosech. Růst této odrůdy je zpočátku rychlý a má dobrý zdravotní stav. Tato odrůda ale nesnáší sucho, proto se musí sít na pozemky s dobrou zásobou vody (Katalog odrůd, 2018).

RGT Sixxtus má FAO 270. Byla registrována v roce 2011. Je to špičkový univerzální hybrid s využitím na zrno i siláž. Intenzitu pěstování vrátí vysokým výnosem hmoty i zrna. Má výborné parametry stravitelnosti i při vysokých výnosech. Má vysokou odolností k poléhání (Katalog odrůd, 2018).

Založení pokusu

Rostliny kukuřice seté byly pěstovány za částečně řízených světelných a teplotních podmínek ve skleníku FAPPZ. Rostliny byly pěstovány v nádobách o objemu 25 l v homogenním substrátu balotiny. Jedná se o skleněné mikrokuličky, které jsou chemicky inertní, stálé a z hlediska toxikologického a ekologického hlediska zcela nezávadné. Balotinu

vyrábí např. firma Abranova s.r.o. Design pokusu zahrnoval čtyři varianty a 4 opakování. Kontrolní varianta KK byla zalévána pravidelně závlahovou dávkou 0,25 l vody. Vodní stres (SK) u stresovaných variant byl navozen postupným vysycháním substrátu po dobu 10 dnů. Poté se rostliny rehydratovaly.

V 0. dni při fázi 2-3 pravých listů byla provedena aplikace osmoticky aktivní látky ve formě postřiku na list. Jako osmoticky aktivní látka byla použita aminokyselina prolin o koncentraci 0,02 %. Prolin byl pořízen od firmy Sigma-Aldrich. Aplikovaná dávka byla 1 l.m⁻². Prolin byl na rostliny aplikován před zahájením působení stresu (varianta kontrola a varianta stres s postřikem – KP a SP). V rámci pokusu se uskutečnilo 5 odběrů. Pokus byl ukončen po 20. dnech. Rostliny byly během ontogenetického vývoje pohnojeny 2x Knopovým živným roztokem.

Metody měření fyziologických charakteristik

4.3.1 Stanovení hmotnosti sušiny

Hmotnost sušiny se stanovovala standardními metodami dle Šestáka a kol. (1960), kdy rostlinný materiál byl umístěn do sušárny a sušen při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti.

4.3.2 Stanovení spalného tepla

Metodou spalné kalorimetrie byl stanovován transport asimilátů a jejich translokace v rámci jednotlivých vegetativních orgánů.

Vzorky sušiny rostlinného materiálu se homogenizovaly na rychlomlýnku p-14 FRITCH na velikost částic 0,2 mm.

Obsah energeticky bohatých látek a transport asimilátů mezi jednotlivými rostlinnými orgány byl sledován metodou spalné kalorimetrie. Tato metoda je založena na úplném spálení vzorku rostlinného materiálu v 100% kyslíkové atmosféře, při tlaku 30 MPa. K měření byl použit suchý spalný adiabatický kalorimetr LAGET MS 10A (Laget, SRN). Pro stanovení spalného tepla rostlinného materiálu byly použity normy ČSN EN 14918 a ČSN ISO 1928.

Hodnota spalného tepla se vypočítá z opravného teplotního vzestupu a efektivní tepelné kapacity kalorimetru, se zřetelem na podíly energie při zapálení, spálení zapalovacího prostředku a tepelné účinky z vedlejších reakcí.

Hodnota výhřevnosti vzorku se vypočítá z hodnoty spalného tepla, zmenšené o výparné teplo vody, vzniklé z paliva během hoření - po započítání oprav (spalné teplo kyseliny sírové a kyseliny dusičné).

Pro výpočet spalného tepla byl použit následující vztah:

$$Q = \frac{(C \times Dt) - c}{mv - mp}$$

Kde: Q = spalné teplo ze vzorku

C = tepelná kapacita kalorimetru

Dt = celkový vzestup teploty (°C)

c = součet oprav (spalné teplo HNO₃ + H₂SO₄)

mv = hmotnost navážky vzorku

mp = hmotnost popelovin

5 Výsledky

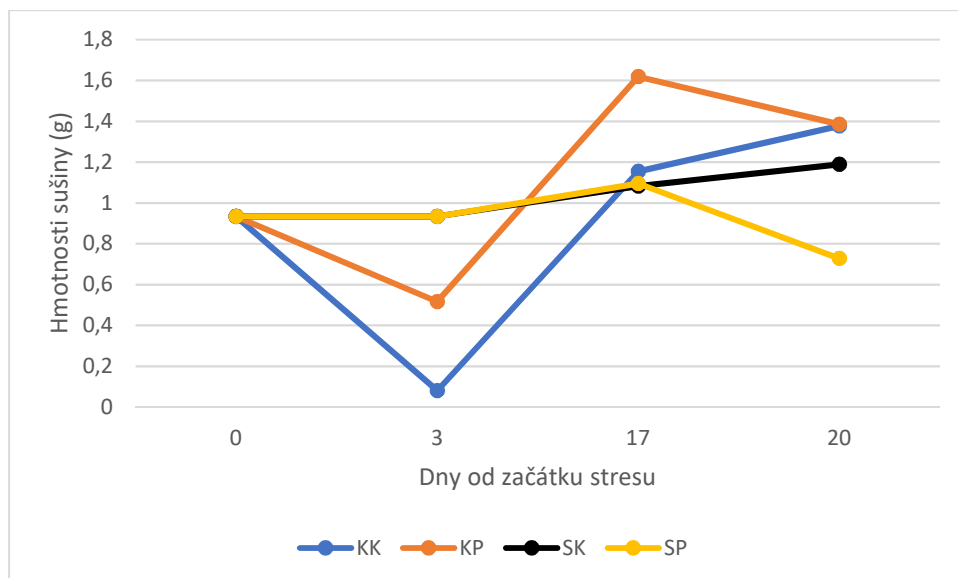
V našem pokusu byly používány zkratky variant, které se objevují i v následujících výsledcích. Jsou to následovně tyto zkratky: **KK** – kontrolní rostliny bez ošetření prolinem, **KP** – kontrolní rostliny s postřikem prolinu, **SK** – stresované rostliny bez ošetření prolinem, **SP** - stresované rostliny s postřikem prolinu.

Hmotnost sušiny kořenů

V grafu 1 jsou znázorněny hmotnosti kořenů hybridu RGT LIPEXX. Z daného grafu je patrné, že hmotnost sušiny kontrolních neošetřených rostlin byla v intervalu hodnot od 0,081 g (3. den) do 1,377 g (20. den). Ve třetím dnu měření byl zaznamenán pokles hmotnosti sušiny kořenů na hodnotu 0,081 g. Tento pokles byl poté vystřídán výrazným nárůstem až na hodnotu 1,155 g (17. den). Na konci pokusu byla hmotnost kořenů kontrolních neošetřených rostlin ve výši 1,377 g.

Po aplikaci prolinu se hmotnost sušiny kořenů kontrolních rostlin zvýšila na hodnotu 0,517 g. V porovnání s hmotností kořenů neošetřených rostlin se jednalo o 84,33% zvýšení hmotnosti. Zvýšení hmotnosti kořenů ošetřených kontrolních rostlin v porovnání s neošetřenou variantou bylo zaznamenáno i v následujícím termínu měření, kdy hmotnost kořenů činila 1,618 g. Rozdíl mezi ošetřenými a neošetřenými rostlinami byl 0,463 g, jak dokumentuje graf 1.

V případě rostlin stresovaných byla nejnižší hmotnost sušiny kořenů v 3. termínu (0,934 g) a naopak nejvyšší v 20. dni (1,190 g). Jak je patrné z grafu 1, tak dochází vlivem působení vodního stresu a následné rehydrataci k postupnému zvyšování hmotnosti kořenů. U rostlin stresovaných a ošetřených prolinem byl nejprve zaznamenán nárůst hmotnosti kořenů mezi počátkem pokusu (0,934 g) a 17. dnem (1,095 g). Poté následovalo snížení hmotnosti kořenů na hodnotu 0,728 g. V porovnání s kontrolními rostlinami se na stresované rostliny neprojevil pozitivní vliv prolinu.



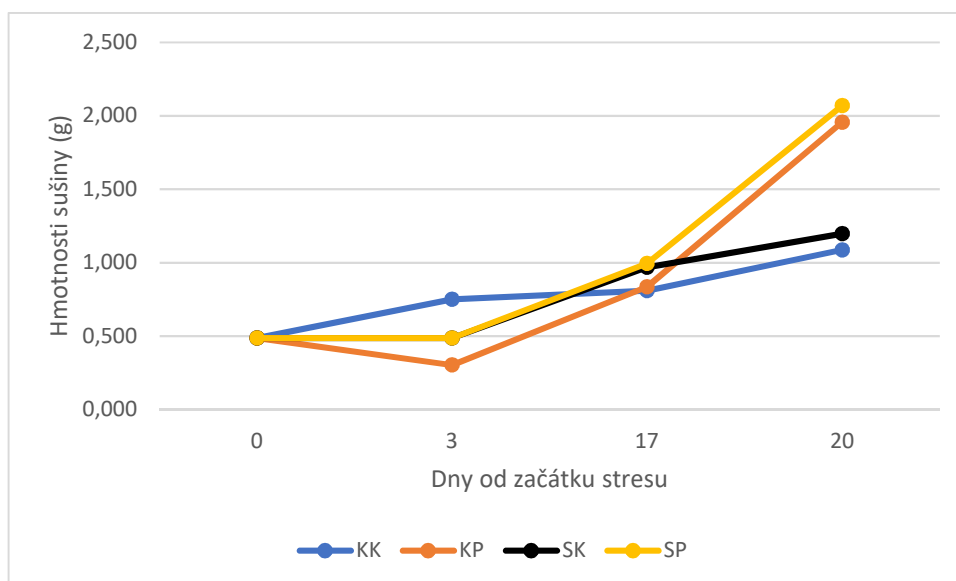
Graf 1 – Hmotnost sušiny kořenů u hybridu RGT LIPEXX

V grafu 2 je znázorněna hmotnost sušiny kořenů hybridu RGT INDEXX. Kontrolní neošetřené rostliny (KK) nabývaly hodnot hmotností sušiny v intervalu od 0,488 g (0. den) do 1,088 g (20. den)

Třetí den se hmotnost sušiny kořenů kontrolních, neošetřených rostlin zvýšila oproti 0. dni o 53,89 % na hodnotu 0,751 g. Tento nárůst hmotnosti sušiny kořenů pokračoval až do konce pokusu, kdy na jeho konci byla hmotnost sušiny kořenů 1,088 g.

Po aplikaci prolinu se 3. den hmotnost sušiny kořenů snížila na hodnotu 0,304 g. Pokud to porovnáme s neošetřenou kontrolou tak se jedná o pokles ve výši 59,52 %. Od tohoto termínu měření až do konce pokusu se opět hmotnost kořenů kontrolních ošetřených rostlin zvyšovala až na hodnotu 1,957 g. I u tohoto hybridu byl zaznamenán pozitivní vliv aplikace prolinu na hmotnost kořenů kontrolních rostlin, jak dokládá graf 2.

Hmotnost kořenů stresovaných rostlin bez ošetření (SK) narůstala výrazněji od počátku pokusu až do 17. dne (0,970 g). Pozvolnější nárůst hmotnosti kořenů stresovaných rostlin je patrný až do konce sledovaného období, kdy hmotnost kořenů byla 1,198 g. U rostlin stresovaných a ošetřených prolinem byl nejprve zaznamenána stagnace hmotnosti kořenů mezi počátkem pokusu (0,488 g) a 3. dnem (0,488 g). Od tohoto termínu až do konce pokusu se hmotnost kořenů výrazně zvyšovala. Ve 20. dnu pokusu byla hmotnost kořenů 2,070 g, viz graf 2. V porovnání s neošetřenými rostlinami se hmotnost kořenů zvýšila o 72,79 %. U tohoto genotypu byla zaznamenána shodná reakce kontrolních a stresovaných rostlin na aplikaci prolinu.

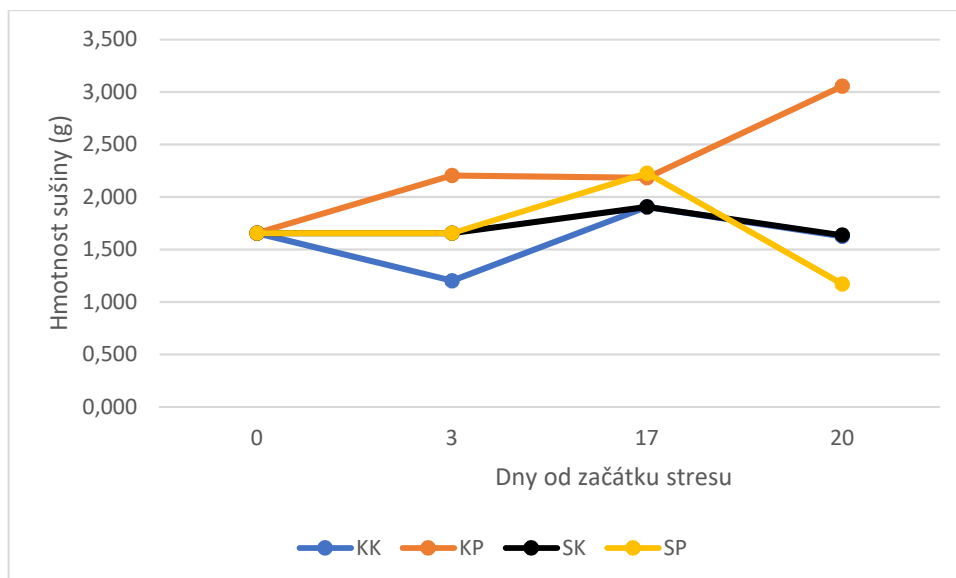


Graf 2 – Hmotnost sušiny kořenů u hybridu RGT INDEXX

Z grafu 3 je patrný vývoj hmotnosti sušiny kořenů hybridní kukuřice RGT SIXXTUS v závislosti na variantě pokusu a délce jeho trvání. Neošetřené kontrolní rostliny měly hmotnost sušiny kořenů v intervalu od 1,203 g (3. den) do 1,907 g (17. den). Na začátku pokusu byla hmotnost kořenů 1,658 g. Poslední den pokusu se sušina kontrolních neošetřených rostlin snížila na hodnotu 1,627 g.

U kontrolních rostlin ošetřených prolinem je patrný nárůst hmotnosti sušiny kořenů 3. den (2,204 g) ve srovnání s počátkem pokusu (1,658 g). Aplikace prolinu zvýšila hmotnost sušiny kořenů o 45,42 %. Poslední den pokusu byl u rostlin ošetřených prolinem (KP) zaznamenán výrazný nárůst sušiny na hodnotu 3,056 g. Jedná se o hodnotu, která je o 1,429 g (87,83 %) vyšší, než měly rostliny neošetřené, viz graf 3.

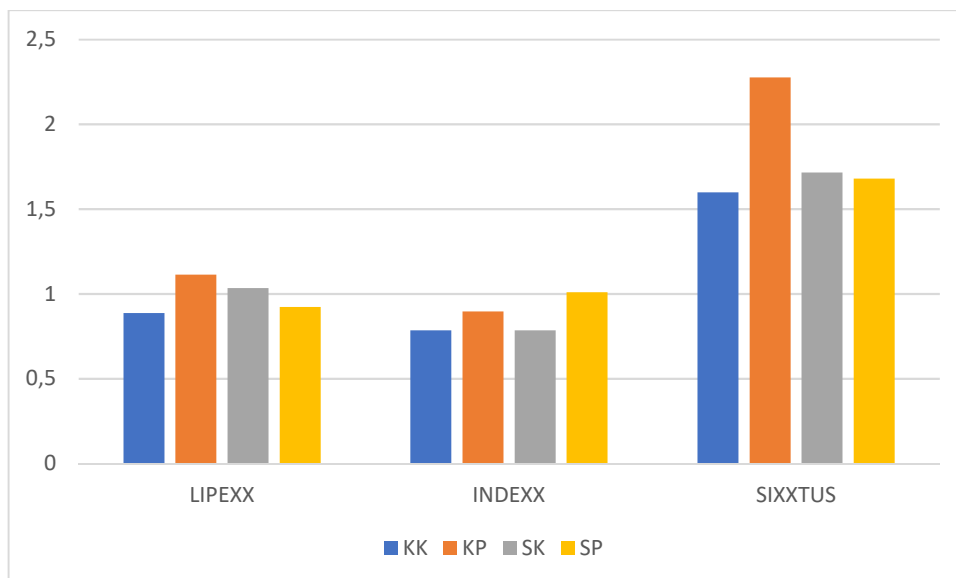
Z uvedeného grafu dále vyplývá, že v případě rostlin stresovaných se hmotnost sušiny zvyšovala až do 17. dne, neboť interval naměřených hodnot sušiny kořenů v tomto období byl 1,658 g (0. den) až 1,907 g (17. den). Na konci pokusu se shodně s předcházejícím genotypem hmotnost sušiny snížila (1,637 g). U rostlin ošetřených prolinem (SP) se hmotnost sušiny kořenů také zvyšovala do 17. dne (2,228 g), přičemž 3. den pokusu (1,658 g) bylo zaznamenáno snížení hmotnosti o 0,57 g ve srovnání s předchozím odběrem. Nárůst hmotnosti kořenů byl na konci pokusu vystřídán výrazným poklesem až na úroveň 1,172 g.



Graf 3 – Hmotnost sušiny kořenů u hybridu RGT SIXXTUS

V grafu 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty hmotnosti kořenů v závislosti na variantě pokusu a genotypu.

Z grafu 4 je patrné, že varianta neošetřených kontrolních rostlin vykazuje interval hodnot sušiny kořenů od 0,784 g (RGT INDEXX) do 1,599 g (RGT SIXXTUS). V případě neošetřených stresovaných rostlin byla nejnižší hmotnost kořenů zaznamenána u genotypu 0,786 g (RGT INDEXX) a naopak nejvyšší u hybridu RGT SIXXTUS (1,715 g). Jak z uvedeného grafu vyplývá, na stres suchem zvýšením hmotnosti sušiny kořenů nejvýrazněji reagoval hybrid RGT SIXXTUS (1,715 g) a nejméně RGT INDEXX (0,786 g). Na aplikaci prolinu u kontrolních rostlin nejlépe reagoval genotyp RGT SIXXTUS, u něhož byla hmotnost sušiny také nejvyšší (2,276 g). Nejnižší hmotnost vykazoval genotyp RGT INDEXX (0,896 g). V porovnání s neošetřenou kontrolou se jednalo o zvýšení 42,34 % a 14,29 %. Také u rostlin stresovaných reagoval hybrid RGT INDEXX pozitivně na aplikaci prolinu, protože v porovnání s neošetřenou variantou zvýšil hmotnost kořene o 0,224 g na 1,010 g. Naopak nejméně citlivě reagoval genotyp RGT LIPEXX, u něhož se naopak hmotnost sušiny kořene v porovnání s neošetřenými rostlinami snížila o 0,112 g na 0,923 g, jak dokumentuje graf 4.



Graf 4 - Celkové porovnání průměrů hmotností sušiny u kořenů hybridů a jejich variant

Hmotnost sušiny nadzemní biomasy

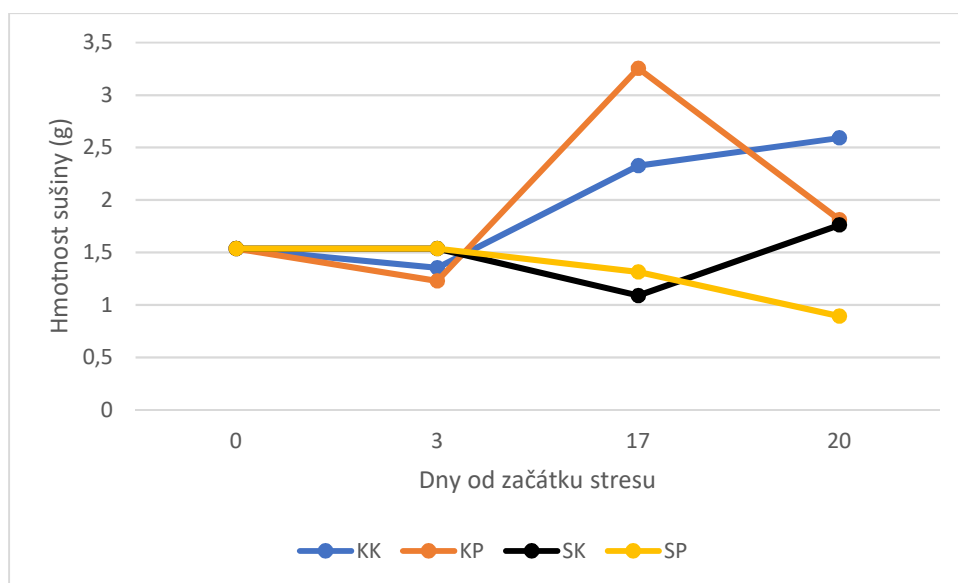
V grafu 5 je znázorněn vývoj hmotnosti sušiny nadzemní biomasy hybridu RGT LIPEXX v rámci variant a termínu odběru.

Neošetřené kontrolní rostliny (KK) nabývaly hodnot hmotnosti sušiny nadzemní biomasy od 1,355 g (3. den) do 2,592 g (20. den). Od začátku pokusu je patrný pokles hodnot sušiny do 3. Dne, kdy se hmotnost snížila z 1,537 g do 1,355 g. Hmotnost sušiny se snížila o 0,182 g (11,84 %). V následujících termínech odběru se již hmotnost sušiny zvyšovala, přičemž výraznější nárůst byl zaznamenán 17. Den, kdy se hmotnost zvýšila o 41,82 %, na hodnotu 2,329 g. Na konci pokusu byla hmotnost sušiny 2,592 g.

V případě kontrolních rostlin ošetřených prolinem (KP) bylo zaznamenáno 3. den snížení hmotnosti sušiny o 0,125 g. Tento propad byl opět vystřídán nárůstem sušiny na hodnotu 3,255 g (17. den). Oproti neošetřeným rostlinám je to nárůst o 0,926 g (28,45 %). Avšak na konci pokusu se hmotnost sušiny snížila na hodnotu 1,813 g, viz graf 5.

V grafu 5 je dále znázorněn průběh tvorby sušiny nadzemní biomasy u stresovaných rostlin. Do 3. dne pokusu byla hmotnost sušiny 1,537 g, ale v 17. dnu se hmotnost sušiny snížila na 1,091 g. Tento pokles byl vystřídán na konci pokusu zvýšením hmotnosti sušiny na hodnotu 1,762 g. Postřik prolinem negativně ovlivňoval stresované rostliny. Od počátku

pokusu až do 3. dne měly testované rostliny hmotnost 1,537 g. Další termín se tato hodnota snížila na 1,316 g a poslední termín pokusu už jejich hmotnost byla 0,894 g.



Graf 5 – Hmotnost sušiny nadzemní biomasy hybridu RGT LIPEXX

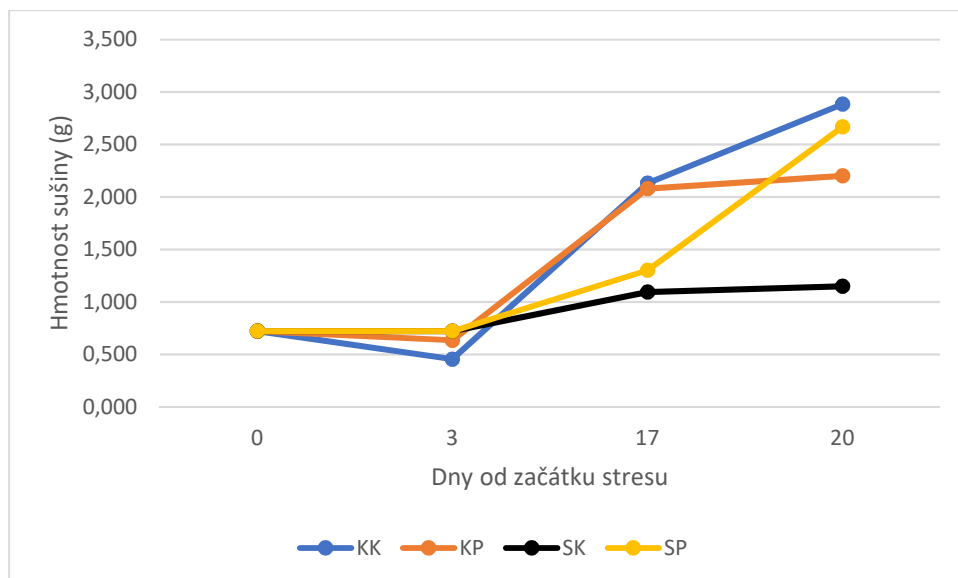
V grafu 6 jsou uvedeny hmotnosti sušiny nadzemní části všech variant hybridu RGT INDEXX.

Na počátku pokusu měly kontrolní neošetřené rostliny hmotnost sušiny 0,723 g. Tato hodnota se další termín snížila o 0,267 g (36,93 %). Následně se 17. den hmotnost sušiny nadzemní části zvýšila na hodnotu 2,133 g. Zvýšení hmotnosti sušiny bylo zaznamenáno do konce pokusu.

U kontrolních rostlin ošetřených prolinem byla na počátku pokusu hodnota sušiny nadzemní části 0,723 g. Tato hodnota se následně snížila o 0,087 g. Rostliny na postřik zareagovaly až pozdější termín (17. den), kdy zvýšily svou hmotnost nadzemní biomasy na hodnotu 2,080 g. Tento trend byl zaznamenán i na konci pokusu.

Stresované rostliny bez postřiku prolinem (SK) měly na počátku pokusu hmotnost. Shodně s kontrolními rostlinami se hmotnost sušiny zvýšila 17. den pokusu a 20. den pokusu. V těchto termínech odběru byla hmotnost sušiny 1,094 g a 1,151 g.

U ošetřených stresovaných rostlin se vliv aplikace prolinu projevil zvýšením hmotnosti sušiny, neboť na počátku pokusu byla hmotnost sušiny 0,723 g. Shodně s neošetřenými rostlinami se sušina zvýšila 17. den (1,303 g) a 20. den (2,670 g).



Graf 6 – Hmotnost sušiny nadzemní biomasy hybridu RGT INDEXX

V grafu 7 jsou uvedeny změny hmotnosti sušiny nadzemní biomasy hybridu RGT SIXXTUS v závislosti na termínu a variantě pokusu.

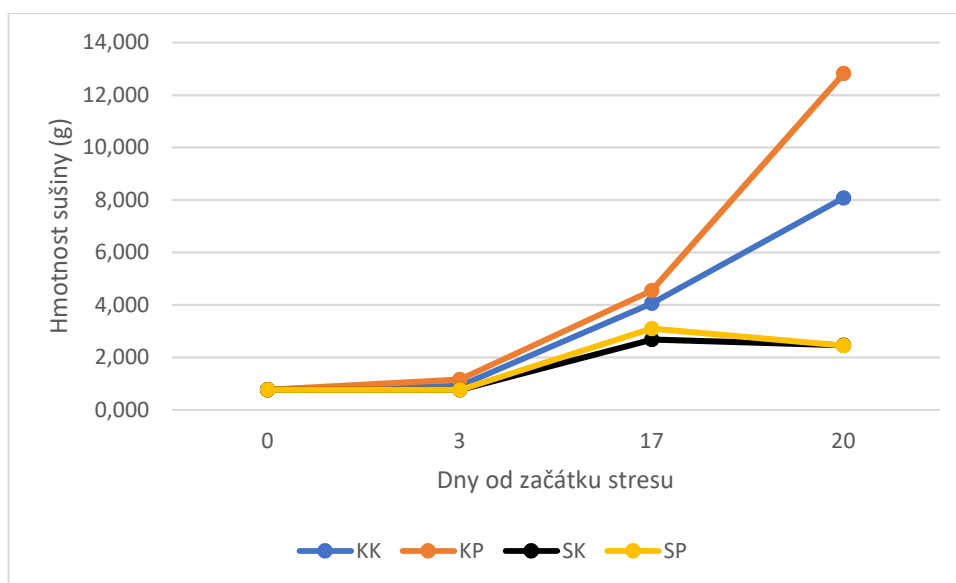
Z uvedeného grafu je patrné, že hmotnost sušiny kontrolních rostlin se pohybovala v intervalu od 0,768 g (0. den) do 8,082 g (20. den). Shodně s předcházejícími genotypy, tak i v případě hybridu RGT SIXXTUS se nejprve hmotnost sušiny snížila, ale v následném termínu již bylo zaznamenáno její zvýšení na hodnotu 4,069 g. Na konci pokusu byla hmotnost sušiny 8,082 g.

U kontrolních rostlin ošetřených prolinem (KP) byla počáteční hodnota sušiny nadzemní biomasy 0,768 g. Oproti předcházejícím genotypům se u genotypu RGT SIXXTUS hmotnost sušiny zvyšovala až do konce pokusu, jak dokládá graf 7. Na konci pokusu byla hmotnost sušiny nadzemní biomasy 12,824 g. Tato hmotnost byla ve srovnání s předcházejícím termínem odběru o 8,276 g vyšší, přičemž tento nárůst představoval v procentickém vyjádření zvýšení o 181,97 %.

Stresované rostliny neošetřené prolinem měly na počátku pokusu hmotnost sušiny 0,768 g. Zvýšení hmotnosti sušiny bylo zaznamenáno až v 17. dni, kdy hmotnost sušiny byla 2,682 g. Toto zvýšení hmotnosti bylo na konci pokusu vystřídáno poklesem, neboť hmotnost sušiny byla v tomto termínu 2,468 g.

Obdobný trend v tvorbě sušiny vykazují také stresované rostliny, které byly ošetřeny postřikem prolinu (SP). U těchto rostlin byla na počátku pokusu hmotnost sušiny ve výši

0,768 g. Hmotnost sušiny se vlivem aplikace prolinu zvýšila 17. den, kdy dosáhla hodnoty 3,103 g. Poslední den pokusu byl zjištěn pokles hmotnosti o 0,65 g, na hodnotu 2,670 g.

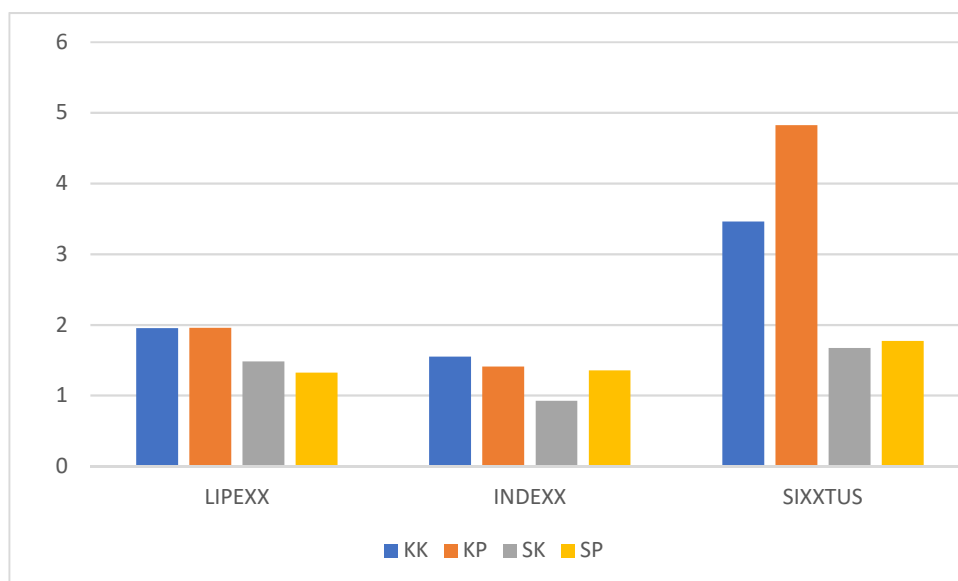


Graf 7 – Hmotnost sušiny nadzemní biomasy hybridu RGT SIXXTUS

Porovnání průměrů hmotností sušiny všech genotypů a variant u nadzemní části rostlin je uveden v grafu 8.

Z něho je patrné, že hmotnost sušiny nadzemní biomasy kontrolních, neošetřených rostlin se pohybovala v rozpětí hodnot od 1,549 g (RGT INDEXX) do 3,459 g (RGT SIXXTUS). U neošetřených stresovaných rostlin vykazuje nejnižší hmotnost sušiny hybrid INDEXX (0,923 g) a nejvyšší hybrid RGT SIXXTUS (1,672 g), viz graf 8. Z tohoto grafu dále vyplývá, že stres snížil hmotnost sušiny pokusných genotypů ve srovnání s kontrolou. Nejvyšší rozdíl mezi těmito variantami byl zaznamenán u hybridu RGT SIXXTUS (1,787 g) a naopak nejnižší u hybridu RGT LIPEXX (0,471 g).

Po aplikaci prolinu u kontrolních rostlin (KP) byl nejvyšší nárůst hmotnosti sušiny naměřen u hybridu RGT SIXXTUS (4,825 g) a na straně druhé nejnižší nárůst byl zaznamenán u genotypu RGT INDEXX (1,411 g) i přesto, že tento hybrid reagoval velmi pozitivně na aplikaci prolinu. Při srovnání s kontrolními ošetřenými rostlinami vykazuje genotyp RGT SIXXTUS vyšší hmotnost sušiny o 39,49 %. Naopak hybrid RGT INDEXX reagoval na postřik prolinem poklesem hmotnosti sušiny o 8,9 %. Nejméně citlivě na aplikaci prolinu reagovaly rostliny hybridu RGT SIXXTUS. U tohoto genotypu byl rozdíl mezi neošetřenými a ošetřenými rostlinami 0,101 g.



Graf 8 - Celkové porovnání průměrů hmotností sušiny u nadzemní části hybridů a jejich variant

Obsah spalného tepla kořenů

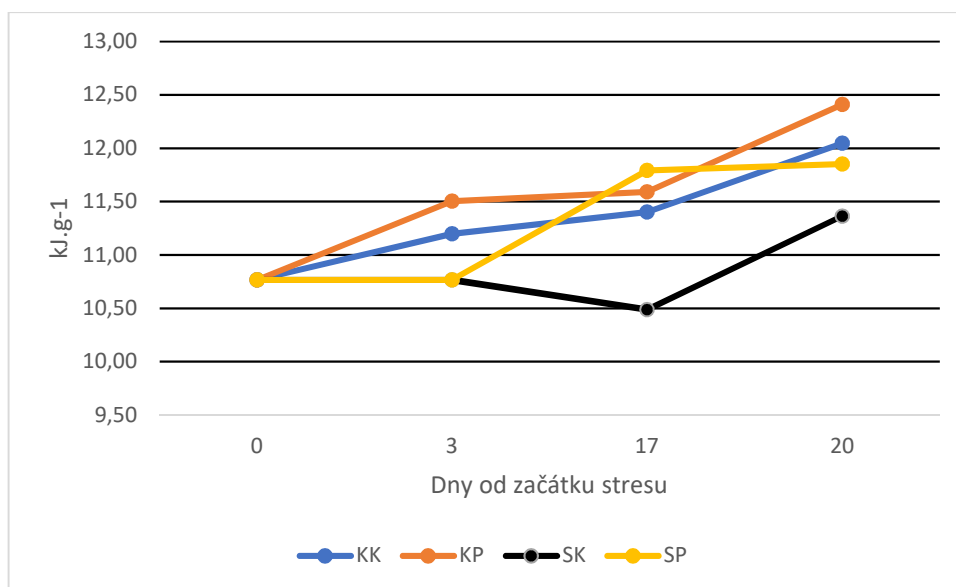
V grafu 9 jsou uvedeny hodnoty spalného tepla kořenů linie RGT INDEXX v rámci působení vodního deficitu a varianty pokusu. Z něho vyplývá, že hodnota spalného tepla se pohybovala v intervalu hodnot od $10,49 \text{ kJ.g}^{-1}$ (17., SK) do $12,41 \text{ kJ.g}^{-1}$ (20., KP). V případě kontrolních rostlin (KK) je možné konstatovat, že obsah energie kořenů se v průběhu pokusu zvyšoval, neboť nejnižší hodnota byla zaznamenána na počátku pokusu ($10,77 \text{ kJ.g}^{-1}$) a naopak nejvyšší na konci ($12,05 \text{ kJ.g}^{-1}$).

Po aplikaci prolinu na kontrolní rostliny (KP) bylo zaznamenáno nejprve zvýšení obsahu energie, a to 3. den ($11,50 \text{ kJ.g}^{-1}$), které bylo poté vystřídáno stagnací v následujícím termínu odběru ($11,59 \text{ kJ.g}^{-1}$). Shodně s předcházejícími variantami se obsah energie zvýšil na konci pokusu o $0,82 \text{ kJ.g}^{-1}$ (7,08 %) ve srovnání s předchozím odběrem. Obsah energie v kořenech kontrolních rostlin po aplikaci prolinu byl na konci pokusu vyšší o $0,36 \text{ kJ.g}^{-1}$ než u rostlin neošetřených, jak dokumentuje graf 9.

U rostlin stresovaných (SK) se na počátku působení vodního stresu obsah energie v porovnání s obdobím před zahájením pokusu neměnil, protože 3. den působení stresu byla hodnota spalného tepla $10,77 \text{ kJ.g}^{-1}$. Výrazný pokles obsahu energie kořenů stresovaných

rostlin byl zjištěn 17. den, kdy se v porovnání s předcházejícím termínem měření obsah energie snížil o $0,28 \text{ kJ.g}^{-1}$. Naopak na konci pokusu se obsah energie zvýšil o $8,29 \%$, na hodnotu $11,36 \text{ kJ.g}^{-1}$, ale tato hodnota byla o $0,68 \text{ kJ.g}^{-1}$ nižší než u kontrolních rostlin, jak dokládá graf 9.

Z uvedeného grafu je dále patrný vliv aplikace prolinu na obsah energie kořenů stresovaných rostlin (SP), neboť u nich se nejprve hodnota $10,77 \text{ kJ.g}^{-1}$, ale tato stagnace byla poté vystřídána výrazným nárůstem v 17. dni. V tomto termínu odběru byl obsah energie ve výši $11,79 \text{ kJ.g}^{-1}$ a 20. den $11,85 \text{ kJ.g}^{-1}$. Také v případě rostlin stresovaných byl zaznamenán nárůst obsahu energie kořenů po aplikaci prolinu v porovnání s neošetřenými rostlinami. Tento nárůst činil $0,49 \text{ kJ.g}^{-1}$ ($4,31 \%$).

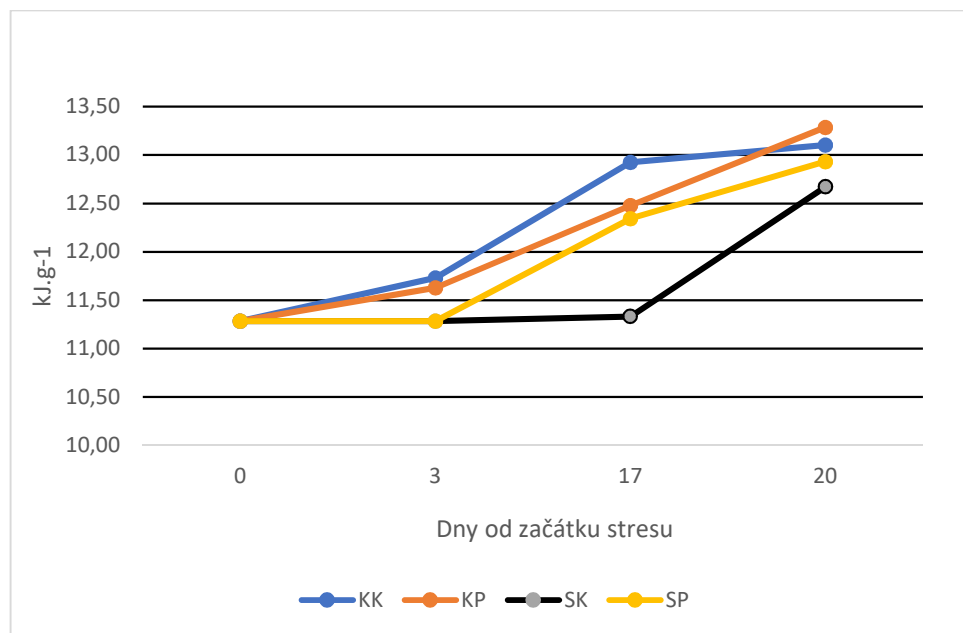


Graf 9 – Podíl spalného tepla u kořenů variant hybridu RGT INDEXX

Graf 10 zobrazuje změny spalného tepla kořenů hybridu RGT LIPEXX v závislosti na termínu odběru a variantě pokusu. V 0. den odběru měly všechny varianty pokusu hodnotu spalného tepla kořenů ve výši $11,28 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Z grafu 10 je patrné, že nejnižší hodnoty spalného tepla kořenů neošetřených kontrolních rostlin jsou $11,28 \text{ kJ.g}^{-1}$ (0. den) a nejvyšší hodnota je $13,10 \text{ kJ.g}^{-1}$ (20. den). U kontrolních rostlin s postřikem aplikace prolinu spíše negativně ovlivnila hodnoty spalného tepla. Ve 3. dni měly kontrolní rostliny spalné teplo ve výši $11,73 \text{ kJ.g}^{-1}$, oproti rostlinám s postřikem to byl rozdíl $0,10 \text{ kJ.g}^{-1}$. V 17. den už tento rozdíl činil $0,45 \text{ kJ.g}^{-1}$, protože hodnota spalného tepla ošetřených rostlin byla $12,48 \text{ kJ.g}^{-1}$. Naopak na konci pokusu bylo

zaznamenáno zvýšení obsahu energie kořenů ošetřených rostlin v porovnání s neošetřenou kontrolou. V tomto termínu byla hodnota spalného tepla kořenů u ošetřených rostlin vyšší o $0,18 \text{ kJ.g}^{-1}$. Na druhé straně stresované rostliny reagovaly pozitivně na aplikaci prolinu, protože na počátku pokusu byla hodnota spalného tepla $11,28 \text{ kJ.g}^{-1}$ (3. den). Avšak ke konci pokusu se spalné teplo ošetřených stresovaných rostlin zvýšilo, v 17. dni byla hodnota spalného tepla ošetřených rostlin o $1,01 \text{ kJ.g}^{-1}$ ($11,33 \text{ kJ.g}^{-1}$) vyšší než u neošetřených rostlin a na konci pokusu $12,67 \text{ kJ.g}^{-1}$, jak dokládá graf 10.

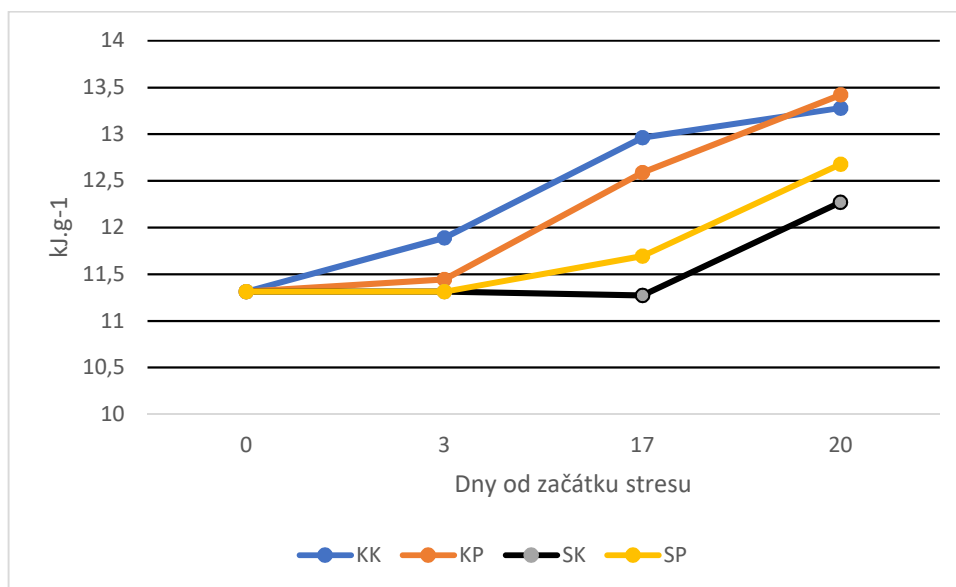


Graf 10 – Podíl spalného tepla u kořenů variant hybridu RGT LIPEXX

Hodnoty spalného tepla kořenů hybridu RGT SIXXTUS jsou uvedeny v grafu 11. Z něho vyplývá, že v 0. dni byla hodnota spalného tepla $11,31 \text{ kJ.g}^{-1}$. U kontrolních rostlin neošetřených je možné zaznamenat nárůst hodnot spalného tepla v průběhu ontogenetického vývoje rostlin, protože naměřený interval hodnot spalného tepla byl od $11,31 \text{ kJ.g}^{-1}$ (0. den) do $13,28 \text{ kJ.g}^{-1}$ (20. den). Podobný trend v nárůstu hodnot spalného tepla byl také zaznamenán u rostlin ošetřených prolinem. Po ošetření prolinem byla hodnota spalného tepla ošetřených kontrolních rostlin $11,31 \text{ kJ.g}^{-1}$ a na konci pokusu $13,42 \text{ kJ.g}^{-1}$.

V případě rostlin stresovaných neošetřených došlo vlivem působení vodného stresu ke snížení hodnot spalného tepla, které trvalo i do počátku rehydratace. V tomto období byl naměřený interval hodnot spalného tepla od $11,27 \text{ kJ.g}^{-1}$ (17. den) do $12,27 \text{ kJ.g}^{-1}$ (20. den). Zvýšení obsahu energie v důsledku rehydratace bylo zaznamenáno na konci pokusu, kdy

obsah energie byl $12,27 \text{ kJ.g}^{-1}$, viz graf 11. Naproti tomu u rostlin stresovaných ošetřených prolinem dochází již bezprostředně po jeho aplikaci ke zvýšení hodnoty spalného tepla o $0,38 \text{ kJ.g}^{-1}$ (17. den) v porovnání se zahájením pokusu. Zvyšování obsahu energie u této varianty je možné zaznamenat až do konce pokusu (20. dne).



Graf 11 – Podíl spalného tepla u kořenů variant hybridu RGT SIXXTUS

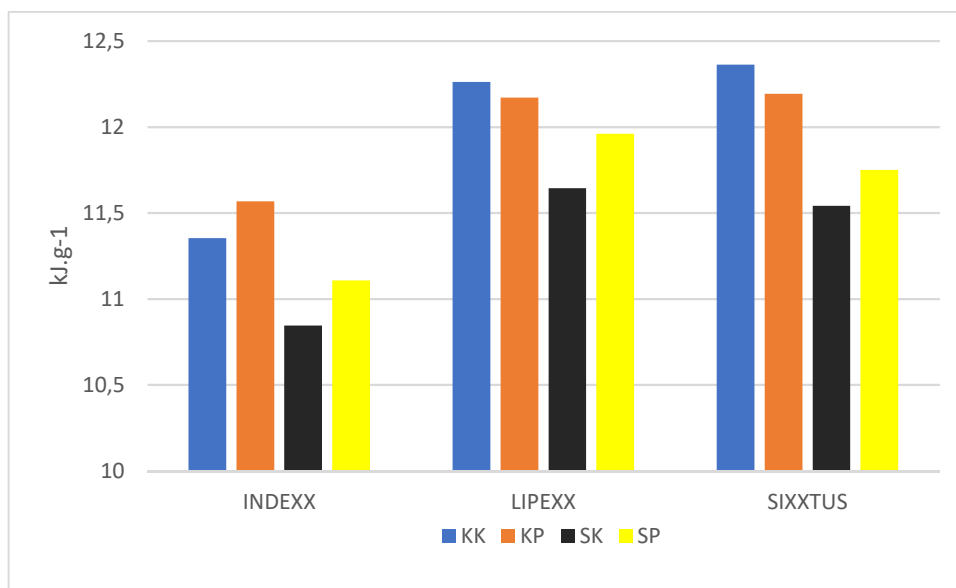
Na následujícím grafu 12 jsou uvedeny průměrné hodnoty spalného tepla v závislosti na variantě pokusu a genotypu.

V případě neošetřených kontrolních rostlin (KK) lze konstatovat, že hybrid RGT SIXXTUS měl nejvyšší průměrnou hodnotu spalného tepla v kořenech ($12,36 \text{ kJ.g}^{-1}$). Naopak hybrid RGT INDEXX nejnižší ($11,35 \text{ kJ.g}^{-1}$).

U kontrolních rostlin s postřikem prolinu (KP) měl nejnižší průměrnou hodnotu spalného tepla kořenů hybrid RGT INDEXX ($11,57 \text{ kJ.g}^{-1}$). Hybridy RGT SIXXTUS a RGT LIPEXX měly hodnoty spalného tepla vyrovnané a to ve výši $12,18 \text{ kJ.g}^{-1}$. Pokud hodnotíme vliv aplikace prolinu na obsah energie kořenů kontrolních rostlin, je možné konstatovat, že na postřik prolinem lépe reagoval hybrid RGT INDEXX, protože u něho byl zaznamenán nejvýraznější rozdíl mezi těmito dvěma variantami ($0,22 \text{ kJ.g}^{-1}$). Na straně druhé hybrid RGT LIPEXX reagoval nejméně citlivě, neboť výše uvedený rozdíl byl pouze $0,09 \text{ kJ.g}^{-1}$.

V grafu 12 jsou uvedeny reakce jednotlivých genotypů na vodní deficit. Z tohoto grafu vyplývá, že na vodní stres snížením obsahu energie v kořenech neošetřených rostlin citlivě reagoval genotyp RGT INDEXX. U tohoto genotypu byl rozdíl mezi kontrolou a stresem ve

výši $0,5 \text{ kJ.g}^{-1}$. Jako tolerantní se jeví genotyp RGT LIPEXX, kdy rozdíl mezi kontrolou a stresem byl pouze $0,62 \text{ kJ.g}^{-1}$. Po ošetření stresovaných rostlin prolinem byl u všech sledovaných genotypů zjištěn pozitivní efekt postřikové látky na obsah energie kořenů. U všech hybridů se obsah energie kořenů zvýšil po ošetření ve srovnání s neošetřenými rostlinami. Nejvyšší rozdíl mezi těmito variantami byl nalezen u hybridu RGT LIPEXX, a to $0,32 \text{ kJ.g}^{-1}$. Naopak u hybridu RGT SIXXTUS byl tento rozdíl nejnižší ($0,21 \text{ kJ.g}^{-1}$).



Graf 12 – Celkové porovnání průměrů spalného tepla u kořenů hybridů a jejich variant

Obsah spalného tepla nadzemní biomasy

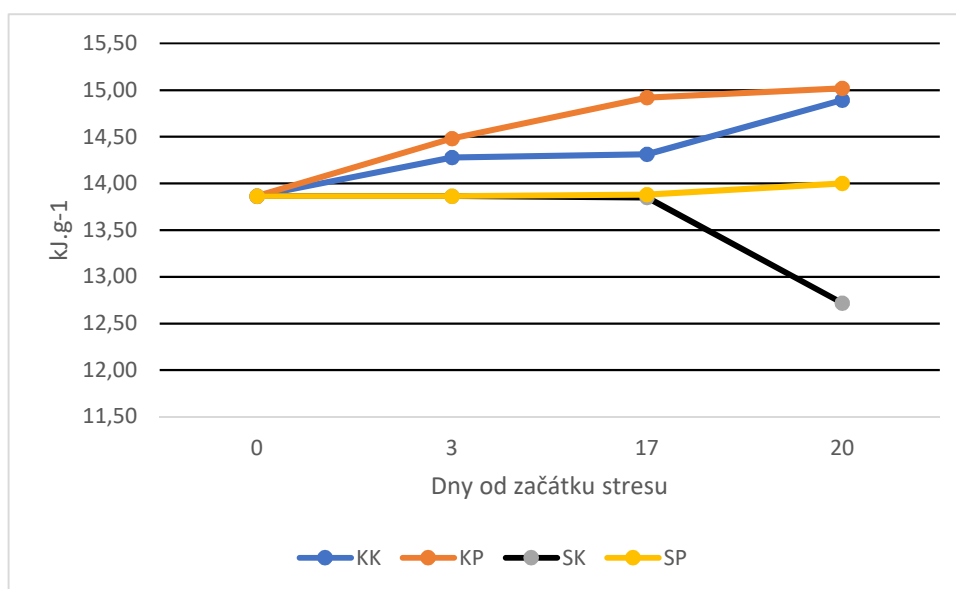
Na grafu 13 jsou znázorněny hodnoty spalného tepla nadzemní biomasy u genotypu RGT INDEXX.

Z grafu vyplývá, že hodnoty spalného tepla variant nabývaly hodnot od $12,72 \text{ kJ.g}^{-1}$ (SK) do $15,02 \text{ kJ.g}^{-1}$ (KP). U nadzemní části kontrolních neošetřených rostlin můžeme říci, že se jejich obsah spalného tepla postupně zvyšoval až do konce pokusu. U těchto rostlin byl naměřen nejnižší obsah spalného tepla $13,87 \text{ kJ.g}^{-1}$ na počátku pokusu. Nejvyšší hodnota byla na konci pokusu $14,89 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Aplikace prolinu pozitivně ovlivnila obsah spalného tepla u kontrolních rostlin. Na počátku pokusu měly rostliny hodnotu $13,87 \text{ kJ.g}^{-1}$. Tyto hodnoty se postupně zvyšovaly až na obsah v poslední dnu pokusu $15,02 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Vodní deficit ovlivnil neošetřené rostliny (SK) snížením jejich obsahu spalného tepla, jak dokládá graf 13. Tyto rostliny měly nejvyšší hodnotu na počátku pokusu $13,87 \text{ kJ.g}^{-1}$ a postupně se obsah spalného tepla snižoval až na hodnotu $12,72 \text{ kJ.g}^{-1}$.

U stresovaných rostlin ošetřených postřikem prolinu (SP) vidíme stagnaci do 17. dne kdy je jejich hodnota $13,88 \text{ kJ.g}^{-1}$. Ta poté 20. den vzrostla o $0,12 \text{ kJ.g}^{-1}$ na hodnotu 14 kJ.g^{-1} .



Graf 13 – Podíl spalného tepla v nadzemní části variant hybridu RGT INDEXX

Graf 14 nám ukazuje naměřené hodnoty spalného tepla nadzemní části u hybridu RGT LIPEXX.

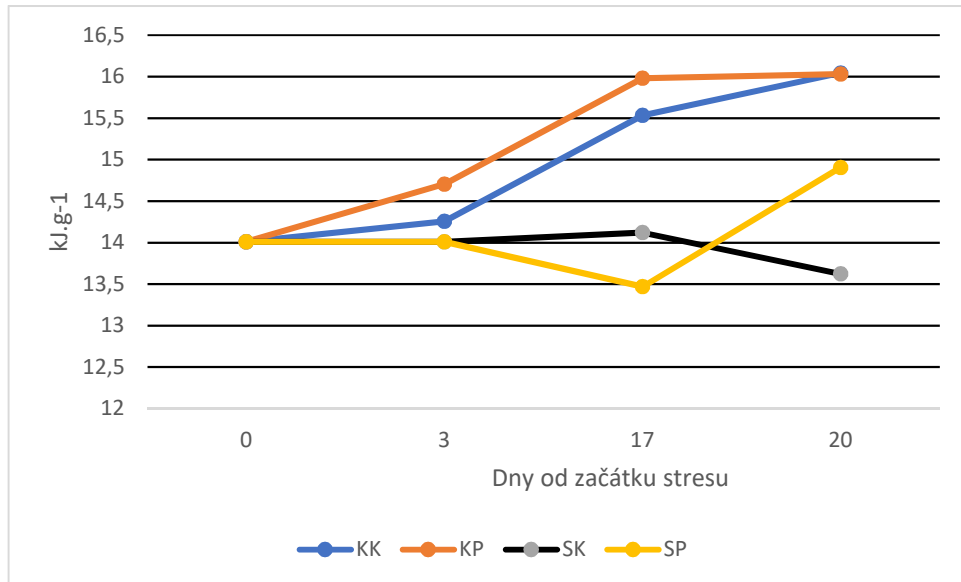
Hodnoty nabývaly intervalu od $13,47 \text{ kJ.g}^{-1}$ (SP, 17. den) do $16,04 \text{ kJ.g}^{-1}$ (KK, 20. den). V 0. dni měly varianty shodný obsah spalného tepla $14,01 \text{ kJ.g}^{-1}$.

U kontrolních rostlin byl zaznamenán interval hodnot od $14,01 \text{ kJ.g}^{-1}$ do $16,04 \text{ kJ.g}^{-1}$. U těchto rostlin byl plynulé zvyšování obsahu spalného tepla.

U rostlin ošetřených prolinem byla na počátku pokusu naměřena hodnota spalného tepla $14,71 \text{ kJ.g}^{-1}$. Poté 17. den hodnota vzrostla o $1,27 \text{ kJ.g}^{-1}$ na $15,98 \text{ kJ.g}^{-1}$. Z tohoto dne je patrné vysoké ovlivnění prolinem a zvýšení obsahu spalného tepla v nadzemní biomase. Poslední den pokusu se naměřil relativně malý nárůst o $0,05 \text{ kJ.g}^{-1}$.

U stresovaných rostlin bez prolinu vidíme 17. den zvýšení obsahu spalného tepla o $0,11 \text{ kJ.g}^{-1}$ na hodnotu $14,12 \text{ kJ.g}^{-1}$ oproti předešlým termínům odběru. Toto zvýšení však další termín vystřídá pokles na hodnotu $13,62 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Negativní reakci na prolin byla zachycena 17. den, kdy se, oproti 0. a 3. dni, snížila hodnota obsahu spalného tepla o 0,54 kJ.g⁻¹ (3,85 %). Další termín se hodnota náhle zvýšila na 14,91 kJ.g⁻¹. V porovnání s neošetřenou kontrolou zde byl nárůst o 1,29 kJ.g⁻¹ (9,47 %).



Graf 14 - Podíl spalného tepla v nadzemní části variant hybridu RGT LIPEXX

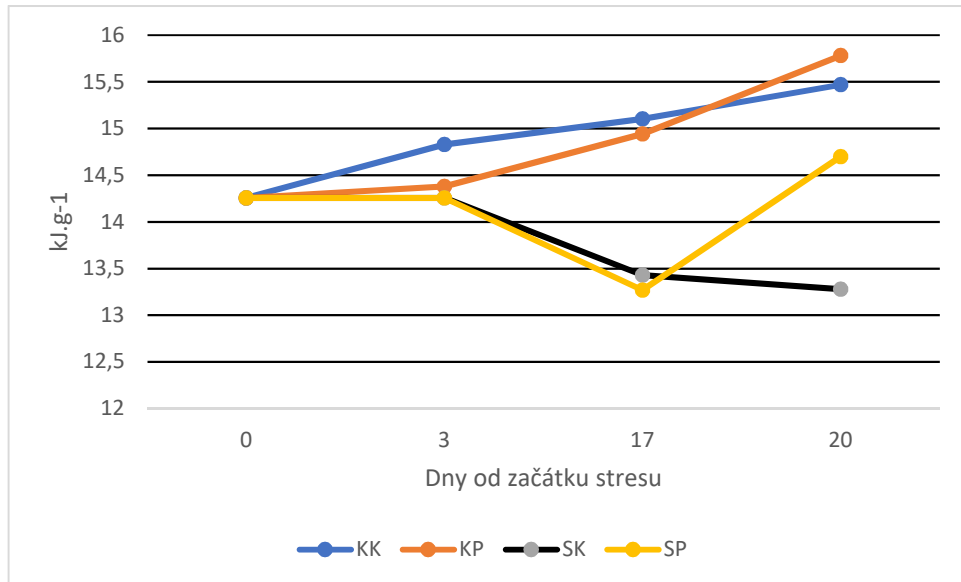
Z grafu 15 jsou patrné rozdílné hodnoty spalného tepla nadzemní biomasy u hybridu RGT SIXXTUS. Hodnoty byly v rozmezí od 13,27 kJ.g⁻¹ do 15,78 kJ.g⁻¹.

Kontroly neošetřené prolinem nabývaly hodnot od 14,25 kJ.g⁻¹ do 15,47 kJ.g⁻¹. Byl zde zaznamenán postupný nárůst obsahu spalného tepla. V 3. dni byla naměřena hodnota 14,83 kJ.g⁻¹. Další termín bylo naměřeno zvýšení obsahu energie o 0,27 kJ.g⁻¹ na hodnotu 15,10 kJ.g⁻¹. Poslední termín byl obsah spalného tepla 15,47 kJ.g⁻¹.

Ošetřené kontrolní rostliny (KP) zaznamenaly během pokusu postupný nárůst na obsahu spalného tepla nadzemní biomasy. 3. den pokusu bylo naměřena hodnota 14,38 kJ.g⁻¹. Další termín se obsah energie zvýšil o 0,56 kJ.g⁻¹ (3,89 %). Poslední termín pokusu se hodnota zvýšila na 15,78 kJ.g⁻¹.

Stresované rostliny bez postřiku reagovaly negativně na vodní deficit snižováním obsahu spalného tepla. Hodnota 14,26 kJ.g⁻¹ se postupně snižovala. 17. den byl naměřen pokles o 0,83 kJ.g⁻¹ (5,75 %) na obsah energie 13,43 kJ.g⁻¹. Poslední termín se hodnota snížila na 13,28 kJ.g⁻¹.

U rostlin s postřikem prolinu, které byly testovány vodním deficitem byl zaznamenán nejprve pokles na hodnotu $13,27 \text{ kJ.g}^{-1}$ (17. den). Avšak tento pokles vystřídal 20. den výrazný nárůst spalného tepla na hodnotu $14,7 \text{ kJ.g}^{-1}$.



Graf 15 - Podíl spalného tepla v nadzemní části variant hybridu RGT SIXXTUS

Na grafu 16 můžeme vidět porovnání obsahů spalného tepla nadzemní biomasy všech variant genotypů.

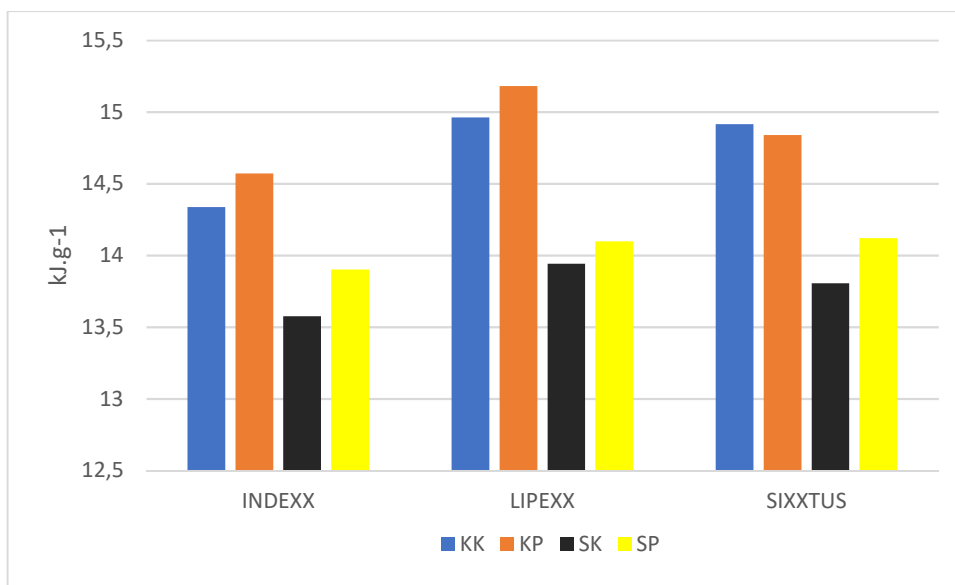
Mezi kontrolními neošetřenými rostlinami (KK) měl nejvyšší průměr obsahu spalného tepla hybrid RGT LIPEXX a to $14,96 \text{ kJ.g}^{-1}$. Nejmenší průměr měl poté hybrid RGT INDEXX ($14,33 \text{ kJ.g}^{-1}$).

U kontrolních rostlin ošetřených prolinem měl nejvyšší hodnotu spalného tepla hybrid RGT LIPEXX ($15,18 \text{ kJ.g}^{-1}$). U RGT INDEXX byl naměřen nejnižší obsah $14,57 \text{ kJ.g}^{-1}$. Pokud porovnáme reakci na ošetření prolinem, tak nejvíce reagoval hybrid RGT INDEXX rozdílem $0,23 \text{ kJ.g}^{-1}$. Nejmenším rozdílem obsahu energie $0,07 \text{ kJ.g}^{-1}$, ošetřených a neošetřených rostlin, reagoval hybrid RGT SIXXTUS.

Z grafu 16 jsou patrné reakce hybridů na vodní deficit. Z grafu vyplývá, že nejméně citlivým hybridem na vodní stres je RGT INDEXX, kdy oproti kontrole měl rozdíl $0,75 \text{ kJ.g}^{-1}$. Nejvíce citlivě reagoval hybrid RGT SIXXTUS rozdílem $1,1 \text{ kJ.g}^{-1}$.

U všech stresovaných rostlin bylo zaznamenáno pozitivní ovlivnění postřikem prolinu (SP), kdy ošetřené rostliny měly vyšší hodnoty, než rostliny neošetřené. Důkazem nejvyššího

ovlivnění je hybrid RGT INDEXX, který měl oproti neošetřené kontrole o $0,32 \text{ kJ.g}^{-1}$. Nejméně ovlivněn byl hybrid RGT LIPEXX, u kterého byl naměřen rozdíl pouze $0,16 \text{ kJ.g}^{-1}$.



Graf 16 - Celkové porovnání průměrů spalného tepla u nadzemní části hybridů a jejich variant

6 Diskuze

U rostlin kukuřice seté (*Zea mays* L.) byl sledován vliv vodního deficitu na hmotnost sušiny a hodnoty spalného tepla u linií RGT LIPEXX, RGT INDEXX a RGT SIXXTUS.

Hmotnost sušiny kořenů

Prolin je hlavní organická osmoticky aktivní látka, která se akumuluje v rostlinách při různých stresech prostředí (Ashraf et Foolad, 2007). Je to aminokyselina, která má tři důležité funkce během stresu a to chelátor kovů, antioxidační obranná molekula a signální molekula (Hayat et al., 2012). To, že se prolin akumuluje v rostlinách a ovlivňuje rostliny při stresu, bylo v tomto pokusu potvrzeno shodně s prací např. Manivannan et al. (2007) u slunečnice.

Pozitivní vliv aplikace prolinu na změny hmotnosti kořenů kontrolních a stresovaných rostlin kukuřice byl zaznamenán u hybridu RGT SIXXTUS. Rozdílnou reakci genotypů na aplikaci osmoticky aktivních látek potvrzují také práce Sarker et Oba (2018).

Nedostatek vody negativně ovlivňuje růst a vývoj rostlin. Sucho snižuje velikosti listů, zužuje stonek a snižuje účinnost využívání vody. Sucho u většiny rostlin obecně snižuje hmotnost biomasy a tím i hmotnost sušiny (Farooq et al., 2009). Toto tvrzení lze potvrdit v případě, že je sucho dlouhodobé. Tento závěr byl v souladu se získanými výsledky.

Earl et Davis (2002) konstatují, že u kukuřice vodní stres negativně ovlivňuje výnos sušiny snížením fotosynteticky aktivní radiace (PAR) a účinnosti radiace (RUE). Z pokusu s kukuřicí je patrné, že všechny odrůdy ovlivnil vodní stres negativně, až na kořeny odrůdy INDEXX, u kterých byla hmotnost sušiny vyšší než u kontrolní rostliny. Zvýšení hmotnosti sušiny kořenů v případě vodního stresu uvádí ve své práci Shaomin et Yiwei (2009).

Hanway et Russell (1969) konstatují ve své studii, že sušina se odlišně akumuluje v různých částech kukuřice. Tento závěr byl potvrzen, neboť z výsledků je patrné, že nadzemní biomasa obsahuje více sušiny než kořeny.

Hmotnost sušiny nadzemní biomasy

Prolin má protektivní účinek, jelikož zabraňuje poškození buněčných membrán ve vodním stresu (Ain-Lhout et al., 2001). Tento závěr byl částečně potvrzen, neboť u stresovaných rostlin hybridů RGT SIXXTUS a RGT INDEXX aplikace prolinu pozitivně ovlivnila hmotnost sušiny nadzemní biomasy. U genotypu RGT LIPEXX spíše snížil jeho hmotnost sušiny nadzemní biomasy. Rozdílnou reakci rostlin na aplikaci osmoticky aktivních látek ve vztahu k tvorbě sušiny uvádí také Anjum et al. (2011) u kukuřice.

Ibarra-Caballero et al. (1988) zkoušeli na třech různých genotypech kukuřice reakci na vodní stres a akumulaci prolinu v listech. Ve studii bylo zjištěno, že akumulace prolinu nekoreluje s použitými genotypy. V našem pokusu se zjistilo, že prolin ovlivňuje sledované parametry, ale nebyl zde prokázán výrazný efekt v rámci testovaných genotypů. Ahraf et. Foolad (2007) uvádí, že akumulace prolinu pozitivně ovlivňuje toleranci rostlin vůči stresu. Zhu (2002) naopak konstatuje, že prolin je spíše produktem vodního stresu v rostlině a ne adaptivní reakcí na stres. Z výsledků této bakalářské práce je spíše potvrzen závěr, že akumulace prolinu přispívá k toleranci vůči suchu.

Yamanda et al. (2005) ve své studii dospěli k závěru, že prolin je různě akumulován u různých druhů rostlin a má také svou hraniční kapacitu, kdy už rostlině neprospívá. Zvolená koncentrace prolinu byla v uváděném optimálním rozmezí, tedy do 10 mM. Vyšší koncentrace rostlině škodí.

Byl potvrzen závěr Mostajeran et Rahimi-Eichi (2009) s rýží, kdy tito autoři konstatují, že existují genotypové rozdíly v reakci na stres suchem. Obdobné výsledky uvádí také Hnilička a kol. (2010), kteří sledovali tvorbu sušiny juvenilních rostlin kukuřice v závislosti na vodním deficitu.

Obsah spalného tepla kořenu

Ebeling et Jenkins (1985) Uvádí hodnoty obsahu tepla v sušině v rozmezí hodnot od 14,56 do 23,28 kJ.g⁻¹. V případě sledovaných genotypů kukuřice byl obsah energie v intervalu 10,84 kJ.g⁻¹ (RGT INDEXX) až 15,18 (RGT LIPEXX). Tento rozdíl v obsahu energie je dán tím, že

v prvním případě se jednalo především o dřeviny s vyšším zastoupením energeticky bohatých látek, kdežto nižší hodnoty vykazovaly rostliny kukuřice v juvenilní fázi vývoje.

Dle Anjum et al. (2011), Hniličky et al. (2015) sucho snižuje obsah energie a tím i obsah spalného tepla ve všech rostlinných orgánech. Snižuje také velikost listů a intenzitu přijímání CO₂. Tento závěr byl potvrzen, protože u všech sledovaných genotypů měly nižší obsah spalného tepla právě varianty, které byly stresovány vodním stresem. Toto také potvrzuje Henckel (1964), který konstatuje, že sucho celkově negativně ovlivňuje rostliny na rozdíl od rostlin, které jsou hydratovány.

Získané výsledky s různými genotypy kukuřice se potvrzuje také závěr Mitchell et al. (1996) a Foster et al. (2015), kteří uvádí, že hodnota spalného tepla rostlinného těla je dána také genotypově.

Po aplikaci prolinu na kontrolní a stresované rostliny se obsah energie zvýšil. Vliv aplikace „antistresových látek“ na obsah energie uvádí např. Awad et al. (2006). Z jejich práce vyplynulo, že exogenně aplikované osmoticky aktivní látky dokáží ovlivnit hodnoty spalného tepla. Tento závěr potvrzuje Mohammadkhani et Heidari (2008) v případě aplikace prolinu na rostliny kukuřice dokáže zvyšovat toleranci vůči stresu (suchu).

Získané výsledky změn obsahu energie v závislosti na variantě pokusu a genotypu potvrzují závěry např. Golley (1961), Lieth (1977). Hniličková a kol. (2017) konstatují, že nadbytek a nedostatek vody negativně ovlivňuje obsah energie kořenů juvenilních rostlin kukuřice.

Obsah spalného tepla nadzemní biomasy

Nilsen et Orcutt (1996) konstatují, že listy při suchu méně akumulují energeticky bohaté látky a tím mají i nižší hodnoty energie respektive nižší obsah spalného tepla v listech. Tento závěr byl potvrzen, protože žádná stresovaná variant neměla vyšší hodnoty spalného tepla, než varianta kontrolní, která byla hydratovaná. Obdobné závěry ve svých pracích s kukuřicí uvádí např. Hnilička a kol. (2008, 2009) a Hniličková a kol. (2017).

Hejnák (2003) uvádí ve výsledcích průměrnou hodnotu energie stresovaných listů ječmene jarního ve výši 12,99 kJ.g⁻¹ sušiny. U kukuřice byl průměrný obsah energie 12,56 kJ.g⁻¹ sušiny. Rozdílné výsledky v hodnotách spalného tepla rostlinné biomasy souvisí

nejenom s rostlinným druhem, ale také sledovanou vývojovou fází, kdy u rostlin kukuřice se jedná o juvenilní rostliny. Také byl rozdíl v založení pokusu, kdy u rostlin kukuřice byl sledován vliv vodního deficitu a u ječmene vliv rozdílné dusíkaté výživy. Hülsbergen et al. (2001) udává hodnoty energie v listech cukrové řepy, která činí $16,4 \text{ kJ.g}^{-1}$. Je to dáno vyšší koncentrací energeticky bohatých látek v sušině, které má kukuřice nižší.

Asonja et al. (2016) předpokládá, že v budoucnosti se lidé budou více zajímat o biomasu jakožto obnovitelný zdroj energie. Linie LIPEXX má nejvyšší obsah energie ze tří sledovaných odrůd a to i s aplikací aminokyseliny prolinu.

Protektivní účinek prolinu byl potvrzen v mnoha případech vyšších rostlin např. Van Rensburg et al. (1993) ve své studii potvrzuje protektivní účinek prolinu na buněčné membrány tabáku. Prolin napomáhá buňce přečkat stresové období. Bez prolinu by rostliny hůře snášely stresové období a mohly by usychat (Matysik et al., 2002). U kukuřice je tento účinek potvrzen např. u hybridu RGT INDEXX, který pozitivně reagoval na postřik prolinem a oproti kontrolním variantám zvýšil svůj obsah spalného tepla v listech.

Erol et al. (2010) ve svých výsledcích studie uvádí hodnoty spalného tepla různých druhů biomas. Tyto hodnoty jsou v intervalu od $15,41 \text{ kJ.g}^{-1}$ do $19,52 \text{ kJ.g}^{-1}$. U našeho pokusu byl interval obsahu spalného tepla nadzemní biomasy v intervalu od $13,81 \text{ kJ.g}^{-1}$ do $15,18 \text{ kJ.g}^{-1}$. Fuksa et al. (2006) ve své studii uvádí obsah spalného tepla kukuřice v intervalu $16,57 \text{ kJ.g}^{-1}$ do $18,13 \text{ kJ.g}^{-1}$. Tento interval je dán použitými genotypy kukuřice. U všech sledovaných genotypů kukuřice docházelo v průběhu ontogenetického vývoje k postupnému zvyšování obsahu energie. Tento trend je patrný také v rámci pokusných variant. Je proto možné konstatovat v souladu s prací např. Kumar (1994), Lieth (1977), že změny obsahu energie jsou funkcí času.

7 Závěr

V bakalářské práci byl sledován a hodnocen vliv vodního deficitu a aplikace osmoticky aktivní látky prolinu na tvorbu sušiny a hodnoty spalného tepla v biomase kukuřice seté. Ze získaných výsledků vyplývají tyto závěry:

1. Hmotnost sušiny kořenů byla o 8,2 % vyšší u rostlin stresovaných v porovnání s rostlinami kontrolními, kdežto hmotnost nadzemní biomasy byla vyšší u kontrolních rostlin o 41,8 %.

2. Hmotnost sušiny kořenů a nadzemní biomasy kontrolních rostlin byla ovlivněna aplikací prolinu, kdy u hybridu RGT SIXXTUS byla zaznamenána vyšší hmotnost v porovnání s neošetřenou variantou.

3. V případě rostlin stresovaných se nejvýrazněji hmotnost kořenů a nadzemní biomasy po aplikaci prolinu zvýšila u hybridu RGT INDEXX.

4. Na aplikaci prolinu změnou hmotnosti kořenů u kontrolních rostlin nejméně citlivě reagoval hybrid RGT INDEXX a u rostlin stresovaných RGT LIPEXX.

5. Na aplikaci prolinu změnou hmotnosti nadzemní části u kontrolních rostlin nejméně citlivě reagoval hybrid RGT LIPEXX a u rostlin stresovaných RGT SIXXTUS.

6. Spalné teplo bylo u kořenů a nadzemní biomasy vyšší u kontrolních rostlin, než u stresovaných rostlin o 5,2 % a 6,5 %.

7. Spalné teplo kořenů a nadzemní biomasy bylo ovlivněno aplikací prolinu u hybridu RGT INDEXX, kdy byla zaznamenána vyšší hodnota spalného tepla u ošetřených rostlin na rozdíl od kontrolních.

8. U stresovaných rostlin se použití prolinu nejvíce projevilo u genotypu RGT LIPEXX hodnotou 15,18 kJ.g⁻¹.

9 Na aplikaci prolinu nejméně reagoval změnou hodnot spalného tepla hybrid RGT LIPEXX u kontrolních rostlin a v případě rostlin stresovaných RGT SIXXTUS.

10. Na aplikaci prolinu nejméně reagoval u kontrolních rostlin hybrid RGT SIXXTUS rozdílem 0,46 % (0,07 kJ.g⁻¹) a u stresovaných rostlin RGT LIPEXX rozdílem 1,15 % (0,16 kJ.g⁻¹).

11. Byla potvrzena hypotéza, že rozdílné genotypy kukuřice se liší v hodnotách spalného tepla. V závislosti na působení vodního deficitu a aplikaci prolinu.

12. Byla potvrzena hypotéza, že kombinace vodního deficitu a aplikace prolinu ovlivňují hodnoty spalného tepla a množství sušiny rostliny.

13. Ze sledovaných hybridů se jako tolerantní k vodnímu stresu jeví hybrid RGT SIXXTUS a naopak jako citlivý RGT INDEXX.

8 Přehled použité literatury

- Ain-Lhout, F., Zunzunegui, F. A., Diaz Baradas, M. C., Tirado, R., Clavijio, A., Garcia Novo, F. 2001. Comparison of proline accumulation in two Mediterranean shrubs subjected to natural and experimental water deficit. *Plant Soil*. 230. 175–183.
- Anjum, S. A., Xiao-yu, X. Long-chang, W., Saleem, M. F., Man, Ch., Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Department of Agronomy, University of Agriculture. 6 (9). 2026-2032.
- Ashraf, M., Foolad, M. R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59 (2). 206-216.
- Ashraf, M., Harris, P. J. C. 2005. Abiotic stresses: plant resistance through breeding and molecular approaches. New York: Food Products Press. p. 725. ISBN: 1-56022-965-9.
- Asonja, A., Desnica, E., Radovanovic, L. 2016. Energy efficiency analysis of corn cob used as a fuel. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. 12 (1). 1-7.
- Awad, M. A., Soaud, A. A., ElKonaissi, S. M. 2006. Effect of exogenous application of anti-stress substances and elemental sulphur on growth and stress tolerance of tissue culture derived plantlets of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. 'Khalas1 during acclimatization. Department of Aridland Agriculture. 8 (2). 129-134.
- Bensen, J. C., Beall, F. D., Mullet, J. C., Morgan, P. W. 1990. Detection of endogenous gibberellins and their relationship to hypocotyl elongation in soybean seedlings. *Plant Physiology*. 94. 77-84.
- Ben-Yehoshua, S., Aloni, B. 1974. Effect of water stress on ethylene production by detached leaves of Valencia orange (*Citrus sinensis* Osbeck). *Israel Journal of Botany*. 22. 210.
- Blée, E. 2002. Impact of phyto-oxylipins in plant defense. *Trends in plant science*. 7 (7). 315-322.
- Blum, A. 2016. Stress, strain, signaling, and adaptation –not just a matter of definition. *Journal of Experimental Botany*. 67 (3). 562–565.
- Bray, E. A. 1988. Drought- and ABA-Induced Changes in Polypeptide and mRNA Accumulation in Tomato Leaves. *Plant Physiology*. 88 (4). 1210.
- Cohen, A. C., Travaglia, C. N., Bottini, R., Piccoli, P. N. 2009. Participation of abscisic acid and gibberellins produced by endophytic *Azospirillum* in the alleviation of drought effects in maize. *Botany*. 87 (5). 455-462.

Cooper, M., Gho, C., Leafgren, R., Tang, T., Messina, C. 2014. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. *Journal of Experimental Botany*. 65 (21). 6191-6204.

Corn. History, Cultivation, Uses, & Description. Britannica.com. Encyclopedia Britannica. Britannica.com [online]. Copyright ©2018 Encyclop [cit. 24.02.2018]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/plant/corn-plant>

ČMeS. Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS). slovník.cmes.cz [online]. 2017. [cit. 25.03.2018]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>

ČSÚ. Statistická ročenka České republiky 2017. [online]. Copyright © 2017 [cit. 25.03.2018]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/67309422/32019817.pdf/1917ff5f-f7bf-4aa3-be8e-de2835bd40e6?version=1.5>

Dostál, J. 1989. Nová květena ČSSR. Praha: Academia. 1563 s.

Duvick, D. N., Smith, J. S. C., Cooper, M. 2004. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. *Plant breeding reviews: long-term selection: crops, animals, and bacteria*, 24 (2). 109–151.

eAGRI. GM plodiny - Pěstování geneticky modifikovaných plodin. [online]. Copyright © 2009 [cit. 24.03.2018]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/gmo-geneticky-modifikovane-organismy/>

eAGRI. Zákon č. 78/2004 Sb., o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty. [online]. Copyright © 2009 [cit. 24.03.2018]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-ostatni-uplna-zneni-zakon-2004-78-GMO.html>

Earl, H. J., Davis, R. F. 2002. Effect of Drought Stress on Leaf and Whole Canopy Radiation Use Efficiency and Yield of Maize. *Agronomy Journal*. 95 (3). 688-696.

Eckhoff, S. R., Paulsen, M. R., Yang, S. C. 2003. Maize. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*. 3647–3653.

Ebeling, J. M., Jenkins, B. M. 1985. Physical and chemical properties of biomass fuels. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 28 (3). 0898-0902.

Eklund, L., Cienciala, E., Hällgren, J. E. 1988. No relation between drought stress and ethylene production in Norway spruce. *Physiologia Plantarum*. 86. 297–300.

Erol, M., Haykiri-Acma, H., Küçükbayrak, S. 2009. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. *Renewable Energy*. 35 (2010). 170-173.

Evolution of Corn. Learn.Genetics [online]. 2013. Copyright © Robert S. Peabody. Museum of Archaeology, Phillips Academy, Andover, Massachusetts. All Rights Reserved. [cit. 12.03.2018]. Dostupné z: <http://learn.genetics.utah.edu/content/selection/corn/>

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. 2009 Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. *Sustainable Agriculture*. p. 919.

Foster, K., Cawthray, G. R., Lambers, H., Ramankutty, P., Real, D., Ryan, M. H. 2015. Drought resistance and recovery in mature *Bituminaria bituminosa* var. *albomarginata*. In *Annals of Applied Biology*. 166 (1). 154–169.

Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Schinozaki, K., Shinozaki, K. 2006. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Current Opinion in Plant Biology*. 9 (4). 436-442.

Fuksa, P., Kocourková, D., Hakl, J., Kalista, J. 2006. Influence of weed infestation on the calorific value and chemical composition of maize (*Zea mays* L.). *Journal of plant diseases and protection* 20. 823-830.

Galon, L. A., Monteiro, C. C., Cruz, F. J. R., Rossatto, D. R., Lopez-Diaz, I., Carrera, E., Lima, J. E., Peres, L. E. P., Carvalho, R. F. 2018. Constitutive giberellin response in grafted tomato modulates root-to-shoot signaling under drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 221. 11-21.

Gewin, V. 2003. Genetically Modified Corn— Environmental Benefits and Risks. *PLoS Biol*. 1(1).

Gil-Quintana, E., Larrainzar, E., Seminario, A., Díaz-Leal, J. L., Alamillo, J. M., Pineda, M., Arrese-Igor, C., Wienkoop, S., González, E. M. 2013. Local inhibition of nitrogen fixation and nodule metabolism in drought-stressed soybean. *Journal of Experimental Botany*. 64 (8). 2171–2182.

Golley, F. B. 1961. Energy values of ecological materials. *Ecology*, 42 (3). 581-584.

Gordon, L. K. 1992. Functional characteristics of adaptive senescence of excised wheat roots. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*. 24. 128–133.

Gramene. Zea Production. [online]. Dostupné z: http://archive.gramene.org/species/zea/maize_maps_and_stats.html

- Hammer, G. L., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Paszkiewicz, S., Cooper, M. 2009. Can changes in canopy and/or root systems architecture explain historical maize yield trends in the U.S. Corn Belt? *Crop Science*. 49. 299–312.
- Hanson, A. D., Nelsen, Ch. E., Everson, E. H. 1976. Evaluation of Free Proline Accumulation as an Index of Drought Resistance Using Two Contrasting Barley Cultivars. *Crop Science*. 17 (5). 720-726.
- Hanway, J. J., Russell, W. A. 1969. Dry-Matter Accumulation in Corn (*Zea mays* L.) Plants: Comparisons among Single-Cross Hybrids. *Agronomy Journal*. 61 (6). 947-951.
- Havlová, M., Dobrev, P. I., Motyka, V., Štorchová, H., Libus, J., Dobrá, J., Malbeck, J., Gaudinová, A., Vaňková, R. 2007. The role of cytokinins in responses to water deficit in tobacco plants over-expressing trans-zeatin O-glucosyltransferase gene under 35S or SAG12 promoters. *Plant, Cell & Environment*. 31 (3). 341-353.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments. *Plant Signal Behavior*. 7 (11). 1456–1466.
- Hejník, V. 2003. Využití izotopové metody (^{15}N), spalné kalorimetrie a gazometrie v produkční fyziologii ječmene jarního a špenátu setého. Power Print. 152 s. ISBN: 80-213-1114-2.
- Henckel, P. A. 1964. Physiology of plant under drought. *Annual Review of Plant Physiology*. 15. 363-386.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Hejník, V. 2015. Use of combustion methods for calorimetry in the applied physiology of plants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 120 (1). 411-417.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Kočová, M., Rothová, O. 2010. Short-term effect of drought on the photosynthetic accumulation of energy in maize. *Akadémiai Kiadó*. 59. 489-492.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Rothová, O., Kočová, M. 2010. Vliv vodního deficitu na obsah sušiny nadzemní biomasy juvenilních rostlin kukuřice. Aktuální témata v pícninářství a travníkářství. (Sborník příspěvků z odborného semináře). 2010. 36-41.
- Hnilička, F., Holá, D., Hniličková, H., Rothová, O., Kočová, M. 2009. Vliv postupného vodního deficitu na obsah energie v biomase juvenilních rostlin kukuřice. In:31. Mezinárodní slovenský a český kalorimetrický seminář. 51 – 54.

Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Kočová, M., Rothová, O. 2008. Vliv půdního sucha na obsah energie v juvenilních rostlinách kukuřice. In: 30.Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář (Sborník příspěvků). 133 – 136.

Hniličková, H. Hnilička, F. Kuklová, M. Kukla, J. 2017. Vliv vodního stresu na obsah energie u juvenilních rostlin kukuřice. 39. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář (sborník příspěvků). Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář 22. 5. - 26. 5. 2017, s. 147-150. ISBN: 978-80-7560-060-8.

Hong-Bo, S., Li-Ye, Ch., Jaleel, Ch. A., Chang-Xing, Z. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*. 331 (3). 215-225.

Hoskovec, L. BOTANY.cz » ZEA MAYS L. – kukuřice setá / kukurica siata. BOTANY.cz - Zajímavosti ze světa rostlin [online]. Copyright © 2008 [cit. 17.03.2018]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/zea-mays/>

Hülsbergen, K. J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G. W., Kalk, W. D., 2001. Diepenbrock, W. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 86. 303–321.

Ibarra-Caballero, J., Villanueva-Verduzco, C., Molina-Galán, J., Sánchez-De-Jiménez, E. 1988. Proline Accumulation as a Symptom of Drought Stress in Maize: A Tissue Differentiation Requirement. *Journal of Experimental Botany*. 39 (7). 889–897.

Jones, H. G., Flowers T. J., Jones, M. B. 1989. *Plants under stress: biochemistry, physiology, and ecology and their application to plant improvement*. New York: Cambridge University Press. p. 257. ISBN: 0521344239.

Kai, G. A. O., Fu, S. O. N. G., Tie-xia, Z. H. U. 2012. Effects of several factors on plant calorific value based on large-scale conditions. *Pratacultural Science*. 29, 453-458.

Katalog odrůd. ZNZ Přeštice, a.s. [online]. Copyright © 2018. [cit. 15.04.2018]. Dostupné z: <https://www.znz.cz/download/375-final-vp-agro-katalog-kukurice-ragt-2018-a4.pdf>

Kavi Kishor, P. B., Hima Kushari, P., Sunita, M. S. L., Streenivasulu, N. 2015. Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Frontiers in Plant Science*. 6. 544.

Koch, M. S., Ward, J. M., Levine, S. L., Baum, J. A., Vicini, J. L., Hammond, B. G. 2015. The food and environmental safety of *Bt* crops. *Front Plant Sci*. 6. 283.

Kumar, R., Kujur, R. Role of secondary traits in improving the drought tolerance during flowering stage in rice. *Indian J. Plant Physiology*. 8 (3). 236-240.

- Kumar, Y. 1994. Vliv vonkajších faktorov na tvorbu sušiny a akumuláciu energie v rastlinách [jačmeň jarný]. Disertační práce. 102.
- Lamprecht I. 1998. Combustion calorimeters. In: Gallagher PK, editor. Handbook of thermal analysis and calorimetry. Amsterdam: Elsevier Science. p. 657–65.
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. New York: Springer. p. 513. ISBN: 3-540-43516-6
- Lazarus, R. S. 1966. Psychological stress and the coping process. New York, NY, USA: McGraw-Hill.
- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses . New York: Academic Press.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. 2d ed. New York: Academic Press. p. 607. ISBN 0-12-445502-6.
- Lichtenthaler, H. K. 1996. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. Plant Physiology. 148. 4–14.
- Lieth, H. 1977. Energy flow and efficiency differences in plants and plant communities. In.: Application of calorimetry in life sciences. 325-326.
- Lloyd-Hughes, B. 2014. The impracticality of a universal drought definition. Theoretical and Applied Climatology. 117 (3-4). 607-611.
- Maize from El Gigante Rock Shelter shows early transition to staple crop | Penn State University. News | Penn State University [online]. Copyright © 2015 [cit. 24.03.2018]. Dostupné z: <http://news.psu.edu/story/476887/2017/08/07/research/maize-el-gigante-rock-shelter-shows-early-transition-staple-crop>
- Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. M. A., Panneerselvam, R. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 59 (2). 141-149.
- Matysik, J., Bhalu, B., Mohanty, P. 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Science. 82 (5). 525-532.
- McGloin, R., Šígut, L., Havránková, K., Dušek, J., Pavelka, M., Sedlák, P. 2018. Energy balance closure at a variety of ecosystems in Central Europe with contrasting topographies. Agricultural and Forest Meteorology. 248. 418-431.

- McKendry, P. 2001. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. 83 (2002). 37–46.
- Mitchell, J. H., Cooper, M., Fukai, S. 1996. Influence of phenology on grain yield variation among barley cultivars grown under terminal drought. *Australian Journal of Agricultural*, 47(5). 757 – 774.
- Mohammadkhani, N., Heidari, R. 2008. Drought-induced Accumulation of Soluble Sugars and Proline in Two Maize Varieties. *World Applied Sciences Journal*. 3 (3). 448-453.
- Mostajeran, A., Rahimi-Eichi, V. 2009. Effects of drought stress on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and accumulation of proline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 5 (2). 264-272.
- Nayyar, H., Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*. 58 (1–3). 106-113.
- Neubauer, K. 1989. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. SZN Praha. 716 s.
- Neumann, S. M., Scherbej, I., van der Shaaf, U. S., Karbstein, H. P. 2018. Investigations on the influence of osmotic active substances on the structure of water in oil emulsions for the application as inner phase in double emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 538. 56-62.
- Nilsen, E. T.; Orcutt, D. M. 1996. *Physiology of Plants under Stress. Abiotic factors*. John Wiley and Sons, New York, 1996. p. 689. ISBN: 0471031526.
- Nishiyama, R., Watanabe, Y., Fujita, Y., Tien Le, D., Kojima, M., Werner, T., Vankova, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Kakimoto, T., Sakakibara, H., Schmölling, T., Tran, L.P. 2011. Analysis of Cytokinin Mutants and Regulation of Cytokinin Metabolic Genes Reveals Important Regulatory Roles of Cytokinins in Drought, Salt and Abscisic Acid Responses, and Abscisic Acid Biosynthesis. *Plant Cell*. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.111.087395>
- Ördög, V., Zoltán, M. 2011. *Plant physiology*. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. p. 115.
- Ozawa, T. 1999. Thermal analysis – review and prospect. *Thermochimica Acta*. 355 (2000). 35-42.
- Palmqvist, K., Sundberg, B. 2000. Light use efficiency of dry matter gain in five macro-lichens: relative impact of microclimate conditions and species-specific traits. *Plant, Cell and Environment*, 23. 1-14.

Pandey, S., Fartyal, D., Agarwal, A., Shukla, T., James, D., Kaul, T., Negi, Y. K., Arora, S., Reddy, M. K. 2017. Abiotic Stress Tolerance in Plants: Myriad Roles of Ascorbate Peroxidase. *Frontiers of Plant Science*. 8. 581.

Plant. 2017. *SciTechnol. Journal of Plant Physiology & Pathology*. SciTechnol. International Publisher of Science. Technology and Medicine [online]. Dostupné z: <https://www.scitechnol.com/plant/plant-metabolism.php>

Pospíšilová, J., Vágner, M., Malbeck, J., Trávníčková, A., Bařková, P. 2005. Interactions between abscisic acid and cytokinins during water stress and subsequent rehydration. *Biologia Plantarum*. 49 (4). 533-540.

Proline. chemical compound. *Britannica.com*. Encyclopedia Britannica. Britannica.com [online]. Copyright ©2018 Encyclop [cit. 07.03.2018]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/proline>

Přehled strukturních vzorců . Vydavatelství VŠCHT Praha [online]. Dostupné z: https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-002_v1/motor/index.chemvzorci.html

Rebourg, C., Chastanet, M., Gouesnard B., Welcker, C., Dubreuil, P., Charcosett, A. 2002. Maize introduction into Europe: the history reviewed in the light of molecular data. *Theor Appl Genet*. 106. 895–903.

Rejeb, I. B., Pastor, V., Mauch-Mani, B. 2014. Plant Responses to Simultaneous Biotic and Abiotic Stress: Molecular Mechanisms. *Plants*. 3 (4). 458–475.

Sarker, U., Oba, S. 2018. Response of nutrients, minerals, antioxidant leaf pigments, vitamins, polyphenol, flavonoid and antioxidant activity in selected vegetable amaranth under four soil water content. *Food Chemistry*. 252. 72-83.

Sgherri, C. L. M., Navari-Izzo, F. 1995. Sunflower seedlings subjected to increasing water deficit stress: oxidative stress and defence mechanisms. *Physiologia Plantarum*. 93: 25–30.

Shaomin, B., Yiwei, J. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae*. 120 (2). 264-270.

Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J. 2011. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food security*. 3. 307.

SMEP 3.1 :: Explorer. Agrobiologie.cz – rozcestník webových projektů Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů [online]. 2006. Dostupné z: http://agrobiologie.cz/SMEP3/Pestovani_rostlin_cviceni_Obilninny/etext.czu.cz/php/skripta/kapitola17c7.html?titul_key=81&idkapitola=16

Stražil, Z. 1998. Využití kalorimetrického měření pro potřeby rostlinné výroby. Mezinárodní slovenský a český kalorimetrický seminář. Ostravská univerzita, Ostrava. 39-40.

Szabados, L. Savouré, A. 2010. Proline: multifunctional amino acid. Trends in Plant Science. 15 (2). 89-97.

Tate, E. L., Gustard, A. 2000. Drought Definition: A Hydrological Perspective. In: Vogt J.V., Somma F. (eds) Drought and Drought Mitigation in Europe. Advances in Natural and Technological Hazards Research. 14. Springer. Dordrecht.

Tempír, Z. 1963. Pěstování gengelu na Moravě a na Slovensku. Agrikultúra 2. 93–97.

Teosinte | plant | Britannica.com. Encyclopedia Britannica | Britannica.com [online]. Copyright ©2018 Encyclop [cit. 24.03.2018]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/plant/teosinte>

Trewavas, A. J., Jones, H. G. 1991. An assesment of the role of ABA in plant development. 169-188 in: W. J. Davies and H. G. Jones (eds.), Abscisic acid: Physiology and biochemistry. BIOS Scientific Publishers, Oxford.

Van Rensburg, L., Krüger, G. H. J., Krüger, H. 1993. Proline Accumulation as Drought-tolerance Selection Criterion: its Relationship to Membrane Integrity and Chloroplast Ultrastructure in *Nicotiana tabacum* L.. Journal of Plant Physiology. 141 (2). 188-194.

Vojtová, J. 2013. Změny vlhkosti zrna při dozrávání kukuřice - diplomová práce JU, ZF, České Budějovice. 60 s.

WorldAtlas. World Leaders In Corn (Maize) Production, World Map / World Atlas / Atlas of the World Including Geography Facts and Flags - Worldatlas.com - WorldAtlas.com [online]. Copyright © 2018 worldatlas.com [cit. 25.02.2018]. Dostupné z: <https://www.worldatlas.com/articles/world-leaders-in-corn-maize-production-by-country.html>

World of Corn. 2018. [online]. [cit. 24.03.2018]. Dostupné z: <http://www.worldofcorn.com/#biotech-shares-of-us-corn-acres-planted>

Yamanda, M., Morishita, H., Urano, K., Shiozaki, N., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., Yoshida, Y. 2005. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. Journal of Experimental Botany. 56 (417). 1975–1981.

Ye, X., Al-Babili, S., Klöti, A., Zhang, J., Lucca, P., Beyer, P., Potrykus, I. 2000. Engineering the Provitamin A (β -Carotene) Biosynthetic Pathway into (Carotenoid-Free) Rice Endosperm. *Science*. 287 (5451). 303-305.

Zhenzhu, X., Zhenwen, Y., Xinhua, Q., Songlie, Y. 1995. Effect of Soil drought on ethylene evolution, polyamine accumulation and cell membrane in flag leaf of winter wheat. *Acta Phytobiologica Sinica*. 21 (3). 295-301.

Zhu, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 53. 247-273.