

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin (FAPPZ)



**Studium vlivu vodního deficitu a hypoxie na tvorbu sušiny
a hodnotu spalného tepla kukuřice seté**

Bakalářská práce

Petr Sýkora

Rostlinná produkce

doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Studium vlivu vodního deficitu a hypoxie na tvorbu sušiny a hodnotu spalného tepla 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 datum odevzdání _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za výbornou pomoc, spolupráci a vedení při zpracovávání mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině za trpělivost při zpracovávání a také panu Ing. Martinovi Wiehlovi za pomoc a čas, který mi při zpracování věnoval.

Studium vlivu vodního deficitu a hypoxie na tvorbu sušiny a hodnotu spalného tepla kukuřice seté

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá studiem vlivu nadbytku a nedostatku vody na růst podzemní a nadzemní biomasy a také na množství energie, která je v sušině kořenů a nadzemní části rostlin obsaženo. Uvedená problematika je z hlediska podmínek pěstování rostlin kukuřice seté na poli, kde je rostlina velice často vystavena stresu aktuální. Stres, kterému jsou rostliny vystaveny je vysušená voda s vodním deficitem, nebo naopak nadměrné množství vody a nedostatek půdního vzduchu. Vlastně často v dnešní době tyto podmínky představují pro rostliny stres ihned od počátku vegetace.

Pokus byl založen v částečně řízených skleníkových prostorech, při teplotě 25 °C ve dne a 19 °C v noci a při přirozeném světelném režimu (14 hodiny světlo, 10 hodin tma). Pokusné rostliny kukuřice seté, genotypy Ambrosini a LG30, byly pěstovány v plastových nádobách o velikosti 11x11 cm v zahradním substrátu. Designe pokusu představoval tři varianty. První varianta byla zavlažovaná kontrola, druhá varianta představovala stres s vodním deficitem a třetí varianta simulovala trvalé zamokření. Každá varianta měla čtyři opakování.

Rostliny kontrolní varianty byly zavlažovány destilovanou vodou v pravidelných třídenních intervalech, množství závlakové vody bylo vždy 150 ml. U druhé varianty byl vodní deficit navozen postupným přirozeným vysycháním substrátu. Zamokření u třetí varianty bylo navozeno nasycením substrátu a následným umístěním nádob do van s vodou.

Pokus byl zahájen ve fázi 6 pravých listů (16 BBCH) a uskutečnilo se celkem 8 měření, v 3 - denním intervalu. Délka pokusu byla 20 dnů. U sledovaných rostlin byl sledován obsah energie metodou spalné kalorimetrie pomocí spalného isoperibolického kalorimetru IKA C200 (IKA, SRN)1. Dále byl sledován vývoj hmotnosti sušiny kořenů a nadzemní biomasy.

Ze získaných výsledků vyplývá, že na růst a vývoj kořenů má do značné míry vliv zavlažení a vodního deficitu. Rostliny, které byly pěstovány v podmínkách vodního deficitu projevovaly nižší celkovou hmotnost kořenů oproti rostlinám pěstovaným s vodním deficitem. Rozdíly zde nastávaly také mezi zkoumanými genotypy. Nopak tomu bylo u vyhodnocování nadzemních částí rostlin, kdy rostliny stresované vodním deficitem vykazovaly nižší celkovou hmotnost proti rostlinám stresovaným zaplavením. U pěstovaných rostlin byl zjištěn také rozdíl mezi genotypy, kdy vyšších hmotností dosahoval genotyp LG30 v porovnání s genotypem Ambrosini.

Klíčová slova: kukuřice setá, vodní deficit, hypoxie, sušina, spalné teplo

Study of the effect of water deficit and hypoxia on the dry matter formation and combustion heat in maize

Summary

The bachelor thesis deals with the study of the influence of excess and lack of water on the growth of underground and aboveground biomass and also on the amount of energy contained in the dry matter of roots and aboveground parts of plants. This issue is in terms of growing conditions of maize plants sown in the field, where the plant is very often exposed to stress current. The stress to which the plants are exposed is dried up with a water deficit, or, conversely, an excessive amount of water and a lack of soil air. Today, these conditions often cause stress for plants right from the beginning of vegetation.

The experiment was established in partially controlled greenhouse spaces, at 25 ° C during the day and 19 ° C at night and in a natural light regime (14 hours light, 10 hours dark). Experimental maize plants, Ambrosini and LG30 genotypes, were grown in 11x11 cm plastic containers in a garden substrate. The design of the experiment featured three variants. The first variant was irrigated control, the second variant represented stress with water deficit and the third variant simulated permanent wetting. Each variant had four repetitions.

Plants of the control variant were irrigated with distilled water at regular three-day intervals, the amount of watering water was always 150 ml. In the second variant, the water deficit was induced by gradual natural drying of the substrate. Wetting in the third variant was induced by saturating the substrate and then placing the containers in baths with water.

The experiment was started in the phase of 6 true leaves (16 BBCH) and a total of 8 measurements were performed, in a 3 - day interval. The duration of the experiment was 20 days. The energy content of the monitored plants was monitored by the method of combustion calorimetry using the combustion isoperibolic calorimeter IKA C200 (IKA, Germany) 1. Furthermore, the development of dry weight of roots and aboveground biomass was monitored.

The obtained results show that the growth and development of roots is largely influenced by irrigation and water deficit. Plants grown in water-deficient conditions showed a lower total root weight compared to plants grown with water-deficiency. Differences also occurred between the genotypes examined. On the contrary, this was the case when evaluating the above-ground parts of plants, when plants stressed by water deficit showed a lower total weight compared to plants stressed by flooding. The difference between genotypes was also found in cultivated plants, where the LG30 genotype reached higher weights compared to the Ambrosini genotype.

Keywords: sown corn, water deficit, hypoxia, dry matter, heat of combustion

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíle práce a hypotézy	10
3.	Literární přehled.....	11
3.1.	Botanická charakteristika kukuřice seté (<i>Zea mays</i> L.).....	11
3.1.1.	Botanické rozdělení kukuřice.....	12
3.2.	Pěstování kukuřice	12
3.2.1.	Pěstování ve světě.....	12
3.3.	Pěstování v ČR.....	13
3.3.1.	Rizika pěstování kukuřice.....	15
4.	Stres	16
5.	Vodní stres.....	17
5.1.	Poškození rostlin suchem	17
5.2.	Poškození rostlin anoxií.....	18
5.3.	Fyzikální a chemické změny v půdě způsobené anoxií	19
5.4.	Vliv vodního stresu (hypoxie) na rostlinu	19
5.5.	Adaptace rostlin na zaplavení.....	21
6.	Metodika	23
6.1.	Popis odrůd	23
	Ambrosini.....	23
	LG 30 23	
6.2.	Založení pokusu.....	24
6.3.	Měření fyziologické charakteristiky.....	24
	Spalná kalorimetrie	24
7.	Výsledky	25
7.1.	Hmotnost sušiny kořenů.....	25
7.2.	Hmotnost sušiny nadzemní biomasy	28
7.3.	Spalné teplo kořenů	31
7.4.	Spalné teplo nadzemní biomasy	33
8.	Diskuze	36
8.2.	Sušina kořenů a nadzemní biomasy	36
8.1.	Spalné teplo kořenů a nadzemní biomasy	38
9.	Závěr	39
10.	Literatura.....	40

1 Úvod

Na rostliny působí v průběhu jejich života celé množství faktorů, které mohou být buď v optimu nebo v nedostatku či naopak nadbytku. Neoptimální podmínky jsou označovány pojmem stresor. Pro zemědělské plodiny a nejenom jich jsou nejvýznamnějšími stresory ty, které se týkají vody.

Vliv vodního stresu se neprojevuje pouze nedostatkem vody, ale také jejím nadbytkem. Oba tyto stresory ovlivňují růst rostlin a jejich metabolismus. Vzhledem k měnícímu se klimatu jsou polní plodiny vystaveny nejenom přísušku, ale také zamokření způsobeným přivalovými dešti. Proto cílem práce je zjistit rozdíly v tvorbě sušiny a asimilátů juvenilních rostlin kukuřice vlivem nedostatku a nadbytku vody. Podmínky, ve kterých byly rostliny pěstovány připomínaly podmínky, kterým je kukuřice setá vystavena při pěstování v polních podmínkách. V dnešní době je velice časté, že na počátku jara, kdy se kukuřice začíná pěstovat přichází přísušky nebo úplné sucho, a to představuje pro rostlinu ihned na počátku růstu vysokou míru stresu se kterou se musí vypořádat. Dále také v tomto období, kdy je půda vysušená je pravděpodobnost příchodu krátkých prudkých dešťů, což představuje opět značný stres pro rostlinu.

Kukuřice je rostlina pěstována pro dva hlavní účely. Prvním z nich je pěstování jako krmivo pro hospodářská zvířata, tato kukuřice je sklízena v podobě zelené hmoty nebo vyzrálého zrna. Dále také jako obživa pro lidstvo. Druhým hlavním účelem pěstování kukuřice je jako významná energetická plodina.

V roce 2017 byla celková světová plocha pěstování kukuřice 197 mil. ha při celkové sklizni 1,135 mld. tun. V České republice bylo ve stejném roce přibližně 86 tis. ha.

Kukuřice je rostlina, která je velice náročná na vodu, pro kterou je schopna získat až z hloubky několika metrů. Pokud jí to dovolí půdní profil. Dostatek vody je nutný správný vývoj a růst nadzemní biomasy.

Cílem bakalářské práce bylo sledování vlivu nedostatku a nadbytku vody na tvorbu sušiny a obsahu energie u juvenilních rostlin kukuřice.

Cíle práce a hypotézy

Vliv vodního stresu se neprojevuje pouze nedostatkem vody, ale také jejím nadbytkem. Oba tyto stresory ovlivňují růst rostlin a jejich metabolismus. Vzhledem k měnícímu se klimatu jsou polní plodiny vystaveny nejenom přisušku, ale také zamokření způsobeným přívalovými dešti. Na základě těchto údajů byly navrženy cíle práce:

1. Zjistit rozdíly v tvorbě sušiny a asimilátů juvenilních rostlin kukuřice vlivem nedostatku a nadbytku vody.

Na základě stanoveného cíle práce jsou navrženy následující hypotézy:

- a) Existují rozdíly mezi sledovanými genotypy kukuřice na vodní stres?
- b) Jaký vliv má nadbytek a nedostatek vody na tvorbu sušiny jednotlivých orgánů?
- c) Jaký vliv bude mít nadbytek a nedostatek vody na obsah energie v rostlinách?

Kukuřice patří mezi deset nejpěstovanějších polních plodin na světě. Má široké uplatnění nejenm v zemědělství, ale také v potravinářském a energetickém průmyslu, proto byla jako modelová rostlina pro tento pokus vybrána.

3. Literární přehled

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

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) patří do oddělení *Magnoliophyta*, třída *Liliopsida*, podtřída *Commelinidae*, řád *Poales*, čeleď *Poaceae* (Zimolka et al. 2008).

Kukuřice je plodina pocházející z tropické a subtropické oblasti Jižní Ameriky. Její historie se datuje více než 4000 let před naším letopočtem. Bylo vypracováno několik hypotéz, které řeší její přesný původ, ale do dnešní doby však není stále objasněn. Jednou z teorií vzniku je středoamerická a jihoamerická oblast. Nejpravděpodobněji pak Mexiko a Peru. Některé odkazy uvádějí, že nejpříznivější a nejrozmanitější místo pro pěstování kukuřice byla Střední Amerika. (Vokatá, 2014).

Vysoká pravděpodobnost je vznik křížením plané kukuřice, která je již dávno vyhynulá, s planě rostoucími formami jejich nejbližších příbuzných. Po zavedení této primitivní kukuřice do kultury se prokřížila s rostlinou *Tripsacum dactyloides*. Z tohoto křížení vznikla Teosinta (*Euchlaena mexicana*), která se opět mnohokrát spontánně křížila s primitivní kukuřicí. Vlivem prostředí a výběrem dávných i novějších pěstitelů dosáhla kukuřice své dnešní podoby. (Hruška, 1962).

Dnešní podoba kukuřice ve volné přírodě neexistovala. Zrno v palicích je pevně uloženo a kryto obalovými listy a nemůže se samo rozmnožovat (Špaldon a kol., 1982).

Poté, co byla objevena Amerika, se kukuřice postupně dostala také do Evropy a na ostatní kontinenty. Byla zde brána jako vysoce ceněná užitková rostlina. Od Španělska se dostala do Francie a Itálie. Poté putovala dále přes moře až do Ruska. Do střední Evropy se dostala pravděpodobně z Turecka a Rumunska (Vojtová, 2013).

Je to vyšlechtěná rostlina, jejíž hybridy začínají klíčit při 7-8°C. Optimální jsou teploty kolem 25-28°C, pro kvetení 28-30°C a pro tvorbu vegetativních orgánů kolem 20°C (Šroller a kol., 1997).

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) se řadí mezi jednoleté rostliny s robustní stavbou těla. Její výška se v našich podmínkách může pohybovat mezi 1,3 až 3 m a silné 20 až 70 mm. Počet nadzemních článků se geneticky liší a závisí na jednotlivých hybridech. Hybridy pěstované v našich podmínkách dosahují 14 – 20 článků (Špaldon a kol., 1982).

Stonek je vyplněný dužninou, listy široké, protistojné s širokou listovou čepelí, nápadným středním žebrováním a dlouze kopinaté. Listy kukuřice jsou protistojné. Listová čepel je široká s nápadným středním žebrem. Povrch je slabě ochlupený. Listovou pochvou přisedá list ke stéblu. Počet listu je odrůdový znak a je rozdílný v závislosti na ranosti hybridů. Nejméně listů mají velmi rané hybridy (8-10) nejvíce pozdní hybridy (až 24 i více). Kukuřice patří mezi rostliny jednopohlavné a jednodomé. Samčí tyčinkovité květy tvoří klásky v latách. Samičí pestíkovité květy vytváří palice. Je to klas s hrubou hlavní osou, na které jsou zrna v řadách. Počet řad je vždy sudý, obvykle od 8 do 18. Obaly chrání palici před nepříznivými podmínkami, škůdci a před chorobami (Hruška, 1962).

Počátek kvetení laty je od středu. Lata uvolňuje pyl 4 - 5 dní (Šuk a kol., 1998). Podle Hrušky (1962) je kvetení palice za normálních podmínek o 1 – 5 dnů opožděn proti kvetení laty. Zrno kukuřice je z botanického hlediska obilka s rozličným tvarem a barvou zrna. Oplodí zrna postupující zralostí získává hladký charakter. Obaly vajíčka se přeměňují na osemení, které se většinou nezachovává v podobě souvislé vrstvy. Zárodek – embryo se vyvíjí na straně zrna orientované k vřetenu. Zralý endosperm se skládá z části vnější – jednobuněčné aleuronové vrstvy obsahující bílkoviny a vnitřní části, která tvoří převážnou část zrna a obsahuje zásobní látku škrob. Rostlina má svazčitý kořenový systém (Valíček a kol., 2002).

3.1.1. Botanické rozdělení kukuřice

Kukuřice (*Zea mays* L.) patří podle Zimolky a kol. (2008) do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) a skupiny kukuřicovité (*Maydeae*). Systematika kukuřice má více modifikací, které jsou založeny na různých principech. Z praktického hlediska rozdělujeme kukuřice podle tvaru zrna a jejího složení na tyto variety:

Kukuřice obecná (neboli tvrdá) - (*Zea mays* convar. *indurata* Sturt., syn. *Zea mays* convar. *vulgaris* Körn.).

Kukuřice koňský zub - (*Zea mays* convar. *identata* Stur., syn. *Zea mays* convar. *dentiformis* Körn.)

Kukuřice polozubovitá - (*Zea mays* convar. *aorista* Grebensc., syn. *Zea mays* var. *semiindentata* Kulesh)

Kukuřice pukancová - (*Zea mays* convar. *everta* Sturt., syn. *Zea mays* convar. *microsperma* Körn., Grebensc.)

Kukuřice cukrová - (*Zea mays* convar. *saccharata* Sturt.)

Kukuřice škrobová - (*Zea mays* convar. *amylacea* (Sturt., Mont., Grebensc., syn. *Zea mays* convar. *macrosperma* Klonech.)

Kukuřice vosková - (*Zea mays* convar. *ceratina* Grebensc.)

Kukuřice plevnatá - (*Zea mays* convar. *tunicata* St. Hill, syn. *Zae cryptosperma* Bonaf., syn. *Zea glumacea* Larranaga)

Největší význam z hospodářského hlediska má kukuřice obecná (tvrdá), kukuřice koňský zub a kukuřice polozubovitá (Zimolka a kol. 2008)

3.2. Pěstování kukuřice

3.2.1. Pěstování ve světě

Kukuřice je jednoletou píceinou, která je bohatě využívána téměř po celém světě. Oblíbená je především díky svému všeobecnému využití. Hlavní využití kukuřice a jejich produktů je v potravinářství, které nabízí její velké využití. Slouží také jako krmivo pro živočišnou výrobu, v neposlední řadě, a především v poslední době je velmi významné využití kukuřice v oblasti energetiky. Kukuřice patří do

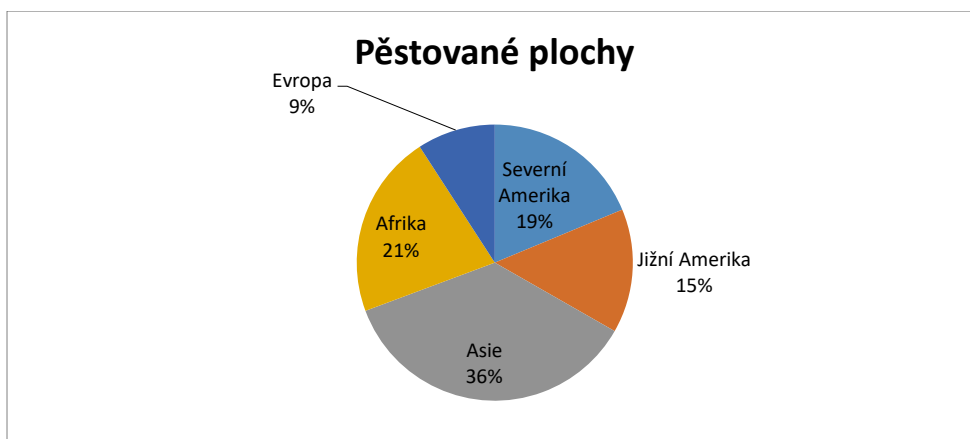
skupiny energetických plodin. Skupina těchto plodin není či nemusí být pěstována jen za účelem využití v potravinářském či krmivářském průmyslu, ale její využití je také v energetice. Jako energetické plodiny jsou označovány plodiny, které splňují některé typické vlastnosti. Především pak C4 rostliny, které vzhledem rychlejšímu průběhu fotosyntézy rychleji nabývají na biomase (Beranovský a Murtinger, 2011).

Jak uvádí Kačicová a Prokeš (2015) i když se vzhledem ke svému původu z Jižní a Střední Ameriky řadí mezi původně tropické plodiny, tak je její adaptace na chladnější podmínky mírného pásma je z velké části výsledkem odborného šlechtění nových a kvalitnějších hybridů kukuřice.

Celková plocha pěstované kukuřice ve světě v roce 2017 byla 197 mil. ha. Největší část ploch zaujímá Asie, kde se pěstuje 67 mil. ha, nejméně pak v Evropě a to 17 mil. ha, viz obr. 1.

Celkové se ve světě v roce 2017 vypěstovalo více na 1,135 mld. tun kukuřice. Nejvyšší množství kukuřice bylo vypěstované v Severní Americe, kde bylo 385 mil. tun, kde byl téměř dvojnásobný výnos z 1 ha. Nejméně kukuřice bylo vypěstováno v Africe, 84 mil. tun.

Výnosy kukuřice v rozvinutých zemích jsou výrazně vyšší díky použití hybridního osiva, zavlažovacích systémů, hnojení a ochrany před škůdci. (FAO, 2019).



Graf č. 1 pěstební plochy kukuřice ve světě (upraveno dle FAO, 2019)

3.3. Pěstování v ČR

Na naše území se kukuřice dostala z oblasti Blízkého východu. Z počátku byla doporučena k pěstování malým rolníkům. Hlavním účelem bylo pěstování na zrno. Ve větším se začala pěstovat v roce 1905 (Hruška, 1962).

K dalšímu rozšíření pěstování došlo v roce 1908, kdy lidé nedoceňovali cukrovku a místo ní tak začali pěstovat kukuřici ve větším množství. Okolo roku 1920 se začala pěstovat také na siláž. Kukuřice byla pěstována převážně v řepářských oblastech, nejčastěji na jihu Moravy a Slovenska. V tehdejší době byla, díky své mnohostrannosti, považována za velice cennou plodinu. V tehdejší době byla pěstována jak na siláž, tak i na zrno, kdy zrno bylo hlavním základem výživy. Byla taktéž pěstována i pro chemický průmysl. Z kukuřičného zrna se vyráběl škrob, cukr, líc, olej a jiné výrobky (Antonov a kol. 1958).

Dle ČSÚ a jeho průzkumů se za posledních 10 let zvyšuje plocha osetá kukuřicí. Narůstá zejména plocha, kde se kukuřice pěstuje na zeleno a siláž, naopak kukuřice pěstovaná na zrno za posledních 10 let mírně se svými plochami klesla. Stejně tak klesl i výnos (t/ha) zrnové kukuřice. Kde nastal propad téměř 1 t/ha a tím i celková sklizeň o více než 260 tis. tun, jak je uvedeno v tabulce 1.

Výnos kukuřice pěstované na zeleno a siláž je velice kolísavý každým rokem. Určitý vliv může mít také způsob pěstování, setí, předsetěvá příprava a předplodina. Avšak i přes tuto kolísavost výnosů můžeme zaznamenat celkový nárůst výnosu o více než 1 tis. tun, který lze přikládat především nárůstu ploch (ČSÚ, 2019).

Tab.1 Plochy a výnos kukuřice v ČR, upraveno dle ČSÚ, 2019)

Plodina	MJ	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kukuřice na zrno	P [ha]	111 660	113 777	105 268	103 276	121 006	119 333	96 902	98 749	79 972	86 407	85 995	81 851
	S [t]	758 781	858 407	889 574	692 589	1 063 736	928 147	675 380	832 235	442 709	845 765	588 105	489 154
	V [t/ha]	6,80	7,54	8,45	6,71	8,79	7,78	6,97	8,43	5,54	9,79	6,84	5,98
Kukuřice na zeleno a siláž	P [ha]	161 884	173 899	166 005	178 608	186 224	205 109	233 815	237 235	244 956	234 396	223 212	224 105
	S [t]	5 569	6 143	6 332	5 901	7 781	8 328	7 635	9 577	7 134	9 545	7 776	6 686
	V [t/ha]	34,41	35,33	38,15	33,04	41,79	40,60	32,66	40,37	29,13	40,72	34,84	29,84

P – plocha sklizně, S – sklizeň (tis.), V – výnos

Největší plochy pěstování kukuřice na zrno se nachází v Jihomoravské a Středočeském kraji, kde se pěstuje více jak polovina celkého množství zrnové kukuřice., jak je uvedeno v tabulce 2. Z uvedených tabulek vyplývá, že nejnižší pěstební plochy se nachází v Plzeňském a Karlovarském kraji jen 1 % ploch - kukuřice na zrno.

Tab. 2 Kukuřice na zrno (upraveno dle ČSÚ, 2019)

Území, kraj	Plocha v hektarech	Výnos v t/ha	Sklizeň v tunách
Česká republika	81 851	5,98	489 154
Hl. m. Praha	238	6,38	1 520
Středočeský	11 304	6,18	69 910
Jihočeský	3 243	6,10	19 797
Plzeňský	715	6,01	4 298
Karlovarský	10	5,95	58
Ústecký	2 012	6,25	12 562
Liberecký	168	5,95	1 002
Královéhradecký	5 023	5,93	29 803
Pardubický	5 901	6,13	36 186
Vysočina	1 744	6,47	11 292
Jihomoravský	37 765	5,75	217 023
Olomoucký	5 645	6,32	35 646
Zlínský	5 104	6,10	31 124
Moravskoslezský	2 977	6,36	18 934

Plochy silážní kukuřice v roce 2018 jsou uvedeny v tabulce 3. Z ní je patrné, že plochy seté kukuřicí na siláž jsou značně vyrovnanější oproti kukuřici zrnové. Důsledkem může být dřívější sklizeň nebo lepší přizpůsobení se podmínkám.

Tab. 3 Plochy silážní kukuřice (upraveno dle ČSÚ, 2019)

Území, kraj	Plocha v hektarech	Výnos v t/ha	Sklizeň v tunách
Česká republika	224 105	29,84	6 686 996
Hl. m. Praha	238	32,21	7 676
Středočeský	30 693	29,82	915 200
Jihočeský	30 157	29,68	894 987
Plzeňský	23 848	29,26	697 673
Karlovarský	2 476	28,92	71 599
Ústecký	7 125	30,38	216 485
Liberecký	3 000	29,76	89 300
Královéhradecký	15 654	30,29	474 105
Pardubický	19 307	30,10	581 223
Vysočina	37 644	29,99	1 128 982
Jihomoravský	21 123	28,77	607 652
Olomoucký	15 565	31,06	483 403
Zlínský	8 345	30,38	253 538
Moravskoslezský	8 930	29,70	265 5

3.3.1. Rizika pěstování kukuřice

Důležitým požadavkem při pěstování kukuřice je dodržování standardů GAEC (Good Agricultural and Environmental Conditions), neboli DZES (Dobrý zemědělský a environmentální stav půdy) je standard, který zajišťuje zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí, kdy bylo v roce 2010 vydáno nařízení vlády ve sbírce zákonů č. 479/2009 Sb. Jedná se tak o pěstování na erozně ohrožených pozemcích. V případě ploch, které budou takto označeny, vzniká povinnost pro příjemce dotací dodržovat podmínky pro pěstování širokořádkových plodin – kukuřice, brambor, cukrové řepy apod. Z tohoto nařízení vyplývá nutnost využívání půdoochranných technologií. Obecně se standardy týkají pokrytí povrchu půdy, přerušovacího zasakovacího pásů, souvrátí, setí a sázení po vrstevnici (Ulrich 2012).

Prvky biologické ochrany, jako vrstevnicové pásy trvalých kultur a vodní toky s vegetačním doprovodem, měly v simulacích naopak jen nízkou účinnost při zmírňování následků eroze a byly účinné pouze při nízkých návrhových srážkách. Střední účinnosti při snižování eroze bylo dosaženo při simulaci rozdělení pozemku na menší parcely, či pásy, při střídání kukuřice a ozimých obilovin. Nejvhodnějším opatřením při všech třech návrhových srážkách je tedy podle modelu Erosion-3D zařazení půdoochranných technologií zpracování půdy (Vogel et al. 2016).

Příčiny povrchové vodní eroze Erozní procesy vznikají interaktivním působením přírodních a antropogenních činitelů, které je vyvolávají.

Nejvýznamnějšími činiteli jsou:

- atmosférické srážky a povrchový odtok,
- morfologie území,
- vlastnosti půdy,
- pokryv půdy vegetací,
- způsob obhospodařování půdy,
- nedostatek organické hmoty v půdě
(Neružil a kol. 2015).

4. Stres

Stres je stav rostliny, který je vyvolaný působením stresových faktorů. Stresová situace je velice komplikovaně studovatelná vzhledem ke značné vnitrodruhové a mezidruhové rozmanitosti. Na každou rostlinu působí jiný stresor a také jinou měrou. Studium je velice komplikované i vzhledem k tomu, že velice často působí jeden stresor na druhý nebo na rostlinu působí celý stresový komplex v závislosti na vnějších podmínkách nebo zdravotním stavu rostliny (Johnová 2008).

Stresové faktory můžeme rozdělit na dvě kategorie. Jsou to abiotické a biotické. Mezi abiotické stresory patří fyzikální a chemické faktory jakými jsou například: extrémní teploty (nadměrné horko, extrémní mráz), rychlost a síla větru, nadměrné záření, nedostatek vody, nedostatek kyslíku, nedostatek živin, toxické kovy, plyn apod. Mezi biotické faktory zařazujeme takové, při kterých funguje interakce mezi rostlinami a jinými organismy. Mohou to být třeba patogenní mikroorganismy, parazitismus, aleopatie apod (Johnová 2008).

Rostlina je celý život fixovaná na jedno stanoviště a v důsledku toho si během evoluce vybudovala ochranné mechanismy, které chrání její životní funkce. Tyto mechanismy působí v závislosti na intenzitě stresů v místě výskytu. Schopnosti rostlin jsou charakterizovány jako aktivní a pasivní. Pasivní způsob je většinou dlouhodobého charakteru (Johnová 2008).

Řadí se sem například zesílení kutikuly, impregnace buněčných stěn, nebo zásobení vody. K tomu také velice dopomáhá vhodné načasování životních cyklů (doba opylení, zrání semen). Z hlediska fyziologie jsou aktivní mechanismy zajímavější. Je to okamžitá reakce rostliny na aktuální působení faktorů. Zvýšení odolnosti vůči stresorům může mít krátkodobý charakter (syntéza metabolitů, zvýšení aktivity fyziologických procesů), tak i dlouhodobý charakter (tvorba nových orgánů, změny vnitřní struktury apod). Oboje však může mít za následek snížení tvorby biomasy. Zvýšení odolnosti je většinou doprovázeno zvýšením energetických požadavků na úkor jiných životních funkcí. Tyto změny i nadále ovlivňují další vývoj rostliny i poté, kdy nastanou optimální podmínky (Sgherri at al., 1993)

Působení stresorů nemusí být vždy jen nepříznivé. Často mohou pozitivně ovlivňovat důležité procesy rostlin. Lze sem zařadit například klíčení semen nebo tvorbu květních orgánů. Mírný stres je pro rostlinu velice důležitou součástí, kdy u rostliny zvyšuje odolnost při extrémní zátěži a také je velice

důležitý při rozvoji biodiverzity druhů. Posuzování působení stresorů a jejich případné následky je velice obtížné. Důležitou roli hraje doba, po kterou stres na rostlinu působí (Johnová 2008).

Pokud nějaký stresor pronikne k plazmatické membráně tak dochází ke spuštění stresové reakce. Tyto reakce se dělí do 5 fází. Poplachová fáze, restituční fáze, otužovací fáze, fáze rezistence a fáze vyčerpání (Johnová 2008)

5. Vodní stres

Vodní stres je možné rozdělit do dvou kategorií, jednou z kategorií je nedostatek vody (vodní deficit, přísušek a sucho) a druhou kategorií představuje naopak nadbytek vody (anoxie, hypoxie). Zaplavení půdy a tím působení stresoru patří na naši planetě mezi časté jevy kdy je téměř jedna třetina zemědělsky obhospodařovaných ploch zaplavena ať už příležitostně nebo dlouhodobě, a to v různém množství (Samad et al. 2001, Zaidi et. al. 2003).

Sucho je velmi neurčitý, avšak v meteorologii a klimatologii často užívaný pojem, znamenající v zásadě nedostatek vody v atmosféře, půdě či rostlinách. Jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení sucha neexistují, a to zvláště s ohledem na rozmanitá hlediska meteorologická, hydrologická, zemědělská, pedologická, bioklimatologická a celou řadu dalších faktorů, z nichž mezi nejvýznamnější patří škody způsobené suchem v různých oblastech národního hospodářství. Definice sucha proto není zdaleka jednotná a podle příčin a dopadů ho můžeme charakterizovat z několika pohledů. Sucho je většinou jevem nahodilým, který se vyskytuje z velké části nepravidelně v období podnormálních srážek s trváním od několika dní až po několik měsíců. Srážkový deficit v určitém časovém intervalu a na určitém místě je v podmínkách České republiky bez výjimky primární příčinou vzniku sucha. Sucho bývá velmi často doprovázeno nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu. Důsledkem těchto faktorů je vyšší výpar (evapotranspirace) a další prohlubování nedostatku vody (ČHMU, 2020)

5.1. Poškození rostlin suchem

Voda je nezbytná pro metabolismus rostliny, je univerzálním rozpouštědlem látek, médiem pro rozvod minerálních látek a organických látek vodivým systémem rostliny, je zdrojem elektronů a protonů v procesu fotosyntézy, má význam při regulaci teploty rostliny.

Sucho je hlavním environmentálním stresovým faktorem, který ovlivňuje růst a vývoj rostlin. Deficit sucha nebo půdní vody může být chronický v klimatických oblastech s nízkou dostupností vody nebo náhodný a nepředvídatelný v důsledku změn povětrnostních podmínek v období růstu rostlin. Očekává se, že účinky sucha se budou zvyšovat se změnou klimatu a rostoucím nedostatkem vody. Voda je stále vzácnějším zdrojem vzhledem k současným a budoucím potřebám lidské populace a společenským potřebám a klade důraz na udržitelné využívání vody (Rosegrant a Cline 2003).

Rostliny vyvinuly specifické aklimatizační a adaptační mechanismy, které reagují na krátkodobé a dlouhodobé stresové období a přežívají je. Analýza těchto ochranných mechanismů přispěje k našim znalostem tolerance a odolnosti vůči stresu. Komplexní reakce na environmentální stresor, od vnímání k transkripčním a fyziologickým změnám, je třeba zvážit na úrovni biologie globálních systémů, aby bylo možné studovat více interaktivních složek v tomto biologickém procesu (Krishnan a Pereira, 2008).

V odezvě na sucho způsobené nedostatkem půdní vody mohou rostliny vykazovat buď mechanismy úniku sucha, nebo mechanismy odolnosti proti suchu, přičemž rezistence je dále klasifikována na vyhýbání se suchu (zachování potenciálu vody v pletivech) a snášenlivost na sucho (Levitt, 1980, Price et al. 2002).

Únik ze sucha je popisován jako schopnost rostlin dokončit životní cyklus před tím, než dojde k vážnému stresu. Vyhýbání se suchu je udržováním vysokého potenciálu vody v pletivech i přes nedostatek půdní vody. Mechanismy, jako je zlepšená absorpce vody ve stresu a schopnost rostlinných buněk držet získanou vodu a dále snižovat ztráty vody, umožňují vyhýbat se suchu. Rostliny reagují na nedostatek vody pomocí mechanismů vyhýbání se zlepšenými kořenovými vlastnostmi (Price et al. 2002) a snížením ztráty vody sníženou vodivostí epidermální (stomatální a kutikulární), sníženou absorpcí záření a sníženou odpařovací plochou (plocha listu). Tolerance sucha je schopnost odolávat nedostatku vody s nízkým potenciálem vody v pletivech (Ingram a Bartels 1996).

Rostliny pod stresem sucha mohou přežít mimo jiné tím, že udržují buněčný turgor a snižují ztrátu odpařené vody akumulací kompatibilních solutů (Yancey et al. 1982).

5.2. Poškození rostlin anoxií

Hypoxie je stav, kdy dochází k omezenému přístupu kyslíku k rostlinám v půdě. Tento jev způsobuje nejen zaplavení půdy, ale také utužení půdy (v případě že je v půdě vysoký podíl jílu), nebo také vznikem tenké ledové vrstvičky na povrchu půdy. V důsledku těchto procesů dochází ke zhoršení transportu kyslíku v půdě a k rozvoji anaerobních procesů (Armstrong a Gaynard, 1976). Zaplavením lze chápat množství vody v půdě a na jejím povrchu, které se nevsákne maximálně do dvou dnů. Stojící voda se dostává do průduchů, ze kterých vytlačuje vzduch a výrazně tím snižuje difuzi plynů. K tomuto jevu dochází při nadměrném zavlažování, při záplavách nebo při krátkodobé vydatné srážkové činnosti (Čiamporová a Mistrík 1991, Rijnders et al. 2000, Voeselek et al. 2006).

Rozvoj anaerobních procesů je doprovázen změnou pH či poklesem redoxního potenciálu (Probert a Keating, 2000). To má za důsledek uvolnění a nežádoucí nahromadění různých iontů a metabolitů (mangan, kyselina mléčná aj.), často se vyskytujících v takovém množství, které může být pro rostliny toxické (Bláha et al., 2003).

K dosažení takovýchto jevů (hypoxie i anoxie) může dojít i při nevhodné struktuře půdy, horší respirační aktivitě rostlin, teplotě či také při aktivitě mikroorganismů, které se v půdě vyskytují (Grineva 1975, Levitt 1980, Schumel et al., 1994).

5.3. Fyzikální a chemické změny v půdě způsobené anoxií

Kromě přímého negativního vlivu na fyziologické procesy v rostlinách má hypoxie vliv i na chemismus půdy a mikrobiální složky rhizosféry. Kořeny rostlin a mnoho půdních mikroorganismů potřebuje pro svůj metabolismus kyslík. V zaplavené půdě je jeho přísun ale značně omezený. Po jeho spotřebování přecházejí aerobní mikroorganismy do klidové fáze nebo odumřou (Ponnamperuma 1972).

Zaplavení půdy naopak prospívá množení anaerobních mikroorganismů, které místo kyslíku v půdě využívají jiné látky jakožto akceptory elektronů a převádějí je do redukováného stavu (Bunn a Poyton 1996). Rychle se v půdě také množí anaerobní mikroflóra na úkor aerobní (Hutchinson 1957). Mohou se zde ale vyskytovat i aerobní bakterie (Nilsen a Orcutt 1984). Mikroorganismy ale také ovlivňují dostupnost a množství živin potřebné pro rostliny (Roden a Edmonds 1997, Baldwin et al. 1997).

Mnoho půdních mikroorganismů má ale schopnost využívat jako akceptory elektronů i jiné sloučeniny a převádět je tak do redukováného stavu (např. denitrifikace, redukce síranů na sulfan, redukce Fe^{3+} a Mn^{4+}). V půdě se hromadí rozpuštěný CO_2 , produkovaný při anaerobní glykolýze v kořenech, a pH půd většinou roste. Zaplavená půda má tedy nižší redoxní potenciál a obvykle neutrální pH (Kirk et al., 2003).

Změny, ke kterým dochází v půdě je změna pH, která je způsobena špatnou rozpustností kyslíku při zhoršené difuzi plynů, ale také změna redoxního potenciálu a vznik redukčního prostředí (Pezeski 1994, Nilsen a Oddutt 1996, Rijnders et al. 2000). Při zaplavení kyselé půdy se pH zvyšuje, v případech alkalické půdy je tomu naopak (Ponnamperuma 1972).

Při nadměrném zaplavení a tím nedostatku kyslíku v půdě dochází k omezení činnosti nitrifikačních bakterií a aktivuje se činnost denitrifikačních, které redukují NO_3^- přes NO_2^- až na N_2 (Watanabe et al. 1996). Dále je omezen také proces mineralizace i koloběh organické hmoty v půdě, protože chybí kyslík pro oxidaci NH_4^+ na NO_3^- (Probert a Keating 2000). Při vysokém pH půdy vyprchává do atmosféry NH_3 (Reddy a Patrick 1989).

Během zaplavení dochází také k horší výměně iontů mezi půdou a rostlinou. Jsou to například ionty fosforu, draslíku, mědi, železa, nitrátů apod. (Drew 1988, Gibbs a Greenway 2003). Tím pak dochází k nahromadění jiných produktů (oxid uhličitý, ethanol, ethylen, kys. mléčná) v rostlinách i v půdě (Pezeshki 2001).

Obsah kyslíku v půdě je zredukován nebo i vyčerpán již 72 hodin po zaplavení (Purvis a Williamson 1972, Fausey a McDonald 1985). K redukcí dalších přítomných látek dochází v delším časovém intervalu (Ponnamperuma 1984).

Dále také dochází ke změně toku tepla a změněnému příjmu množství absorbovaného záření. Mění se také teplota půdy (Ponnamperuma 1984), kdy pro její zvýšení je požadováno dodání velkého množství tepla (Wesseling 1974).

5.4. Vliv vodního stresu (hypoxie) na rostlinu

Zaplavení půdy je jedním z faktorů, které může významně negativně ovlivnit růst a vývoj rostlin, a tím jejich výnos. Příčin vedoucích k zaplavení je mnoho. Vedle přirozených příčin jako je těžká a jílovitá půda s malými zrny a velmi malými póry jsou to i výrazné a často necitlivé zásahy člověka v důsledku těžké mechanizace zemědělství. Taková půda ztrácí svou přirozenou strukturu. Její póry se zanášejí a v

hloubce několika desítek centimetrů se vytváří utužená, mnohdy nepropustná vrstva, která brání vodě prosakovat do hlubších vrstev. I při mírném dešti pak dochází k zaplavení svrchních vrstev půdy. V zaplavené půdě je difuze plynů velmi zpomalená (difuze plynů je ve vodném prostředí o čtyři řády pomalejší než v plynném), takže výměna plynů mezi podzemními orgány rostlin a okolním prostředím je velmi zpomalená. Adostupný O_2 je rychle vyčerpán metabolizujícími kořeny a půdními mikroorganismy (Armstrong a Gaynard 1976, Faulkner a Richardson 1989, Pezeshki 1994, Nilsen a Oddutt 1996, Armstrong a Drew 2002, Voeselek et al. 2006).

Zadržovaný kyslík je navíc velmi rychle vyčerpán metabolickými procesy kořenů i půdních organismů. Podobná situace je ale běžná v mokřadních biotopech, které jsou zaplavovány dlouhodobě, periodicky nebo i trvale (Colmer, 2003).

Adaptace, ochrana proti pronikání toxických redukováných sloučenin ze zaplaveného substrátu do nitra kořene a zároveň regulace úniku (ztrát) kyslíku z kořene do rhizosféry a aklimatizace na dlouhodobé zaplavení jsou tedy spojené s vytvořením takových morfologických mechanismů, které vedou k obnově přívádění kyslíku k pletivům kořene například z nadzemních částí rostlin nebo z povrchových kořenů využívajících lépe provzdušněné svrchní vrstvy půdy (Soukup, 2005).

Stres, který je zapříčiněn nadměrným zaplavením kořenů, způsobuje snížení obsahu fotosyntetických pigmentů (chlorofylu α) a zmenšení listové plochy (Votrubová et al. 1992). Při dlouhodobém působení stresorů velmi často dochází ke ztrátě pigmentů u citlivých genotypů (Van Ginkel et al. 1992). K poklesu pigmentů v důsledku hypoxie dochází stejně jako při působení jiných stresorů (Drew 1990, Maslova a Popova 1993, Ashraf a Rehman 1999).

Rostlina se začíná bránit vůči nedostatku kyslíku již ve fázi, kdy jeho koncentrace poklesne pod 4 % v mezibuněčných prostorách. Nejrychleji začne rostlina snižovat respiraci kořenů, a to v případě že jsou rostliny tolerantní na zaplavení či netolerantní (Marshall et al. 1973, Su a Lin 1996, McNamara a Mitchell 1991). Rostlina dále inhibuje aerobní respirační procesy jak v buňkách kořenů, tak i půdních mikroorganismů. Nejdříve je zpomalená či úplně zastavena činnost elektronového transportního řetězce v mitochondriích, kde se nahromadí NADH a poté inhibuje činnost citrátového cyklu (Vartapetain 1991). Pokles ATP je odezvou na progresivní inhibice biosyntetických aktivit (cukry, aminokyseliny, proteiny nebo lipidy), jak uvádí Geigenberger (2003).

Rostliny však ohrožuje nejen samotný nedostatek kyslíku, velké nebezpečí pro rostliny představují i zplodiny vznikající při anaerobním dýchání kořenů a meziprodukty mikrobiálního uhlíkatého metabolismu (Drew, 1983). Snižuje se půdní redoxní potenciál, mění se pH a dochází k redukci některých prvků, jež se pak uvolňují ze stabilních nerozpustných forem a hromadí se v koncentracích, které jsou pro rostliny toxické (Jackson a Armstrong, 1999). Dochází k redukci železa, manganu a síry, k hromadění H_2S či NO_2^- (Armstrong et al., 2000).

K pokrytí normálních energetických potřeb musí rostlina využít mnohonásobně vyšší množství organických látek, a to vede velice rychle k jejímu vyčerpání (Davies 1980). Nižší dávka ATP vede k omezení funkcí rostliny jako je například růst kořenů nebo nadzemní části (Malik et al. 2002). Hromadění laktátu bylo pozorované především u kukuřice a rostlin netolerantních k zaplavení (řepka setá, nebo rajče jedlé) (Menegus et al. 1989, Buchanan et al. 2000).

Jednou z prvních reakcí je pokles fotosyntézy. (Talbot et al. 1987, Ashraf a Rehman 1999, Godde 1999, Vervuren et al. 1999). Další reakcí je v důsledku uzavírání průduchů pokles CO_2 a tím i celkový pokles fotosyntézy (Sage et al. 1990, Jackson 1991).

První příčinou poklesu fotosyntézy je poškození vnitřní struktury fotosyntetického aparátu (fotoinhibice, fotooxidace). Podobně tomu je také u jiných abiotických faktorů (Smethurst a Shabala 2003). Pokles fotosyntézy, vodivosti průduchů a fixace CO_2 vede ke snížení dostupnosti NADP^+ . V těchto podmínkách je silně zredukován volný molekulární kyslík, ze kterého vzniká superoxid a následně reaktivní formy kyslíku (Pastori a Del Rio 1997, Titarenko 2000, Elstner a Osswald 1994).

K fotoinhibici dochází tehdy, pokud množství absorbované energie přesáhne množství energie využitě v elektrotransportním řetězci pro syntézu ATP a NADPH, které se spotřebují s fixací CO_2 (Liao a Lin 1994, Xu a Shen 1999). S hypoxickým stresem souvisí také rychlost poklesu sekundárních fotosyntetických procesů spojených s asimilací CO_2 oproti primárním fotochemickým dějům spojených s absorpcí zářivé energie a transportem ve fotosyntetickém transportním řetězci. Hypoxie tak způsobuje snížení kapacity fotosyntetického aparátu, který se projevuje na úrovni PSII. Tento jev působí jako ochranný mechanismus, kterým lze předcházet fotoinhibičnímu poškození fotosyntézy (Crichley et al. 1999, Xu a Shen 1999, Ahmed et al. 2002a).

Fotoinhibice lze považovat za kontrolní ochranný mechanismus, který slouží k disipaci nadměrné energie a k minimalizaci poškození fotosyntetického aparátu, jelikož se fotosyntetické funkce rychle obnoví během minuty až hodiny poté. K fotoinhibici dochází často *in vivo* za každé ozáření. Reparační mechanismy nejsou obvykle tak rychlé, aby zabránily vývoji symptomů fotoinhibice za nestresových podmínek (Aro et al. 1993, Bailey-Serres a Chang 2005).

Lze rozlišovat dvě fáze fotoinhibice časnou a pozdní fázi. U časně fáze dochází k poklesu Fv/Fm a dalších fluorescenčních parametrů. Důsledkem jsou aktivace ochranných mechanismů. Pozdní fáze je charakteristická tím, že dojde k překročení kapacity ochranných mechanismů a dochází dále ke vzniku silných oxidačních činidel a poškození fotosyntetického materiálu (Minkov et al. 1999, Yordanova et al. 2003).

Ochranné mechanismy které zabraňují poškození komponent fotosystémů lze rozdělit na mechanismy disiparační, a antioxidační. Dále potom na mechanismy dlouhodobého charakteru (aktivace specifických proteinů) (Demmig-Adams a Adams 1996a, Hideg 1997, Havaux a Kloppstech 2001, Gilmore 1997).

5.5. Adaptace rostlin na zaplavení

Během evoluce se u rostlin vyvinuly dvě na sebe odlišné strategie, jak se rostliny vypořádávají se zaplavením. Jedna skupina rostlin je tolerantní k anoxii – nemokřadní rostliny (sled jejich metabolických procesů se dokáže vyrovnat s krátkodobým snížením množství kyslíku). Strategie druhé skupiny rostlin je vyhnout se anoxii (kukuřice). Tato skupina rostlin má dlouhodobou adaptaci na hypoxii. Tyto strategie jsou odlišné v závislosti na rostliném druhu a genotypu a také mezi jednotlivými typy orgánů a pletiv (Johnson et al. 1989).

Většina rostlin je schopna přežít jen krátkodobé zaplavení (hodiny, maximálně dny). Schopnost tolerovat delší dobu nebo dokonce trvale nepříznivé podmínky zaplaveného substrátu vyžaduje řadu metabolických a strukturních adaptací. Obecně existují dva přístupy – tolerance (schopnost po nějakou

dobu přežít zaplavení, případně opravit následky nedostatku kyslíku) a avoidance („vyhnutí se“ působícímu stresu). Strategie avoidance je spojena se schopností zajistit dostatečný přísun kyslíku ke kořenovým buňkám a minimalizovat tak dopad zaplavení na energetický metabolismus rostliny. Mokřadním rostlinám umožňuje kolonizovat zaplavené lokality systém vnitřního provzdušňování - mezibuněčné prostory a kanály tvoří kontinuum mezi nadzemní a podzemní částí rostliny a zprostředkovávají transport plynů z atmosféry do kořenů. V kořenech mokřadních rostlin se konstitutivně diferencuje aerenchym - pletivo s velkým podílem mezibuněčných prostor. Schopnost indukovat tvorbu aerenchymu v podmínkách hypoxie nalezneme i u některých nemokřadních rostlin (např. kukuřice) (Tylová a Soukup 2010).

U krátkodobé tolerance dochází hlavně ke změnám v koncentraci fytohormonů a k syntéze stresových proteinů. (Manjumath a Sach 1997). U těchto rostlin dochází k navýšení koncentrace, kyseliny abscisové, poté následuje snížení syntézy cytokininů a zvýšení citlivosti na ethylen (Salisbury a Ross 1992). Kyselina abscisová je syntetizovaná v kořenech a listech. V kořenech zaplavených rostlin velice rychle narůstá její koncentrace (o 1 - 2 řády) (Yordanova et al. 2005).

Při zaplavení je v kořenech zpomalena syntéza ethylenu. Difuze kyslíku a dostupný O₂ je rychle vyčerpán metabolizujícími kořeny a půdními mikroorganismy (Soukup 2005). Takovou adaptací je například vytvoření aerenchymu v kořenech (Armstrong, 1979). Stejně jako tvorba cytokininů, jehož koncentrace v kořenech vzrůstá (Rijnders et al. 2000).

Při úplné anoxii ethylen interaguje s dalšími fytohormony a po několika hodinách vyvolá buněčnou smrt v kořenových čepičkách (Drew et al. 2000).

V hypoxickém prostředí vznikají rychleji nové adventivní kořeny. Ve srovnání s hlavními kořeny jsou hodně ztloustlé a málo větvené (Zaidi et al. 2002). Zvětšení kořenové plochy je snahou posílit oxidaci rhizosféry a zvýšit aerobní respiraci. Kořeny zaplavených rostlin začínají růst směrem vzhůru k povrchu půdy (Liao a Lin 2001).

Změny metabolických procesů jsou spojeny se změnami syntézy proteinů. Regulace exprese přítomných genů jsou na úrovni transkripce, translace a posttranslační úrovně (Russell a Sach 1992).

I přes to, že jsou velmi nepříznivé účinky na a hypoxické prostředí, tak je mnoho rostlin, které se velmi dobře adaptují na zaplavení. Dokáží tak úspěšně růst i na trvale zamokřených či zaplavených půdách. (Crawford a Braendle 1996). Mezi takové rostliny lze zařadit například rákosiny, rýži nebo třeba kamyšník polní (*Bolboschoenus planiculmis*), mezi opačné případy rostlin patří například kaktusy nebo sukulenty. Základem přizpůsobení rostlin adaptovaných na zaplavení je rychlý transport kyslíku ke kořenům, což umožňuje rozsáhlý systém intercelulár v kořenovém kortexu. Může to být až 60% z celkového objemu pletiv (Jackson a Armstrong 1999).

Kukuřice je rostlina, která na hypoxii reaguje velmi dobře. Její maximální objem intercelulár v kořenech je přibližně 35 % (Hlavatá 1992). V intercelulárách neprobíhá transport plynů pouze difuzí, ale také hromadným tokem, který je mnohem rychlejší. Kolísání teplot v průběhu dne v nadzemní části, nebo snadný únik oxidu uhličitého do vody v okolí kořenů může být hlavní hybnou silou hromadného toku. Kyslík, který je transportovaný do kořenů je využíván například k respiračním procesům, ale také k detoxikaci některých prvků (Ponnamperuma 1984). U mnoha rostlin, které jsou adaptované na hypoxii, se vyskytuje silně lignifikovaná exodermis, která omezuje difuzi kyslíku z poškozených míst kořenů

(Soukup et al 2002). Vysoce účinnou adaptaci mokřadních rostlin je opačný geotropismus kořenů a převažující tvorba vzdušných nadzemních kořenů (Bláha et al. 2003).

6. Metodika

Ve skleníkovém pokusu byl sledován vliv vodního deficitu na hypoxie na juvenilní rostliny kukuřice. U rostlin kukuřice byl sledován kalorimetricky transport asimilátů a tvorba energeticky bohatých látek a dále byla sledována hmotnost sušiny jednotlivých rostlinných orgánů.

6.1. Popis odrůd

Ambrosini

Odrůda Ambrosini je odrůdou tříliniovou, která je používána k pěstování na silážní účely, nebo k použití pro bioplynové stanice. Číslo rannosti FAO je 220. Tato odrůda má vysoký výnos suché hmoty, který se průměrně pohybuje okolo $17,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, sušina 31 %, obsah škrobu 31,8 % a 5,7 t je výnos škrobu na hektar. Výnos zelené hmoty patří také mezi vysoké hodnoty. Rostlina dokáže velice dobře ukládat škrob ve všech oblastech pěstování. Pro hospodářská zvířata je velice důležitou vlastností vynikající stravitelnost zbytků rostlin. Díky širokému sklizňovému zrnu, dává rostlina větší časový prostor pro sklizeň. Tato odrůda je velice energeticky bohatá a má vysokou stravitelnost siláže. Vysoká počáteční rychlost vývoje patří také k hlavním vlastnostem. Odrůda je také velmi tolerantní k přísuškům a má vysokou rychlost dozrávání zrna. Počet rostlin, které jsou připraveny ke sklizni, se pohybuje kolem 100 tis. rostlin/ha.

Rostlina je středně vysoké až vysoká, listová čepel vzpřímená až slabě ohnutá, palice nasazeny středně vysoko, počet řad zrna je středně vysoký až vysoký. Typ zrna je tvrdý.

Odrůda je doporučována pro pěstební oblasti řepařské, obilnářské a bramborářské. V teplejších oblastech se pěstuje jako doplněk pro ranou sklizeň na siláž, v obilnářské a bramborářské je hlavním zdrojem siláže pro skot. Odrůda byla registrována v roce 2009 (Povolný a Vacek, 2018)

LG 30

Středně raný zrnový hybrid s vysokým výnosem zrna. Rostlina reaguje na zvýšenou intenzitu pěstování, maximum asimilátů ukládá do zrna na úkor zbytku rostliny. S flexibilní palicí upřednostňuje nižší výsevky. Rostlina vytváří uniformní porost s pravidelně nasazenými palicemi. Velkou předností je rychlý nástup kvetení. Díky tomu se vyhne vysokým teplotám a suchu při opylování. Tenké vřeteno a zrno typu koňský zub jsou zárukou rychlé ztráty vody při dozrávání. Doporučená výrobní oblast je teplá obilnářská, řepařská a kukuřičná výrobní oblast. Doporučený výsevek je 75 – 85 tis. rostlin/ha. Číslo rannosti FAO je 300 (Povolný a Vacek, 2013).

6.2. Založení pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku KBFR FAPPZ, při teplotě 25 °C ve dne a 19 °C v noci a při přirozeném světelném režimu (14 hodiny světlo, 10 hodin tma). Pokusné rostliny byly pěstovány v plastových nádobách o velikosti 11x11 cm v zahradním substrátu. Substrát je jemný se strukturou 0-5 mm. Obsahuje 70 % bílé rašeliny a 30 % černé. Substrát je neslévavý, nezasolený a hodnota půdní reakce pH ve vodném roztoku je v rozmezí 5,5 – 6,5. Substrát neobsahuje zárodky patogenních organismů, škůdců či semena plevelů. Obsah spalitelných látek ve vysušeném vzorku substrátu je 55 % a podíl částic přesahujících 25 mm nepřesahuje 5 %. (Sinco).

Design pokusu představuje tři varianty. První varianta byla zavlažovaná kontrola, druhá varianta představovala stres s vodním deficitem a třetí varianta simulovala trvalé zamokření. Každá varianta měla čtyři opakování.

Rostliny kontrolní varianty byly zavlažovány destilovanou vodou v pravidelných týdenních intervalech, množství závlivkové vody bylo vždy 150 ml. U druhé varianty byl vodní deficit navozen postupným přirozeným vysycháním substrátu. Zamokření u třetí varianty bylo navozeno nasycením substrátu a následným umístěním nádob do van s vodou.

Pokus byl zahájen ve fázi 6 pravých listů (16 BBCH) a uskutečnilo se celkem 8 měření, v 3 - denním intervalu. Délka pokusu byla 20 dnů.

6.3. Měření fyziologické charakteristiky

Spalná kalorimetrie

Obsah energeticky bohatých sloučenin byl sledován pomocí spalného isoperibolického kalorimetru IKA C200 (IKA, SRN), viz obr. 1. Vzorky rostlinného materiálu po sušení byly homogenizovány na rychlomlýnku p14 FRITCH na velikost částic 0,2 mm. Energetický obsah ve vzorcích byl sledován metodou spalné kalorimetrie, úplné spálení vzorku probíhalo ve 100% kyslíkové atmosféře při tlaku 30 MPa. Pro stanovení spalného tepla rostlinného materiálu byly použity normy ČSN EN 14918 a ČSN ISO 1928.

Hodnota spalného tepla byla vypočtena 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.



Obr. 1 Spalný kalorimetr IKA C200 (ilabo.cz)

Stanovení sušiny jednotlivých orgánů

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. Po namletí byly vzorky naváženy na 0,5 g na analytických laboratorních vahách Ohaus AX124.

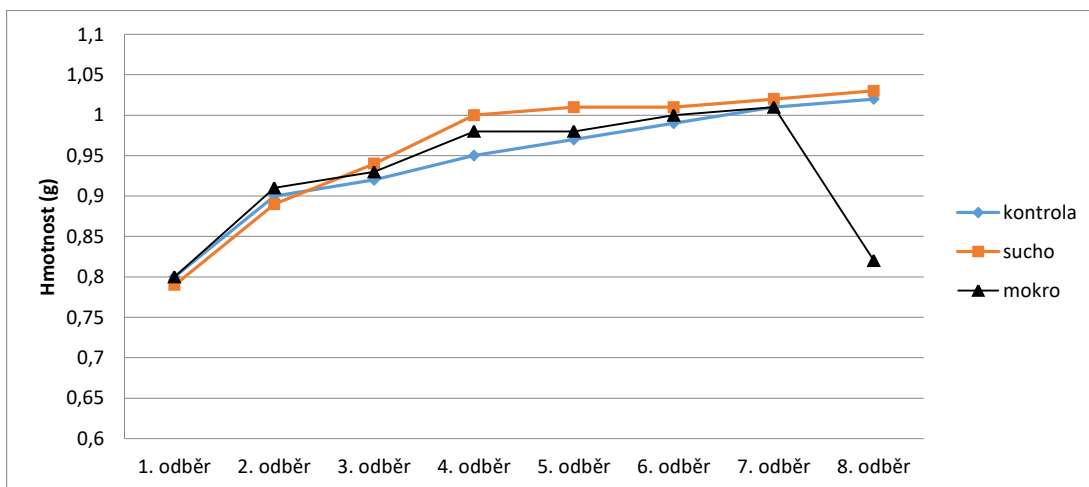
7. Výsledky

7.1. Hmotnost sušiny kořenů

V grafu č.6 jsou uvedeny změny hmotnosti genotypu Ambrosini v závislosti na termínu odběru a variantě pokusu. Z něho vyplývá, že v průběhu ontogenetického vývoje rostlin se hmotnost kořenů zvyšovala.

Vyjimku z toho trendu vykazují rostliny z varianty zamokřené, u nichž se na konci sledovaného období hmotnost sušiny kořenů snížila na hodnotu 0,82 g.

Z uvedeného grafu dále vyplývá, že hmotnost kořenů genotypu Ambrosini se pohybovala v intervalu hodnot od 0,79 g ve variantě s vodním deficitu při prvním odběru do 1,03g ve stejné variantě při posledním odběru. V případě rostlin kontrolních byla nejnižší hmotnost kořenů zjištěna na počátku pokusu, kdy její hodnota činila 0,8g. Naopak nejvyšší hmotnost kořenů dosahovaly kontrolní rostliny na konci pokusu, kdy činila 1,02g.

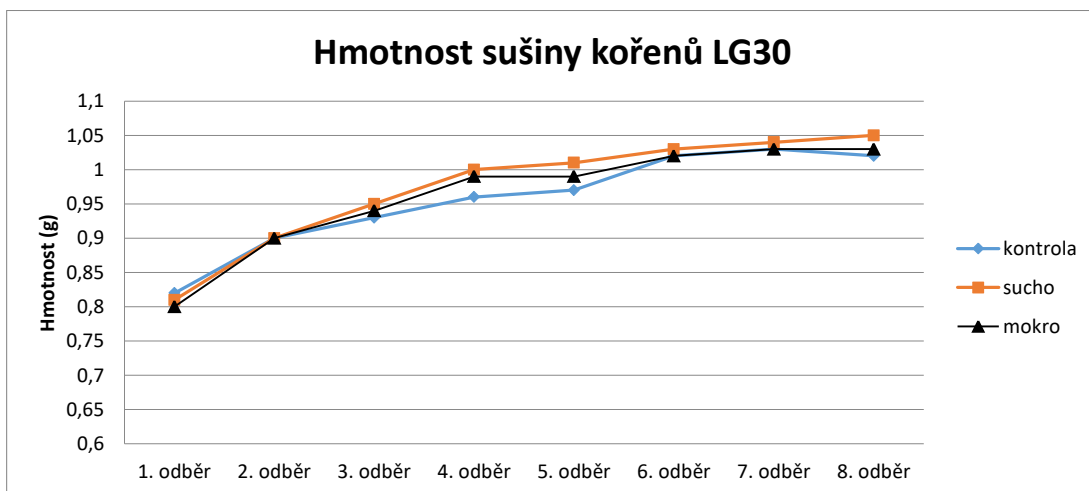


Graf č. 6: Změny hmotnosti sušiny kořenů (g) genotypu Ambrosini v závislosti na termínu a variantě

U této varianty byl zaznamenán téměř lineární nárůst hmotnosti kořenů v rámci jednotlivých termínů měření. Obdobný trend je možné zaznamenat také u rostlin rostoucích v podmínkách vodního deficitu. U rostlin z této varianty se hmotnost zvyšovala z hodnoty 0,79g (1. odběr) na hodnotu 1,01g (5. odběr). Po tomto termínu byla zaznamenána stagnace v hmotnosti sušiny kořenů na hodnotu 1,01g (6. odběr). Od tohoto termínu se hmotnost sušiny kořenů opět zvyšovala až na konečnou hmotnost 1,03g.

U rostlin ovlivněných trvalým zamokřením, jak dokumentuje graf č.6, se hmotnost kořenů zvyšovala v rámci jednotlivých termínů měření, kdy nejnižší hodnota sušiny byla zjištěna na počátku pokusu 0,8g a maximální hodnota byla naměřena v 7. termínu měření 1,01g. Oproti ostatním variantám pokusu se hmotnost kořenů rostlin rostoucích v trvalém zamokření na konci pokusu snížila na hodnotu 0,82g.

V grafu č.7 jsou uvedeny změny hmotnosti genotypu LG30 v závislosti na termínu odběru a variantě pokusu. Z něho je patrné, že v průběhu ontogenetického vývoje rostlin se hmotnost kořenů zvyšovala. Nejvyšší nárůst je možné pozorovat mezi prvním a třetím odběrem, a to u všech variant téměř stejným tempem. Z uvedeného grafu dále vyplývá, že hmotnost kořenů genotypu LG30 se pohybovala v intervalu hodnot od 0,8 g ve variantě zamokřené při prvním odběru do 1,05g ve variantě s vodním deficitem při posledním odběru. V případě rostlin kontrolních byla nejnižší hmotnost kořenů zjištěna na počátku pokusu, kdy její hodnota činila 0,82g. Naopak nejvyšší hmotnost kořenů dosahovaly kontrolní rostliny na konci pokusu (1,02g).

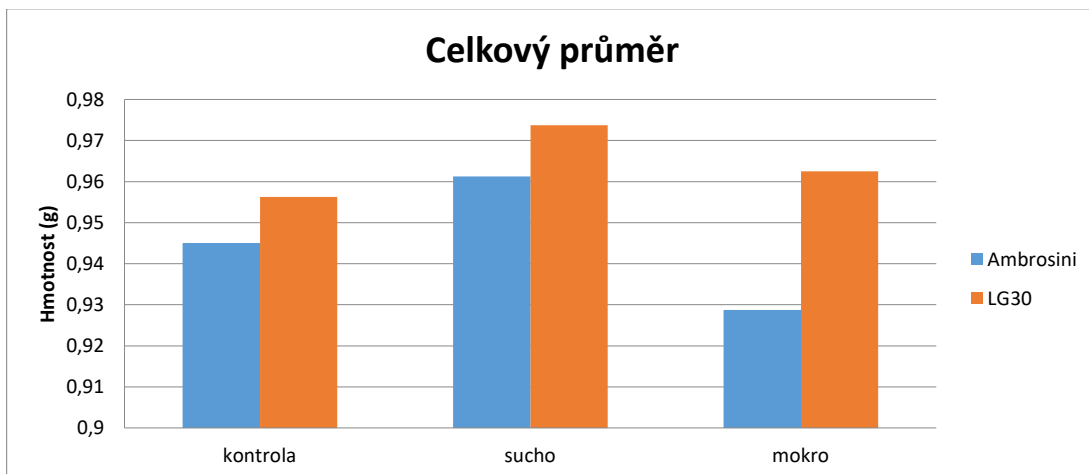


Graf č. 7: Změny hmotnosti sušiny kořenů (g) genotypu LG 30 v závislosti na termínu a variantě

Rostliny s vodním deficitem měly na počátku pokusu hmotnost 0,8 g. Lineární nárůst u této varianty je možné pozorovat až do 4. odběru měření, kdy hodnota dosáhla výše 0,99 g. Poté je možné sledovat již mírnější nárůst hmotnosti na konečnou nejvyšší hodnotu 1,05 g.

Rostliny pěstované v zamokřeném substrátu měly nejnižší hmotnost na počátku měření. Tato hodnota byla 0,8 g. Stejně jako u varianty pěstování s vodním deficitem je patrný lineární nárůst do 4. odběru, kdy hmotnost sušiny byla 0,99 g. Tato hodnota byla zaznamenána také v dalším odběru. V následujícím termínu měření se hmotnost sušiny zvýšila na 1,02 g. Poslední dva odběry již vykazovaly stejnou a nejvyšší hodnotu u této varianty - 1,03 g.

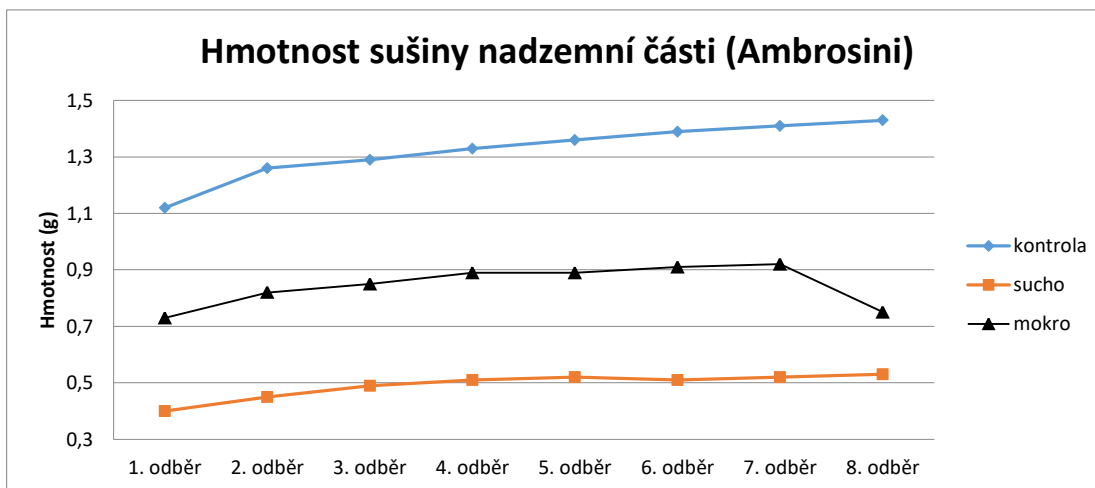
Obě tyto varianty (vodní deficit a zamokřená varianta) se vyšší hodnoty pouze v prvních dvou odběrech.



Graf č. 8: Vliv varianty na hmotnost kořenů (g) sledovaných genotypů kukuřice

V grafu č. 8 je uvedeno srovnání obou genotypů v rámci pokusných variant. Z uvedeného grafu vyplývá, že vyšší hmotnost sušiny kořenů vykazuje genotyp LG30 v porovnání s genotypem Ambrosini. V případě genotypu LG30 je možné konstatovat, že u rostlin stresovaných se hmotnost sušiny kořenů zvyšovala v porovnání s kontrolními rostlinami. V případě rostlin rostoucích v podmínkách vodního deficitu bylo navýšení o 2,96 % a u anoxie o 1,80 % z hmotnosti 0,956 g. U genotypu Ambrosini se hmotnost sušiny kořenů zvýšila pouze u varianty stresované vodním deficitem o 1,69 %, kdežto u anoxie se hmotnost sušiny kořenů snížila o 1,70 %. Hmotnost sušiny kořenů kontrolních rostlin u tohoto genotypu byla 0,945 g.

7.2. Hmotnost sušiny nadzemní biomasy

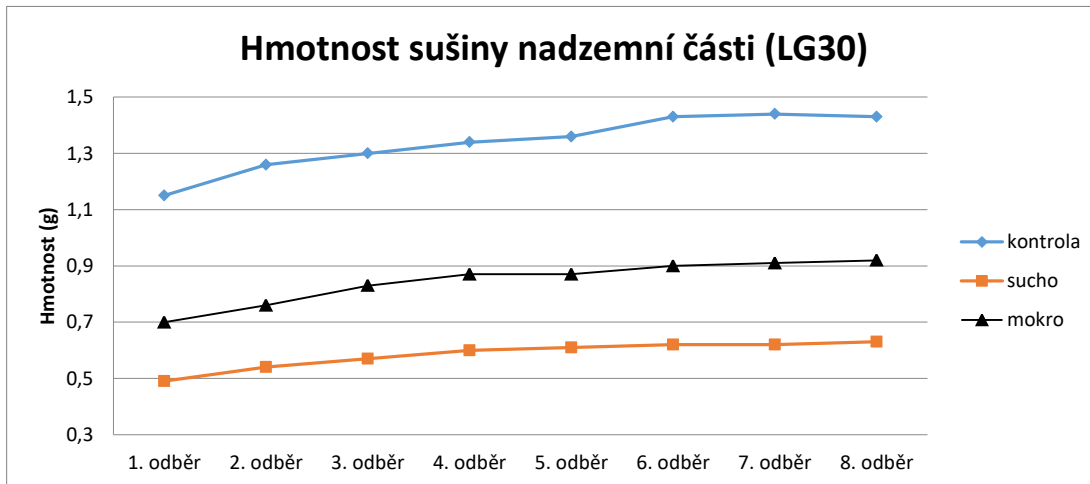


Graf č. 9: Změny hmotnosti sušiny nadzemní části (g) genotypu Ambrosini v závislosti na termínu a variantě

V grafu č.9 jsou uvedeny změny hmotnosti genotypu Ambrosini v závislosti na termínu odběru a variantě pokusu. Z něho vyplývá, že v průběhu ontogenetického vývoje rostlin se hmotnost nadzemní části zvyšovala. Hmotnost nadzemní biomasy genotypu Ambrosini se pohybovala v intervalu hodnot od 0,4 g (vodní deficit, 1.odběr). ve variantě . odběr) do 1,43 g (kontrola, 8. odběr). V případě rostlin kontrolních byla nejnižší hmotnost nadzemní biomasy zjištěna na počátku pokusu, kdy její hodnota činila 1,12g. Nejvyšší hmotnost nadzemních orgánů dosahovaly kontrolní rostliny na konci pokusu (1,43 g).

Hodnoty hmotnosti sušiny nadzemní biomasy u varianty s vodním deficitem se pohybovaly od 0,4 g (1.odběr) při prvním odběru do hodnoty 0,53 g (8. odběr). Mezi 1. a 3. je patrný počáteční nárůst, který je následně vystřídán poklesem. Uvedený pokles byl zaznamenán v 5. odběru (0,51 g). Graf č.9 dále prezentuje změny hmotnosti sušiny nadzemní biomasy u rostlin rostoucích v podmínkách anoxie. U této varianty byla nejnižší hmotnost zjištěna na počátku pokusu (0,73 g). Nárůst sušiny je patrný až do předposledního (7. odběru) - 0,92 g. Při posledním odběru zde byl zaznamenán pokles na hodnotu 0,75

g. U této varianty je patrný nárůst od počátku měření do 4. odběru, poté nastává stagnace a opět mírný nárůst do nejvyšší hodnoty.



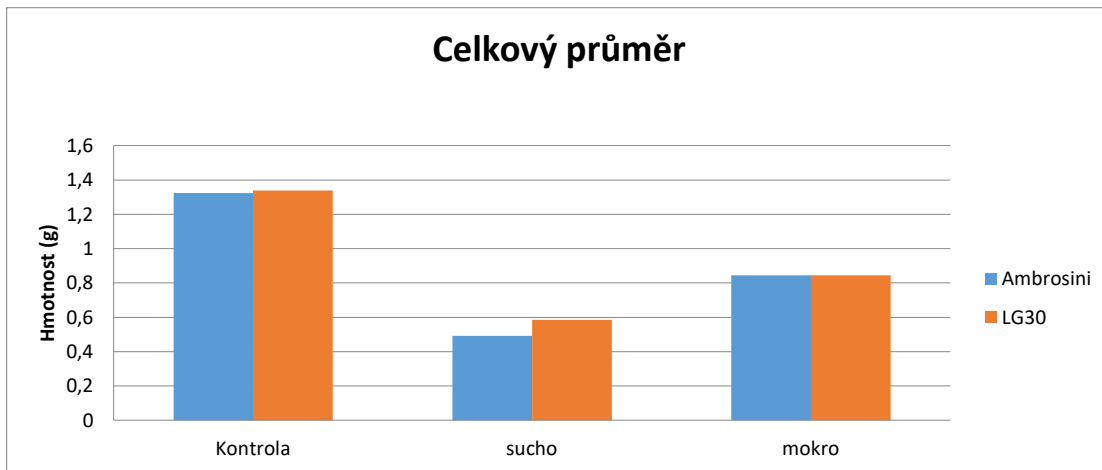
Graf č. 10: Změny hmotnosti sušiny nadzemní části (g) genotypu LG30 v závislosti na termínu a variantě

V grafu č.10 jsou uvedeny změny hmotnosti nadzemní části genotypu LG30 v závislosti na termínu odběru a variantě pokusu. Z něho je patrné, že v průběhu ontogenetického vývoje rostlin se hmotnost nadzemní části zvyšovala. Nejvyšší nárůst je možné pozorovat mezi prvním a čtvrtým odběrem a to u všech variant. Z uvedeného grafu dále vyplývá, že hmotnost nadzemní části genotypu LG30 se pohybovala v rozpětí hodnot od 0,49 g (vodní deficit, 1. odběr) do 1,43 g (kontrola, 8. odběr)..

U rostlin kontrolních byla nejnižší hmotnost nadzemní biomasy zjištěna na počátku pokusu, kdy její hodnota činila 1,15 g. Nejvyšší hmotnosti nadzemní části dosahovaly kontrolní rostliny na konci pokusu, (1,43 g).

Rostliny s vodním deficitem se opět pohybovaly pod hodnotami dalších dvou variant, stejně jako tomu bylo u předchozí odrůdy. Nejnižší hodnota hmotnosti nadzemní biomasy byla 0,49 g při prvním odběru. Poté je patrný mírný nárůst v každém dalším odběru mimo odběr 7, tato hodnota byla stejná jako u odběru předchozího (0,62 g). Nejvyšší hodnota sušiny byla zaznamenána v posledním odběru 0,63 g.

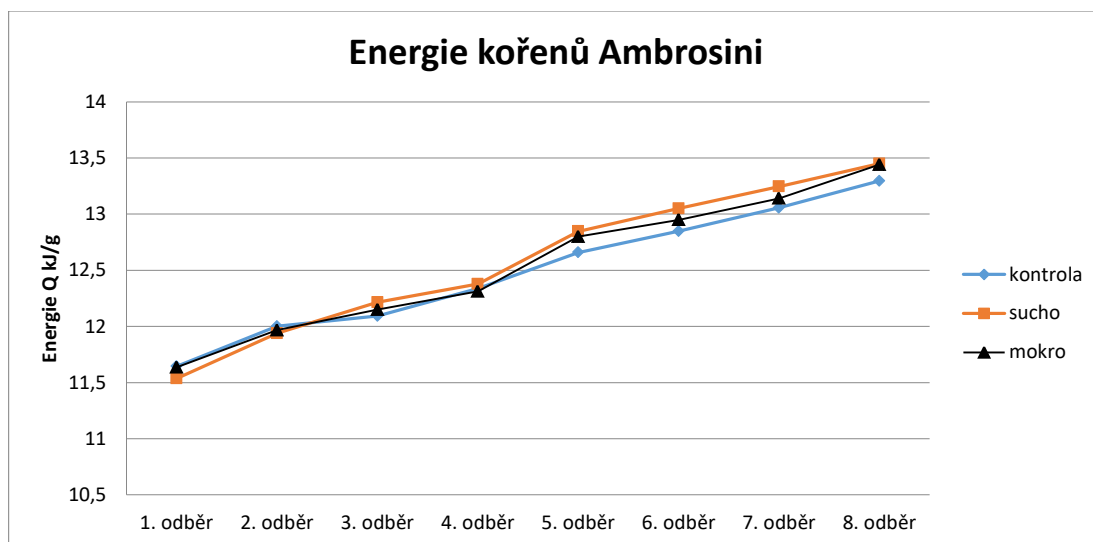
Hmotnost sušiny nadzemní biomasy rostlin rostoucích v anoxii se pohyboval v rozpětí hodnot kontrolních rostlin a rostlin ovlivněných vodním deficitem. Hmotnost sušiny na počátku pokusu činila 0,7 g. Od tohoto termínu až do 5. odběru se hmotnost sušiny zvyšovala na hodnotu 0,87 g. Při posledních třech odběrech je opět vidět nárůst až na konečnou hodnotu 0,92 g.



Graf č. 11: Vliv varianty na hmotnost nadzemní části (g) sledovaných genotypů kukuřice

V grafu 11 je uvedeno srovnání obou genotypů v rámci pokusných variant. Z uvedeného grafu vyplývá, že vyšší hmotnost sušiny genotypu LG30 nadzemní části vykazuje nižší hmotnost sušiny v obou stresovaných variantách v porovnání s kontrolními rostlinami. V případě rostlin rostoucích v podmínkách vodního deficitu byl rozdíl 0,752 g a u anoxie o 0,494 g, zatímco u rostlin kontrolních hmotnost sušiny činila 1,34 g. U genotypu Ambrosini se hmotnost sušiny nadzemní části pohybovala také v nižších hodnotách v porovnání s rostlinami v kontrolními (1,33 g). V případě rostlin stresovaných vodním deficitem o 0,833 g. V případě rostlin stresovaných anoxií o 0,479 g.

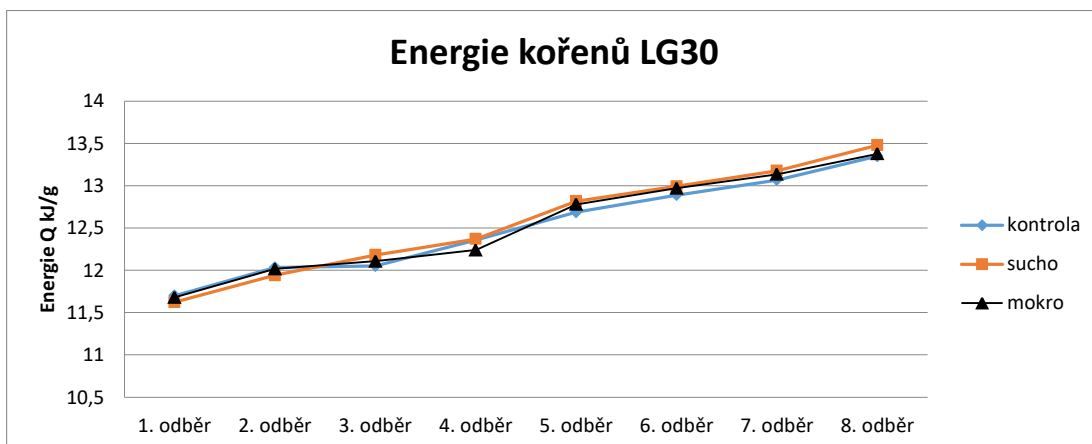
7.3. Spalné teplo kořenů



Graf č. 12: Změny energie sušiny kořenů (kJ/g) genotypu Ambrosini v závislosti na termínu a variantě

V grafu č. 12 je patrné, že u všech variant genotypu Ambrosini dochází během ontogenetického vývoje rostlin k lineárnímu nárůstu energie sušiny kořenů. Nejnižší hodnoty byly naměřeny při prvním odběru. Tato hodnota byla naměřena u rostlin s vodním deficitem (11,54 kJ/g). Nejvyšší hodnota je pak patrná také u varianty s vodním deficitem (3,45 kJ/g). Mimo počáteční stav, kdy při prvním odběru vykazovala nejvyšší hodnotu, zde nejnižší výsledky zaznamenaly rostliny kontrolní. Kontrolní varianta měla obsah energie od 11,64 kJ/g (1. odběr) až 13,30 kJ/g (8. odběr).

Rostliny stresované mokrem měly počáteční hodnotu téměř shodnou s ostatními - 11,64 kJ/g. Ve všech následujících odběrech se poté pohybovala mezi kontrolní variantou a variantou stresovanou vodním deficitem. Na konci pokusu byl u této varianty obsah energie 13,44 kJ/g.



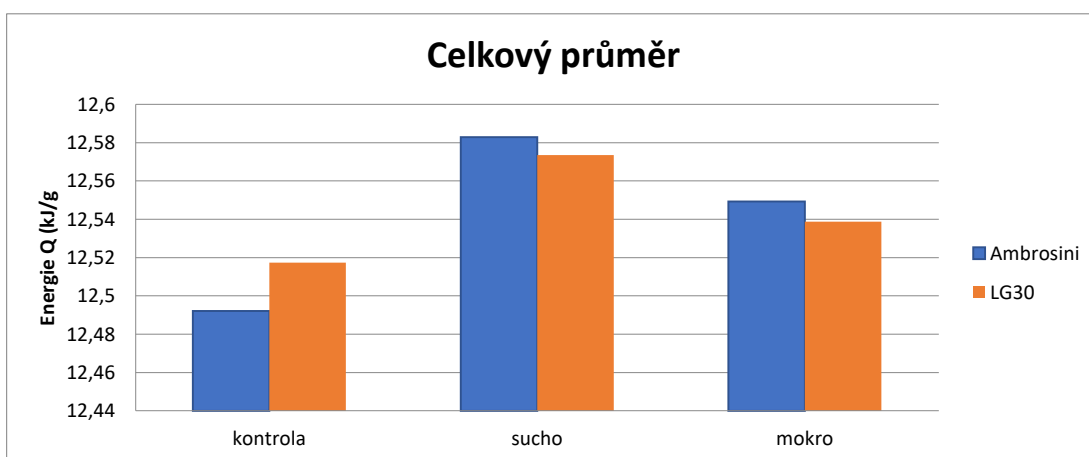
Graf č. 13: Změny energie sušiny kořenů (kJ/g) genotypu LG30 v závislosti na termínu a variantě

V grafu č. 13 je patrné, že u všech variant genotypu LG30 dochází během ontogenetického vývoje rostlin taktéž k lineárnímu nárůstu energie sušiny kořenů obdobně jako u odrůdy Ambrosini.

Nejnižší hodnota zde byla zaznamenána při prvním odběru u varianty s vodním deficitem, která dosahovala 11,62 kJ/g. U této varianty byla nameřena také nejvyšší hodnota při posledním měření a to 13,48 kJ/g.

Kontrolní vyrianta měla při prvním odběru obsah energie ve výši 11,70 kJ/g. Mírný pokles nastal při třetím odběru (12,05 kJ/g). Dále následuje zvýšení obsahu energie kořenů až do konce sledovaného období (13,35 kJ/g).

Varianta stresovaná mokrem vykazovala na počátku měření obsah energie ve výši 11,68 kJ/g. Mírný pokles u této varianty nastal při čtvrtém odběru byla zjištěna na konci pokusu - 13,38 kJ/g.

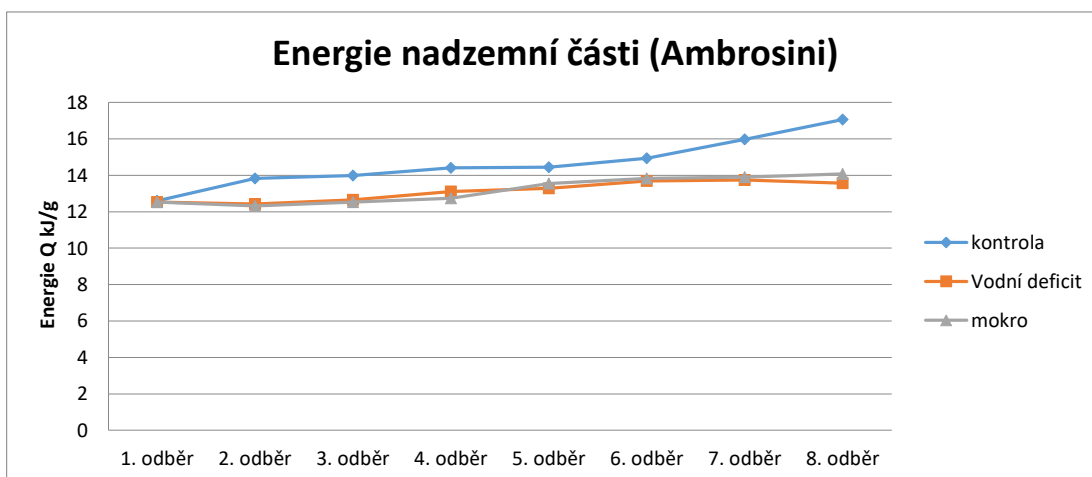


Graf č. 14: Vliv varianty na energii spalného tepla kořenů (kJ/g) sledovaných genotypů kukuřice

Nejvyšších průměrných hodnot spalného tepla dosahovala varianta s vodním deficitem. Nejvyšší hodnoty vykazovala varianta s vodním deficitem genotypu Ambrosini. Nejnižší průměrné hodnoty byly naměřeny také u genotypu Ambrosini u kontrolních rostlin. Kontrolní rostliny měly nižší obsah energie v porovnání s variantami stresovanými. Varianta zamokřená (12,55 kJ/g) měla nižší obsah energie než varianta s vodním deficitem o 0,34 kJ/g.

Také u druhého genotypu LG30 byla nejvyšší průměrná hodnota spalného tepla naměřena u varianty s vodním deficitem (12,57 kJ/g). Kontrolní rostliny měly průměrný obsah energie nižší o 0,06 kJ/g v porovnání se zamokřenou variantou. Rostliny pěstované v zamokřené variantě vykazovaly průměrné hodnoty nižší o 0,34 kJ/g ve srovnání s rostlinami pěstovanými ve vodním deficitu.

7.4. Spalné teplo nadzemní biomasy

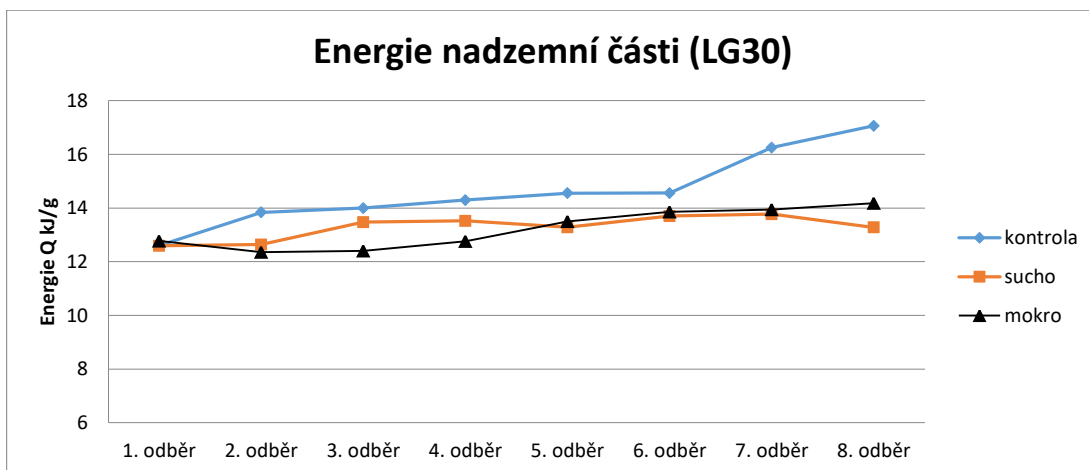


Graf č. 15: Změny energie sušiny nadzemní části (kJ/g) genotypu Ambrosini v závislosti na termínu a variantě

Z grafu č. 15 je patrné, že u všech variant genotypu Ambrosini dochází během ontogenetického vývoje rostlin k rozdílům spalné energie nadzemní části. Nejnižší hodnota je patrná ve druhém odběru u zamokřené varianty, tato hodnota je 12,31 kJ/g. Nejvyšší hodnota byla naměřena při posledním odběru u kontrolních rostlin - 17,06 kJ/g.

U kontrolních rostlin je patrný lineární nárůst energie sušiny nadzemní části, kdy nejnižší hodnota je zaznamenána při prvním odběru (12,61 kJ/g.) Nejvyšší hodnoty dosahuje při posledním odběru (17,06 kJ/g). V případě rostlin stresovaných vodním deficitem měly na počátku pokusu obsah energie (12,54 kJ/g). Při dalším odběru nastává pokles na hodnotu 12,42 kJ/g, který je vystřídán nárůstem až do předposledního sedmého odběru (13,74 kJ/g). Při posledním odběru je opět zřetelný pokles hodnoty energie (13,56 kJ/g).

Počáteční hodnota energie u rostlin rostoucích v podmínkách anoxie je 12,52 kJ/g. V případě druhého odběru nastává mírný pokles na hodnotu 12,32 kJ/g. Nejnižší hodnoty však dosahuje při třetím odběru a to pouze 7,215 kJ/g. Poté je již možné opět zaznamenat nárůst až do posledního osmého odběru (14,08 kJ/g).



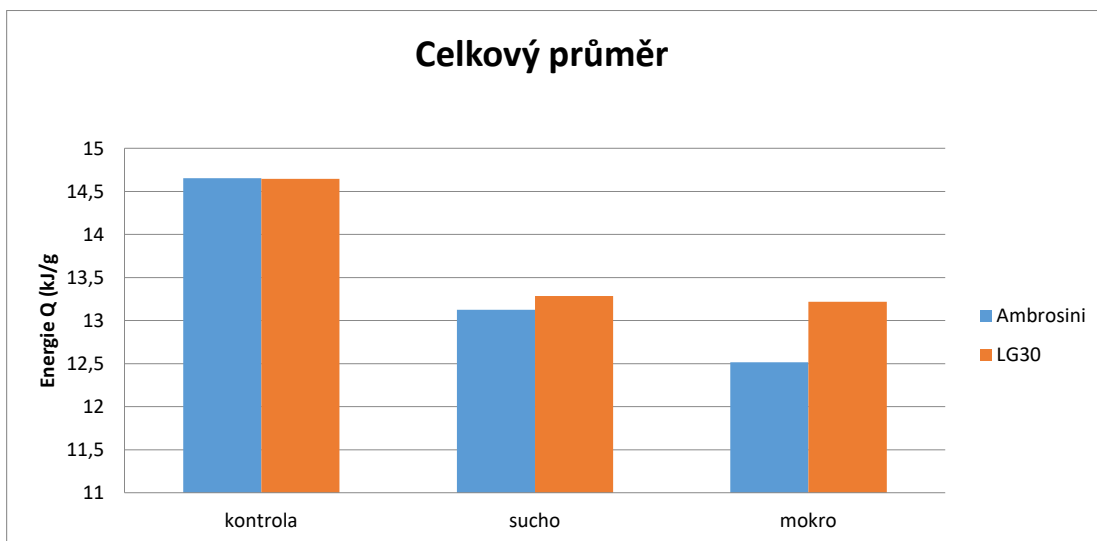
Graf č. 16: Změny energie sušiny nadzemní části (kJ/g) genotypu LG30 v závislosti na termínu a variantě

Z grafu č. 16 je patrné, že u všech variant genotypu LG30 dochází během ontogenetického vývoje rostlin ke změnám hodnot spalné energie nadzemní části. Nejnižší hodnota spalného tepla je zaznamenána u varianty s vodním deficitem při prvním odběru (12,59 kJ/g). Nejvyšších hodnot však dosahuje celkově kontrolní varianta a to především v 8. odběru (17,07 kJ/g.)

Jak dále vyplývá z grafu č. 16, tak nejvyšších hodnot, mimo první odběr – 12,61 kJ/g, dosahuje varianta kontrolní. Po celou dobu pokusu u této varianty dochází k nárůstu hodnot spalného tepla až na konečnou hodnotu 17,07 kJ/g. Nejvyšší nárůst je patrný mezi šestým a sedmým odběrem (o 1,75 kJ/g).

V případě rostlin rostoucích ve vodním deficitu byla počáteční hodnota spalného tepla 12,59 kJ/g. Poté až do čtvrtého odběru je patrný nárůst energie až na hodnotu 13,53 kJ/g. V následném pátém odběru nastává pokles spalného tepla na hodnotu 13,28 kJ/g. Následně se obsah energie zvyšoval. Nejvyšší hodnota spalného tepla byla naměřena při sedmém odběru (13,78 kJ/g). Na konci pokusu se opět obsah energie snížil na hodnotu 13,28 kJ/g.

Z grafu č. 16 vyplývá, že obsah energie rostlin stresovaných anoxií se nejprve snižuje. Toto snížení je poté vystředáno nárůstem. Na počátku pokusu byla hodnota spalného tepla ve výši 12,77 kJ/g. Ve druhém odběru dosahuje tato varianta své minimální hodnoty obsahu energie 12,35 kJ/g. Od pátého do posledního odběru je již zase možné zaznamenat postupný nárůst hodnot až do konce pokusu (14,18 kJ/g).



Graf č. 17: Vliv varianty na energii spalného tepla nadzemní části (kJ/g) sledovaných genotypů kukuřice

V grafu č. 17 jsou zaznamenány průměrné hodnoty spalného tepla. Maximální hodnoty dosáhla varianta kontrolní u genotypu Ambrosini (14,66 kJ/g). Varianta s vodním deficitem měla nižší obsah energie v porovnání s kontrolou o 1,53 kJ/g. V případě anoxie bylo snížení energie o 2,14 kJ/g. Obdobně jako u genotypu Ambrosini tak i u genotypu LG30 vykazovala nejvyšší průměrné hodnoty varianta kontrolní (14,65 kJ/g). Varianta s vodním deficitem měla průměrné hodnoty nižší o 1,36 kJ/g a varianta zamokřená o 1,43 kJ/g ve srovnání s kontrolou.

8. Diskuze

8.2. Sušina kořenů a nadzemní biomasy

Nedostatek vody negativně ovlivňuje růst a vývoj rostlin. Sucho u většiny rostlin snižuje hmotnost sušiny, jak uvádí Farooq et al. (2009). Uvedený závěr byl potvrzen u obou sledovaných genotypů, i přestože se jednalo o stres krátkodobý.

Jako jeden z hlavních faktorů negativně ovlivňující růst i výnos plodin označují salinitu i Liang et al. (2018). Zvýšená salinita půdy podle autorů způsobuje osmotický a oxidativní stres, který vždy rostliny ovlivní negativně. Z této práce je také zřejmé, že významným faktorem při toleranci stresu ze zasolení je genotyp rostliny. Za negativní ovlivnění veskrze všech vlastností rostlin způsobené salinitou půdy je podle Mahajana a Tuteji (2005) odpovědné také toxické působení Na^+ na buněčné metabolismy, díky jeho nepříznivému vlivu na funkčnost některých enzymů. A dále v neposlední řadě vliv Na^+ na snížení míry fotosyntézy.

Kořeny jsou pro rostlinu velice důležité. Jejich rozvoj má zásadní vliv na celkový vývoj samotné rostliny, protože pomocí nich přijímá vodu a živiny. Na hmotnost sušiny kořenů měla aplikace lignohumátu pozitivní účinky. U ošetřených variant byl pozorován zvýšený nárůst hmotnosti sušiny kořenů průměrně o 9,4 % (předplodina pšenice) a 14,3 % (předplodina brambory). Podobné výsledky pozitivního vlivu huminových látek na růst kořenů prezentují i ostatní autoři (Malik & Azam 1985; Nardi et al. 2016). Nardi et al. (2002) a Asik et al. (2009) uvádí pozitivní vliv huminových látek na příjem živin. Se zlepšeným příjmem živin souvisí i příjem rizikových prvků.

Dle Asik et al. (2009) má aplikace huminových látek na hmotnost sušiny silný vliv. V případě tohoto výzkumu však bylo zvýšení hmotnosti sušiny (oproti kontrole o průměrně 8,6 %) sledováno pouze u varianty po bramborách. Zde lze brát v úvahu možnost ovlivnění výsledků zlepšující předplodinou, v tomto případě brambor, které dle Rahimizadeh et al. (2010) a Polišenské et al. (2017) působí na výnosy pšenice obvykle pozitivně. Produktivita porostu závisí na jeho schopnosti fotosyntézy, asimilační ploše a využití fotosynteticky aktivního záření v porostu. Pro fotosyntézu, která umožňuje rostlinám absorbovat energii ze světla je životně důležitý chlorofyl (Verma et al. 2016).

Ačkoliv je zaplavení kořenového systému stres způsobený nadbytkem vody, nadzemní část rostliny se kvůli ztrátě hydraulické vodivosti xylému potýká paradoxně s nedostatkem vody. Právě udržení dostatku vody je důležité pro dlouhodobé přežívání rostlin a správný průběh fotosyntézy.

Reakce rostlin na stres zaplavením závisí na jejich stáří. Mladší rostliny reagují na zaplavení výrazněji, než rostliny, které byly vystaveny zaplavení v pozdější fázi vývoje.

Ve dříve publikovaných výsledcích bylo zjištěno, reagují na hypoxický a posthypoxický stres odlišně.

Dle Husákové (2008) je patrné, že ve srovnání fyziologických a morfologických parametrů kukuřice pěstované v hypoxických a posthypoxických podmínkách, že po reakci se u všech genotypů výrazněji rozdíly mezi kontrolními a stresovanými rostlinami více než při působení samotné hypoxie.

Toto tvrzení se shoduje s publikovanými údaji, které uvádí, že schopnost obnovit normální funkce rostlin je často výraznější stres pro rostlinu, než samotný vliv daného stresoru.

Earl et Davis (2002) uvádí, že u kukuřice vodní stres negativně ovlivňuje výnos sušiny snížením fotosyntézy. Zvýšení hmotnosti sušiny kořenů v případě vodního stresu uvádí ve své práci Shaomin et Yiwei (2009).

Komentář [HF1]: Bylo tomu tak?

Hanway et Russell (1969) konstatují že akumulace sušiny je závislá na rostlinném orgánu, kdy vyšší hmotnost sušiny mají nadzemní orgány v porovnání s kořeny.

Komentář [HF2]: Zkuste to provnat, zda tomu tak je.

Ibarra-Caballero et al. (1988) porovnávali tři genotypy kukuřice reakci na vodní stres. Byl prokázán vliv genotypu na stres.

Byl potvrzen závěr Mostajeran et Rahimi-Eichi (2009) s rýží, kdy tyto 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.

Komentář [HF3]: Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Rothová, O., Kočová, M.: Vliv vodního deficitu na obsah sušiny nadzemní biomasy juvenilních rostlin kukuřice. Aktuální témata v pícninářství a trávnickářství 2010 (Sborník příspěvků z odborného semináře). 8.12. 2010. Praha, ČZU v Praze, 2010: 36-41

8.1. Spalné teplo kořenů a nadzemní biomasy

Z výsledků měření je patrné, že s rostoucí mírou zasolení celkově klesá obsah energie uložené ve všech pokusných rostlinách, snižuje se tedy i jejich spalné teplo. Byl prokázán negativní dopad zasolení půdy na rostliny a obsah energie v nich.

Z výsledků měření je patrný trend, kdy u kontrolních rostlin, tedy rostlin nestresovaných, se míra spalného tepla jejich nadzemní biomasy s postupem času zvyšuje. U rostlin stresovaných lze u všech variant pozorovat celkový trend snižování hodnoty spalného tepla s postupem času, i když u některých genotypů a variant zasolení došlo k naměření krátkodobých opačných trendů, což ale může být způsobeno nehomogenitou vzorku rostlinného původu, neboť rostlinný materiál je po chemické stránce velmi heterogenní. I přes drobné výkyvy v hodnotách spalného tepla lze konstatovat, že celkově se energie uložená v rostlinách stresovaných s postupem času snižuje. U všech sledovaných genotypů dochází v průběhu ontogenetického vývoje k postupnému navyšování energie pouze u variant kontrolních. Lze tedy konstatovat, že změny obsahu energie jsou funkcí času, jak uvádí také Kumar (1994). Uvedený trend nebyl potvrzen u rostlin stresovaných, kdy se naopak obsah energie snižoval. snížení obsahu energie patrně souvisí se snížením rychlosti fotosyntézy, jak konstatují např. Earl et Davis (2002), Nilsen et Orcutt (1996). Podobné závěry uvádí také Hnilička a kol. (2008, 2009) a Hniličková a kol. (2017). Při sledování výsledků u ječmene jarního uvádí Hejnák (2003) hodnotu stresovaných listů v sušině 12,99 kJ/g. U kukuřice byl tento průměr 12,56 kJ/g. Tyto rozdíly ve výsledcích spalného tepla jsou dány rostlinným druhem, ale také fází, kdy u rostlin kukuřice se jedná o juvenilní rostliny. Je také rozdíl v založení pokusu. U rostlin kukuřice byl sledován vliv vodního deficitu a u ječmene vliv rozdílné dusíkaté výživy. Hülsberger et al. (2001) udává hodnoty spalného tepla v listech cukrové řepy, která činí 16,4 kJ/g.

Nižší obsah energie v rostlinných orgánech u rostlin ovlivněných suchem uvádí např. Anjum et al. (2011), Hnilička et al. (2015). Uvedený závěr byl sledovaný u obou sledovaných genotypů Ambrosini i LG30. Uvedený závěr potvrzuje také ve své práci Henckel (1964). Uvedený autor uvádí, že sucho celkově negativně ovlivňuje rostliny na rozdíl od rostlin, které jsou hydratovány.

8.2. Spalné teplo kořenů a nadzemní biomasy

Z výsledků měření je patrné, že s rostoucí mírou zasolení celkově klesá obsah energie uložené ve všech pokusných rostlinách, snižuje se tedy i jejich spalné teplo. Byl prokázán negativní dopad zasolení půdy na rostliny a obsah energie v nich.

Z výsledků měření je patrný trend, kdy u kontrolních rostlin, tedy rostlin nestresovaných, se míra spalného tepla jejich nadzemní biomasy s postupem času zvyšuje. U rostlin stresovaných lze u všech variant pozorovat celkový trend snižování hodnoty spalného tepla s postupem času, i když u některých genotypů a variant zasolení došlo k naměření krátkodobých opačných trendů, což ale může být způsobeno nehomogenitou vzorku rostlinného původu, neboť rostlinný materiál je po chemické stránce velmi heterogenní. I přes drobné výkyvy v hodnotách spalného tepla lze konstatovat, že celkově se energie uložená v rostlinách stresovaných s postupem času snižuje. U všech sledovaných genotypů dochází v průběhu ontogenetického vývoje k postupnému navýšování energie pouze u variant kontrolních. Lze tedy konstatovat, že změny obsahu energie jsou funkcí času, jak uvádí také Kumar (1994). Uvedený trend nebyl potvrzen u rostlin stresovaných, kdy se naopak obsah energie snižoval. Snižování obsahu energie patrně souvisí se snížením rychlosti fotosyntézy, jak konstatují např. Earl et Davis (2002), Nilsen et Orcutt (1996). Podobné závěry uvádí také Hnilička a kol. (2008, 2009) a Hniličková a kol. (2017). Při sledování výsledků u ječmene jarního uvádí Hejnák (2003) hodnotu stresovaných listů v sušině 12,99 kJ/g. U kukuřice byl tento průměr 12,56 kJ/g. Tyto rozdíly ve výsledcích spalného tepla jsou dány rostlinným druhem, ale také fází, kdy u rostlin kukuřice se jedná o juvenilní rostliny. Je také rozdíl v založení pokusu. U rostlin kukuřice byl sledován vliv vodního deficitu a u ječmene vliv rozdílné dusíkaté výživy. Hülsberger et al. (2001) udává hodnoty spalného tepla v listech cukrové řepy, která činí 16,4 kJ/g.

Erol et al. (2010) ve svých výsledcích uvádí hodnoty různých druhů biomas. Tyto hodnoty jsou v intervalu od 15,41 kJ/g do 19,52 kJ/g. U našeho pokusu se interval obsahu spalného tepla pohyboval od 13,81 kJ/g do 15,18 kJ/g. Fuksa et al. (2006) uvádí ve své studii obsah spalného tepla kukuřice v hodnotách od 16,57 kJ/g do 18,13 kJ/g

U všech sledovaných genotypů dochází v průběhu ontogenetického vývoje k postupnému navýšování energie. Toto je možné vidět také v rámci pokusných variant. Lze tedy konstatovat, že změny obsahu energie jsou funkcí času, jak uvádí také Kumar (1994).

9. Závěr

V bakalářské práci byl sledován vliv vodního deficitu a nadbytku vody na změny hmotnosti sušiny a obsahu energie nadzemní a podzemní biomasy. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

- Hmotnost sušiny kořenů byla negativně ovlivněna množstvím vody u zamokřené varianty genotypu Ambrosini v porovnání s genotypem LG30.
- Hmotnost nadzemní biomasy byla vyšší u rostlin rostoucích v zamokřených podmínkách. Naopak u rostlin z varianty s vodním deficitem byla nižší.
- Obsah energie kořenů byl ovlivněn variantou pokusu, kdy nižší obsah energie byl zjištěn u varianty kontrolní genotypu Ambrosini (12,49 kJ/g) a naopak vyšší (12,58 kJ/g) u varianty s vodním deficitem genotypu Ambrosini.
- Spalné teplo nadzemních orgánů se pohybovalo v intervalu hodnot od 12,31 kJ/g (zamokřená varianta genotypu Ambrosini) do 17,06 kJ/g varianty kontrolní genotypu LG30).
- Hmotnost sušiny kořenů a nadzemní biomasy byla ovlivněna genotypem, kdy vyšších hmotností dosahoval genotyp LG30 v porovnání s genotypem Ambrosini.
- Obsah energie byl vyšší u genotypu Ambrosini při zkoumání kořenových hodnot, naopak při zkoumání nadzemní biomasy byl obsah energie vyšší u genotypu LG30.
- Na vodní deficit citlivěji reaguje genotyp LG30.
- Jako tolerantnější k anoxii se jeví genotyp Ambrosini.

- První hypotéza, zda existují rozdíly mezi zkoumanými genotypy byla potvrzena.
- Vliv nadbytku a nedostatku vody při tvorbě jednotlivých orgánů je patrný u všech sledovaných parametrů. Tato hypotéza byla potvrzena. U kořenové části je vyšší vliv na tvorbu orgánů při sušší půdě než při větším zamokření. U sledování nadzemní části je tomu naopak.
- Třetí hypotéza se zabývala vlivem nadbytku a nedostatku vody na obsah energie v rostlinách. Tato hypotéza byla potvrzena, neboť vyšších hodnot spalného tepla dosahovaly orgány rostlin kontrolních v porovnání s rostlinami stresovanými.
- Byl prokázán vliv ontogenetického vývoje na sledované parametry.

10. Literatura

- Ahmed A, Nawata E, Hosokawa C, Domae Y, Sakuratani T. 2002a. Alternations in photosynthetic and antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Sci.* 163: 118 – 123.
- Anjum SA, Wang LC, Ferooz M, Hussain M, Xue LL, Zou CM. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Agron. j. Crop Sci.*
- Antonov I a kol. 1958. Atlas obilnin československých povolených a rayonovaných odrůd. SZN Praha. 280 s.
- Armstrong W. 1979. Aeration in higher plants. *Advances in botanical research* 226 - 331. In: Soukup A. 2005. Structural adaptation of wetland plants. Charles University in Prague, department of plant physiology. PhD thesis
- Armstrong W, Cousins D, Armstrong J, Turner DW, Beckett PM. 2000. Oxygen distribution in wetland plant roots and permeability barriers to gas exchange with the rhizosphere: a microelectrode and modelling study with *Phragmites australis*. *Annals of Botany.* 86. 687-703.
- Armstrong W, Drew MC. 2002. Root growth and metabolism under oxygen deficiency. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (Ed.): *Plant roots: the hidden half*. 3rd Marcel Dekker, New York, 729 – 761.
- Armstrong W, Gaynard TJ. 1976. The critical oxygen pressures for respiration in higher plants. *Physiol. Plantarum* 37: 200-206.
- Aro EM, Virgin I, Anderson B. 1993. Photoinhibition of photosystem II. Inactivation protein damage and turnover. *Biochem. Biophys. Acta.* 1143: 113 – 134.
- Ashraf M, Rahmad H. 1999. Interactive effects of nitrate and long term waterlogging on growth, water relations and gaseous exchange properties of maize (*Zea mays* L.). *Plant Sci.* 144: 35-43.
- Bailey-Serres J, Chang R. 2005. Sensing and Signalling in response to oxygen deprivation in plants and Other Organism. *Ann.Bot.* 96: 507 – 518.
- Baldwin DS, Mitchell AM, Rees G. 1997. Chemistry and microbial ecology: Processed at the microscale. In: Klomp, N., Lunt, I. (Ed.): *Frontiers in ecology – building the links*. Elsevier: Oxford, 171 – 179.
- Beranovský JK, Murtinger K. 2011. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno Computer Press, a.s. 106.
- Bláha L, Bocková R, Hnilička F, Hniličková H, Holubec V, Mollerová J, Štolcová J, Zieglerová J. 2003. *Rostlina a stres*. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha.
- Buchanan B, Gruissem W, Jones R, Eds. 2000. *Biochemistry & molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists. 1085-1087; 1177-1189.
- Bunn HF, Poyton RO. 1996. Kyslík snímaný a molekulové přizpůsobování hypoxia. *Fyziologická revue* 79: 839-885.
- Colmer TD. 2003. Long- distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from Roots. *Plant Cell Env.* 26: 17 – 36.
- Crawford RMM, Braendle R. 1996. Oxygen deprivation stress in a changing environment. *J. Exp. Bot.* 47: 145 – 159.
- Critchley C, Russell AW, Kortison BC, 1999. Photoinhibition of photosystem II in leaves: stress, acclimation, or regulatory response. In: Pessarakli, M. (Ed.): *Handbook of plant and crop stress*. New York-Basel.

- Čiamporová M, Mistrík I. 1991. Rostlinná bunka v nepriatnivých podmienkach. VEDA vydavateľstvo Slovenskej akadémie Vied, Bratislava. 48-52.
- Davies DD. 1980. Anaerobic metabolism and the production of organic acids. In: Daviess, D.D. (Ed.) Biochem. Plant. 2: 581 – 611, Academic press, NY, USA.
- Demming-Adams B, Adams W. 1996a. Xanthophyll cycles and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. *Planta* 198: 460 – 470.
- Drew MC. 1983. Plant Injury and Adaptation to Oxygen Deficiency in the Root Environment - A Review. *Plant and Soil*. 75. 179-199.
- Drew MC. 1988. Effects of flooding and oxygen deficiency on plant mineral nutrition. In: Lauchli A, Tanker PB. (Ed.): *Adv. Plant Nutr.* 3: 115 – 159, New York : Praeger.
- Drew MC, He CJ, Morgan PW. 2000. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. *Trends Plant Sci.* 5: 123 – 127.
- Drew MC. 1990. Sensing soil oxygen. *Plant Cell Environ.* 13: 681 – 693.
- Elstner EF, Osswald W. 1994. Mechanism of oxygen activation during plant stress. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 102: 131 – 154.
- Ebeling JM and Jenkins BM. (1985) Physical and Chemical Properties of Biomass Fuels. *Transaction of the ASAE*, 28, 898-902.
- Erol O, Henry D, Sauser B, Mansouri M. 2010. Perspectives on Measuring Enterprise Resilience. *Proceedings of the 4th Annual IEEE International Systems Conference*, 587 - 592.
- Farooq MA, Wahid N, Kobayashi D, Fujita and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effect, mechanism and management. *Aron. Sustain. Dev.* 20:185 – 212.
- Faulkner SP, Richardson CJ. 1989. Physical and chemical characterisation of freshwater wetland soils. In: Hamer, D.A. (Ed.): *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*, Lewis Publishers Michigan, 41 – 72.
- Fausen NR, McDonald MB. 1985. Emergence of inbred and hybrid corn following flooding. *Agron. J.* 77: 51 – 56.
- Foster C, Farland CV, Guidotti F, Harbin M, Roberts B, Schuette J, et al. 2015. The effects of high intensity interval training vs steady state training on aerobic and anaerobic capacity. *J. Sports. Sci. Med.* 14, 747–755.
- Fuksa P, Kocourková D, Hakl, J, Červenková H, 2006. Akumulace energie spalného tepla u kukuřice. 28. mezinárodní slovenský a český kalorimetrický seminár, Polana u Hriňové, 71–74.
- Gibbs J, Greenway H. 2003. Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. *Funct. Plant Biol.* 30: 1 – 47.
- Gilmore AM. 1997. Mechanistic aspect of xanthophyll cycle dependent photoprotection in higher plant chloroplast and leaves. *Physiol. Plantarum* 99: 197 – 209.
- Godde D. 1999. Adaptations of the photosynthetic apparatus. R., Dekker, M. (ed.): *Plant responses to environmental stresses: from Phytohormones to genome reorganization.*, Inc, New York, 449 – 474.
- Golley, F. B. 1961. Energy values of ecological materials. *Ecology*, 42 (3): 581-584
- Hantway JJ, Russel WA. 1969. Dry matter accumulation in corn comparisons among single cross hybrids. *Agron J.* 61: 947 – 951.

- Havaux M, Kloppstech K. 2001. The protective function of carotenoid and flavonoid pigments against excess visible radiation at chilling temperature investigated in Arabidopsis npq and tt mutants. *Planta* 213: 82 – 87.
- Hejnák V. 2003. The effect of drought on production of dry matter in spring barley (*Hordeum vulgare* L., cv. Amulet, Krona and historical cv. Nürnberg). *Scientia Agriculturae Bohemica* 34 (4) 121–128.
- Henckel PA 1964. Physiology of plant under drought *Ann Rev Pl Physiol* 15: 363.
- Hideg E. 1997. Free radical production in photosynthesis under stress condition. In: Pessarakli, M. (ed.): *Handbook of photosynthesis*. New York, Basel, Hong Kong.
- Hlavatá Z. 1992. Vliv nedostatku kyslíku na kořenový systém kukuřice *zea mays* L. diplomová práce, Katedra anatomie a fyziologie rostlin PŘF UK Praha.
- 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, Univerzita Pardubice, 25.5. -29.5. 2009, Boboty, Slovensko: 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), Univerzita Pardubice, Beskydský hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm: 133 – 136
- 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 trávnickářství 2010 (Sborník příspěvků z odborného semináře). 8.12. 2010. Praha, ČZU v Praze, 2010: 36-41.
- Hniličková, H., Hnilička, F., Kuklová, M., Kukla, J. 2017. Vliv vodního stresu na obsah energie u juvenilních rostlin kukuřice. 2017, 39. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář (sborník příspěvků). Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář 22. 5. - 26. 5. 2017, s. 147-150.
- Hoffmann P. 1988. Der thermochemische Energiegehalt der pflanzlichen Biomasse unter besonderer Berücksichtigung produktionsbiologischer Aspekte. *Wiss. Z. d. pad. Hohch. Potsdam* 32, s. 19-25.
- Hornberg C, Weiler E. 1984. High-affinity binding sites for abscisic acid on plasma membrane of *Vicia faba* guard cell. *Nature* 310: 321 – 324.
- Hruška J. 1962. Monografie o kukuřici. SZN v Praze.
- Hülsbergen KJ, Feil B, Biermann S, Rathke GW, Kalk W, Diepenbrock W. 2001 A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86: 303–321.
- Hutchinson GE. 1957. *A treatise on limnology*, vol. 1. New York.
- Husáková E. 2008. Struktura kořenového systému kukuřice seté: vliv fytohormonů. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.
- Grineva GM. 1975. Rehuľacija metabolizmu u rastenij při nedostatke kisloroda. *Izd. Nauka. Moskva*. 278.
- Ibarra-Caballero J, Villanueva-Verduzco C, Molina-Galan, a Sanchez-de-Jimenez E. 1988 Proline accumulation as a symptom of drought stress in maize: a tissue differentiation requirement. —*J. exp. Bot.* 39: 889–897.
- Ingram J, Bartels D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 47: 377 – 403.

- Jackson MB. 1991. Ethylene in root growth and development. In: Matoo, A.K., Suttle, J.C. (Ed.): The plant hormone ethylene. Boca Raton: CRC Press. 160 – 181.
- Jackson MB, Armstrong W. 1999. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. *Plant Biol.* 1: 274 – 278.
- Johnová E. 2008. Vliv ontogenetického stádia na vnitrodruhové rozdíly ve fotosyntetických a růstových charakteristikách kukuřice pěstované v podmínkách hypoxického a posthypoxického stresu. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.
- Johnson J, Coby BG, Drew MC. 1989. Hypoxic induction of anoxia tolerance in root tips of *Zea mays*. *Plant Physiol.* 91: 837 – 841.
- Kačicová L, Prokeš K. 2015. Vždy něco navíc. In: Prokeš, K. et al. Kukuřice v praxi 2015: Sborník z mezinárodní konference. V Brně. Mendelova univerzita v Brně a KWS Osiva, s.r.o., 2015, 6-15 s.
- Kirk GJD, Solivas JL, Alberto MC. 2003. Effect of flooding and redox conditions on solute diffusion in soil. *European Journal of Soil Science.* 54. 617-624.
- Krishan A, Pereira A. 2008. Integrative approaches for mining transcriptional regulatory programs in *Arabidopsis*. *Brief Funct Genomics Proteomics* 7: 264 – 274.
- Kumar, Y. 1994. Vliv vonkajších faktorov na tvorbu sušiny a akumuláciu energie v rastlinách [jačmeň jarný]. Disertační práce, VŠZ Praha: 102.
- Liao CT, Lin CH. 1994. Effect of flooding stress on photosynthetic activities of *Momordica charantia*. *Plant Physiol. Biochem.* 32: 1 – 5.
- Liao CT, Lin CH. 2001. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proc. Natl. Sci. Count. Roc (B)* 3: 148 – 157.
- Lieth, H. 1977. Energy flow and efficiency differences in plants and plant communities. In.: Application of calorimetry in life sciences. Walter de Gruyter – Berlin – New York: 325-326
- Lewitt J. 1980. Response of Plants to Environmental stresses. Acad. Press. New York. London. 697.
- Máhrlová, Z. 2010. Vliv teploty na procesy fotosyntézy a růst C3 a C4 rostlin ve výuce na biologii na školách [online]. Praha, 2010 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/bakalar/prace/BP_Mahrlova.pdf. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze.
- Malik AI, Colmer TD, Lambers H, Sester TL, Schortemeyer M. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New phytol.* 153: 225 – 236.
- Manjumaths, Sach MM. 1997. Molecular characterization and promoter analysis of maize cytosolic glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase gene family and its expression during anoxia. *Plant Mol.Biol.* 33:97 – 112.
- Marshall DR, Broue P, Pryor AJ. 1973. Adaptive significance of alcohol dehydrogenase isozymes in maize. *Nature* 244: 16 – 17.
- Maslova TG, Popova IA. 1993. Adaptive properties of plant pigment systems. *Photosynthetica* 29: 159 – 203.
- McNamara ST, Mitchell CA. 1991. Roles of auxin and ethylene in adventitious root formation by a flood-resistant tomato genotype. *Hort. Sci.* 26: 57 – 58.

- Menegus F, Cattaruzza L, Cherzi A, Fronza G. 1989. Differences on the anaerobic lactate-succinate production and in the changes of cell sap pH for plants with high and low resistance to anoxia. *Plant Physiol.* 90: 29 – 32.7
- Minkov IN, Jahoubjan G, Denev D, Toneva VT. 1999. Photooxidative stress in higher plants. In: Pessaraki, M. (ed.): *Handbook of plant crop stress*. Marcek Dekker. Inc., Ney York-Basel, 499 – 562.
- Mitchell KJ, Doyle JL, Serafini T, Kennedy TE, Tessier-Lavigne M, Goodman CS, Dickson BJ. 1996. Genetic analysis of Netrin genes in *Drosophila*: Netrins guide CNS commissural axons and peripheral motor axons. *Neuron* 17 (2): 203 – 215.
- Mostajeran A, and 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 Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 5, 264-272.
- Neružil P, Kohoutek A, Odstrčilová V, Vach M, Javůrek M, Stražil Z. 2015. Využití minimalizačních a půdoochranných technologií pro snížení účinků vodní eroze na obdělávaných půdách. *Výzkumný ústav rostlinné výroby*. Praha. 22 s.
- Nilsen ET, Orcutt DM. 1996. *The physiology of plant under stress*. John Wiley and Sons, Inc., New York, Chochester, Brisbane, Toronto, Singapore, Weinheim.
- Pastori GM, Del Rio L. A. 1997. Natural senescence of pea leaves: an activated oxygen-mediated function for peroxisomes. *Plant Physiol.* 113: 411 – 418.
- Pezeshki SR 2001. Wetland plant response to soil flooding. *Environ. Exp.Bot.* 46: 299 – 312.
- Pezeshki SR. 1994. Plant response to Flooding. In: Wilkinson, R.E. (Ed.): *Plant Environment Interaction*. The University of Georgia. Griffin. Georgia.
- Ponnamperuma FN. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in agronomy* 24: 29-96.
- Ponnamperuma FN. 1984. Effects of flooding on soils. *Flooding and plant growth*. Academic press. New York. p. 45.
- http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Definice_sucha.html (cit. 25.3.2020)
- Povolný M, Vacek E. 2018. Přehled odrůd 2013 kukuřice. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno Národní odrůdový úřad. Brno.
- Povolný M, Vacek E. 2018. Přehled odrůd 2018 kukuřice. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno Národní odrůdový úřad. Brno.
- Price AH, Cairns JE, Horton P, Jones HG, Griffiths H. 2002. Linking drought-resistance mechanisms to drought avoidance in upland rice using a QTL approach: progress and new opportunities to integrate stomatal and mesophyll responses. *J Exp Bot* 53: 989 – 1004.
- Probert ME, Keating BA. 2000. What soil constraints should be included in crop and forest models. *Agric. Ecosys. Environ.* 82: 273-281.
- Purvis AC, Williamson RE. 1972. Effects of flooding and gaseous composition of the root environment on growth of corn. *Agron, J.* 64: 674-478.
- Reddy KR, Patrick WH, Lindau GL. 1989. Nitrification-denitrification at the plant root-sediment interface in wetland. *Limnology and oceanography* 34: 1004-1013.
- Rijnders JGHM, Armstrong W, Darwent MJ, Blom CWPM, Voesenek LACJ. 2000. The role of oxygen in submergence-induced petiole elongation in *Rumex palustris*: in situ measurements of oxygen in petioles of intact plants using micro-spectrodes. *New Phytol.* 147:479-504.

- Roden EE, Edmonds JW. 1997. Photophase mobilization in iron-rich anaerobic sediments: microbial Fe (III) oxide reduction versus iron-sulfide formation. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 347 – 378.
- Rosegrant MW, Cline SA. 2003. Global food security: challenges and policies 302: 1917 – 1919.
- Russel DA, Sachs MM. 1992. Protein synthesis in maize during anaerobic and heat stress. *Plant Physiol.* 99: 615 – 620.
- Sage RF, Sharkey TD, Seemann JR. 1990. Regulation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity in response to light intensity and CO₂ in the C₃ annuals *Chenopodium album* L. and *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiol.* 94: 1735 – 1742.
- Salisbury FB, Ross CW. 1992. *Plant physiology*. Wadsworth publishing company. Belmont. California. 682.
- Samad A, Meisner CA, Saifuzzaman M, Van Ginkel M. 2001. Waterlogging tolerance. In: Reynolds MP, Ortis-Monasterio JI, McNab A. (Eds.): *Application of physiology in Wheat Breeding*, Mexico, D.F.: CIMMYT, 163 – 144.
- Sgherri ChL M, Pinzino C, Navari-Izzo F. 1993. Chemical changes and O₂ production in thylakoid membranes under water stress. *Physiol. Plant.* 87 s. 211-216.
- 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: 264 – 270.
- Schumel DS, Braswell BH, Holland EA, McKeown R, Ojima DS, Painter TH, Parton WJ, Townsend AR. 1994. Climatic, edaphic and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochem. Cycles* 8: 279 – 293.
- Skládanka J. 2006. Kukuřice setá. In: *Multimediální učební texty pěstivařství* [online]. [cit. 2019-11-05]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html.
- Smethurst CF, Shabala S. 2003. Screening methods for waterlogging tolerance in lucerne: Comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. *Funct. Plant Biol.* 30: 335 – 343.
- Stražil Z. 1987. Energetické bilance v odlišných osevních sledech se závlahou. *Rostlinná výroba*, 33, (10), s. 1039-1046.
- Soukup A. 2005. *Structural adaptations of wetland plants*. Charles University in Prague. Department of plant physiology.
- Soukup A, Votrubová O, Čížková H. 2002. Development of anatomical structure of root of *Phragmites australis*. *New Phytol.* 153: 277 – 287.
- Su PH, Lin CH. 1996. Metabolic responses of luffa roots to long term flooding. *J. Plant Physiol.* 148: 735 – 740.
- Špaldon E. a kol. 1982. *Rostlinná výroba*. Příroda Bratislava
- Šroller J. a kol. 1997. *Speciální fytotechnika: rostlinná výroba*. 1. Vyd. Praha: EKOEXPRESS.
- Šuk J, Balík J, Jakobe P, Jambor V, Kohout V, Loučka R, Táborský V, Vrzal J. 1998. *Kukurice*. VP Agro Kneževy.
- Talbot RJ, Etherington JR, Bryant JA. 1987. Comparative studies of plant growth and distribution in relation to waterlogging. XII. Growth, photosynthetic capacity and metal ion uptake in *Salix caprea* and *S. cinerea* ssp. *Oleifolia*. *New Phytol.* 105: 563 – 574.

- Titarenko T. 2000. Test parameters of revealing the degree of fruit plants tolerance to the root hypoxia caused flooding of soil. *Plant Physiol. Biochem* 38: 115.
- Tylová E, Soukup A. 2010. Sborník z konference „Prosperující olejniny“ [online]. [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: http://konference.agrobiologie.cz/2010-12-09/02-Tylova-Soukup_PRICINY_A_MECHANISMY_POSKOZENI_ROSTLIN_NA_ZAPLAVENYCH_LOKALITACH.pdf
- Urich J. 2012. KUKUŘIČNÉ LISTY 01/2012, VP AGRO. 4 s.
- Valíček P, Hlava B, Hušák S, Kokoška L, Matějka, V, Michl J, Pavel L, Polesný Z, Wroblewská E, Zelený V. 2002. Užité rostliny tropu a subtropu. Academia Praha, 2002: 87-88.
- Van Ginkel M, Rajaram SA, Thijssen M. 1992. Waterlogging in wheat: Germplasm evaluation and metrolology development. In: Tanner DG, Mwangi W. (Ed.): The seventh Wheat workshop for Eastern, Central and Southern Africa. Nakuru, Kenya. sep. 16-19, 115-124.
- Vartapetain BB 1991. Flood sensitive plants under primary and secondary anoxia: ultrastructural and metabolic responses. In: Jackson MB, Davies DD, Lambers H, (Ed.): Plant life oxygen deprivation, SPB Academic Publ. Hague, Netherlands. 201 – 216.
- Vervuren PJA, Beurkens SMJH, Blom CWPM. 1999. Light acclimation, CO₂ response and long-term capacity of underwater photosynthetic in three terrestrial plant species. *Plant. Cell Environ.* 22: 959 – 968.
- Voesenek LACJ, Colmer CD, Poetik R, Millenaar FF, Peeters AJJ. 2006. How plants cope with complete submergence. *New Phytol.* 170: 213-226.
- Vogel E, Deumlich D, Kaupenjohann M. 2016. Bioenergy maize and soil erosion - Risk assessment and erosion control concepts. *Geoderma* 26: 80 – 92
- Vojtová J. 2013. Změny vlhkosti zrna při dozrávání kukuřice - diplomová práce JU, ZF, České Budějovice. 60 s.
- Vokatá L. 2014. Pěstování kukuřice v integrovaném systému hospodaření - bakalářská práce JU ZF, České Budějovice. 78 s.
- Votrubová O, Kadeřábek J, Albrechtová J. 1992. Distribution of stomata on the second leaf of *Zea mays* following root hypoxia. *Biol. Plant.* 34 (1-2): 115-119.
- Watanabe I, Manguiat I, Masafifia GB. 1996. Nitrogen mineralization in tropical wetland rice soil. II. Application of exponential methods. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 42: 239.
- Weselind J. 1974. Crop growth and wet soils. In: Van Schilfhaarde, J., (Ed.): Drainage for agriculture. 7-37. American society of agronomy, Madison, WI.
- Xu DQ, Shen YK. 1999. Light stress: Photoinhibition of photosynthesis on plants under natural conditions. In: Pessarakli M. (Ed.): Handbook of plant and crop stress. New York-Basel.
- Yordanova RY, Uzunova AN, Popova LP. 2005. Effects of short-term soil flooding on stomata behaviour and leaf gas exchange in barley plants. *Biol. Plant.* 49: 317 – 319.
- Yancey PH, Clark ME, Hand SC, Bowlus RD, Somero GN. 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science* 217: 1214 – 1222.
- Yordanova RY, Christov NK, Popova LP. 2003. Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding. *Environ. EXP. Bot.* 51: 93 – 101.
- Zaidi PH, Rafique S, Singh NN. 2003. Response of maize (*Zea mays* L.) genotypes to excess soil moisture stress: morpho- Physiological effects and basis of tolerance. *Eur. J. Agron.* 19: 282 – 399.

Zaidi PH, Rafiquee S, Singh NN, Srinivasan G. 2002. Excess moisture tolerance in maize – progress and challenges. Proceeding – 8th Asian regional maize workshop. 5-9 august. Bangkok. Thailand. 26 – 48.

Zimolka J, a kol. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press Praha, 200 s.