

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA GEOENVIRONMENTÁLNÍCH VĚD



**ZVYŠOVÁNÍ RETENČNÍ SCHOPNOSTI
ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD VČETNĚ ÚČINNÉ
SEKVESTRACE UHLÍKU POMOCÍ APLIKACE
BIOCHARU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Mgr. Lukáš Trakal, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jiří Bouček

Bakalant: Lucie Blažková-

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Blažková

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Zvyšování retenční schopnosti zemědělských půd včetně účinné sekvestrace uhlíku pomocí aplikace biocharu

Název anglicky

Increasing the retention capacity of agricultural soils, including efficient carbon sequestration through the application of biochar

Cíle práce

Cílem práce je aplikace biocharu do zemědělské půdy vykazující nízkou zádrž vody včetně potřebných živin. Cílem je tak nejen zvýšit retenci půdní vody, ale také snížit loužení potřebných živin (především dusičnanů) do nižších vrstev.

Metodika

K těmto účelům bude realizován nádobový experiment s konkrétní zemědělskou plodinou, která je náročná na množství voda a živin v půdě a má významné hospodářské využití (např. cukrová řepa nebo kukuřice). Konkrétně tedy bude sledována v rámci nádobového experimentu zvýšená zádrž vody (pomocí vlhkostních čidel) a bude pravidelně odebírána půdní voda (pomocí rhizonů) za účelem chemického rozboru odebrané půdní vody. Na konci experimentu budou sledovány základní analýzy samotné biomasy (hmotnost, složení živin, ppř. obsahy cukrů či stresové faktory jako např. obsahy chlorofylů).

Doporučený rozsah práce

30 – 40

Klíčová slova

biochar; retenční vody v půdě; živiny; sekvestrace uhlíku

Doporučené zdroje informací

F. Verheijen, S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Velde, I. Diafas (2010) *Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*; European Communities, 2010
LEHMANN, J. – JOSEPH, S. *Biochar for environmental management : science and technology*. London ; Sterling: Earthscan, 2009. ISBN 978-1-84407-658-1.
OK, Y S. – UCHIMIYA, S M. – CHANG, S X. – BOLAN, N. *Biochar : production, characterization, and applications*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-1482242294.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Lukáš Trkal, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra geoenvironmentálních věd

Konzultant

Ing. Jiří Bouček

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2021

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 03. 2021

Prohlašuji, že jsem bakalářskou na téma: Zvyšování retenční schopnosti zemědělských půd, včetně účinné sekvestrace uhlíku pomocí aplikace biocharu vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom/a, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování:

Ráda bych poděkovala doc. Mgr. Lukášovi Trakalovi, Ph.D. za odborné vedení při zpracování této bakalářské práce. Dále děkuji za odbornou všestrannou pomoc Ing. Jiřímu Boučkovi a také děkuji Ústavu experimentální botaniky AV ČR za poskytnutí laboratoře při testování cukrové řepy. V neposlední řadě děkuji za pomoc při testování zkoumaných subjektů.

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se věnuje problematice využití biocharu do zemědělské půdy, vykazující nejen nízký obsah organické hmoty, ale také nízkou schopnost zadržení vody a živin. Vzhledem k jeho pozitivním vlastnostem je biocharu v současné době věnována velká pozornost, jelikož je schopen kladně ovlivnit kvalitu půdy i změny klimatu. V teoretické části jsou shrnuty základní poznatky o cukrové řepě a biocharu. Práce popisuje jeho relevantní fyzikálně-chemické vlastnosti s důrazem na kvalitativní parametry, jakými jsou stabilita biocharu, vodní kapacita a retence živin. Na teoretickou část navazuje praktické provedení nádobového experimentu. Zde je pozornost věnována optimalizaci dávky vybraného biocharu v kombinaci s aplikací statkových hnojiv pro účely maximální produkce sledované cukrové řepy (*beta vulgaris*) za simulovaného sucha. Rostliny cukrové řepy byly pěstovány v podmínkách skleníku, kdy litrové nádoby byly naplněny připravenými půdními směsmi. Pro účely experimentu byla použita Regozem a schéma pokusu zahrnovalo sedm variant, tedy neošetřená kontrola (C) (Regozem – půda s nízkým obsahem organické hmoty a malou retenční schopností), Regozem ošetřená aplikací 2% respektive 5% biocharu (B2%, B5%), Regozem ošetřená aplikací 2% respektive 5% hnoje (M2%, M5%) a Regozem do které byl přimíchán biochar v kombinaci s hnojem v poměru 1:10 v/v (MB2%, MB5%). Všechny vstupní materiály byly analyzovány za účelem základních charakteristik včetně obsahu základních živin. Ze vstupních charakteristik je patrné, že v případě čistého biocharu se přibližně z 82 % jedná o organický uhlík se zásaditým pH. Z těchto a dalších výstupů vyplývá, že je mnohem vhodnější biochar použít do konvenčních organických hnojiv jako aditivum, než je biocharem zcela nahradit. Z celého experimentu vyplývá, že použití biocharu bude mít významný vliv na zmírnění dopadu klimatických změn v půdě. Dále bude příznivě ovlivňovat produkci účinnosti a výnos rostlin.

Klíčová slova: biochar, retence vody v půdě, živiny, sekvestrace uhlíku

Abstract

The submitted Bachelor Thesis is devoted to the utilization of biochar in agricultural land that has a low content of organic matter, but also a low capacity for water and nutrients retention. There's a lot of attention paid to biochar thanks to its properties that can have a positive effect on the quality of soil and climate changes. In the theoretical part, there is basic knowledge about sugar beet and biochar summed up. The work describes its relevant physico-chemical properties with emphasis on the qualitative parameters, such as biochar's stability, as well as water capacity and nutrients retention. Practical execution of the pot experiment follows up on the theoretical part. Here, the attention goes towards dose optimization of the selected biochar in combination with application of manure for the purposes of maximum production of the monitored sugar beet (*Beta vulgaris*) in simulated drought. The beets were grown in greenhouse conditions where one-liter containers were filled with prepared soil mixtures. Regosol was used for the experiment purposes and so the scheme experiment involved seven variants – untreated control (C) (Regosol – soil with low content of organic matter and low retention ability), Regosol treated with application of 2% respectively 5% biochar (B2%, B5%), Regosol treated with application 2% respectively 5% of manure (M2%, M5%) and Regosol into which biochar was mixed, in combination with manure, in 1:10 v/v ratio (MB2%, MB5%). All input materials were analyzed with the purpose of basic characteristics including the content of essential nutrients. Based on the input characteristics, it's apparent that in case of pure biochar, approximately 82 % of it is organic carbon with alkaline pH. This implies that it's much better to use biochar in conventional organic fertilizer as an additive in comparison to completely replacing them with biochar. The entire experiment suggests that the use of biochar will have a considerable impact on mitigating the impact of climate change in the soil. Additionally, it will have a positive effect on production efficiency and plant yield.

Keywords: biochar, soil water retention, nutrients, carbon sequestration

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce a stanovení hypotézy	3
3. Literární rešerše	4
3.1. Cukrová řepa	4
3.2. Tvorba výnosu cukrové řepy.....	6
3.2.1. Výnos cukrové řepy v ČR.....	6
3.3. Obecná charakteristika stresu	7
3.4. Vodní deficit u rostlin.....	8
3.5. Adaptační mechanismy na vodní stres	9
3.5.1. Schopnost snášet vysušení	10
3.6. Hnůj	10
3.6.1. Význam hnojení organickými (statkovými) hnojivy	11
3.6.2. Biochar v kombinaci s hnojem pro růst cukrové řepy	12
3.7. Obecná charakteristika biocharu	13
3.7.1. Historie biocharu.....	13
3.7.2. Přímá aplikace biocharu do zemědělské půdy	14
3.7.3. Postup výroby biocharu	15
3.7.4. Druhy biocharu podle pyrolýzní teploty	15
3.7.5. Stabilita biocharu.....	16
3.7.6. Schopnost poutat vodu	17
3.7.7. Zadrž živin	17
3.8. Fyzikálně chemické atributy (vlastnosti) biocharu	18
3.8.1. Sorpční schopnost biocharu	19
3.8.2. Negativní vlastnosti biocharu.....	20
4. Metodika	22
4.1. Nádobový experiment s cukrovou řepou.....	22
4.2. Analytické metody	25
4.3. Karotenoidy a chlorofyly.....	26
4.4. Měření výměny listového plynu.....	27
4.5. Měření fluorescence chlorofylu.....	28
4.6. Metoda sušení.....	29
4.7. Zpracování dat.....	29
5. Výsledky	30
5.1. Výsledky rozboru půdy	30
5.2. Výsledky rozboru rostlin	33

6. Diskuse.....	39
6.1. Biochar	39
6.2. Dusík	41
6.2.1. Reakce rostliny na vodní stres.....	42
6.2.2. Dusík – reakce na vodní stres.....	42
6.2.3. Dusík v půdě	45
6.3. Vápník	45
6.3.1. Stres.....	46
6.4. Draslík	46
6.4.1. Draslík v půdě	47
6.5. Fosfor.....	48
6.6. Hořčík.....	49
6.7. Síra.....	49
6.8. Sodík.....	50
7. Závěr	51
8. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	52
9. Seznamy	65

Přehled použitých zkratk

ÚKZÚK – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

KVK – Kationtová výměnná kapacita

AVK – Aniontová výměnná kapacita

B – Biochar

M – Manure

MB – Biochar in combination with manure

FDR – Vlhkostní čidla do půdy

HPLC – Kapalinová chromatografie

1. Úvod

Na území České republiky je cukrová řepa tradičně významnou polní plodinou s širším uplatněním, zajímavými vlastnostmi z hlediska rovnováhy osevních postupů a hospodaření s půdou a v neposlední řadě bioenergetickým potenciálem. Od 90. let jsme byli svědky postupného nárůstu ploch osetých cukrovou řepou, kterých je celkem (pro výrobu cukru a další využití) kolem 60 tisíc. ha⁻¹, loni a letos (2020 a 2021) plocha řepy dosahuje asi 66 tisíc ha⁻¹. Kromě zvyšujícího se trendu navyšování pěstebních ploch lze i přes určité výkyvy pozorovat trend zvyšování průměrných výnosů bulev a cukru (sacharózy).

V minulých letech stál domácí cukrovarnický průmysl před problémem přežít v liberalizovaném prostředí kvůli změnám ve společné organizaci trhu s cukrem. Po vstupu České republiky do Evropské unie došlo v odvětví cukrové řepy a cukru, k výrazným změnám, vlivem přijetí cukerní reformy. Došlo k poklesu produkční kvóty cukru a následně také k snížení sklizňových ploch cukrové řepy pro výrobu cukru. Pro pěstitele a zpracovatele cukrovky byly nastolené tvrdé podmínky oproti dosavadnímu zaběhnutému systému tržních ráďů pro cukrovou řepu, které platily v EU v letech 1968 až 2006. Cílem reformy bylo zvýšit konkurenceschopnost, minimalizovat ceny a produkci cukru (Strnadlová, 2009).

Navzdory tomu, že v České republice nejsme schopni rozšířit zemědělskou plochu, světová populace stále roste. Se stále zvyšujícími se nároky na zemědělství, je kladen velký důraz na udržitelnost a co největší výnos zemědělských plodin (Abubakar a Attanda 2013). Důraz je zde kladen i na kvalitu plodin a jejich lepší synergii s ekologickým zemědělstvím (Midmore, 1993).

Aby bylo možné v nadcházejících letech uspokojit potravinové požadavky této rostoucí populace, je nezbytné co nejlépe využít dostupné přírodní zdroje, které jsou pro budoucí zemědělství v této oblasti stále důležitějším faktorem. Cílem zemědělského sektoru již není pouze maximalizace produktivity, nýbrž její optimalizace v mnohem složitějších oblastech výroby, rozvoje venkova, životního prostředí, sociální spravedlnosti a spotřeby potravin. V posledních letech se za účelem zvýšení produkce zemědělských plodin stále častěji používají anorganická hnojiva (Pretty a kol., 2010). Jejich extrémní a nesprávné používání způsobuje slanost a hromadění těžkých kovů v zemědělských půdách, to narušuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy (Delgado a Gómez, 2016).

Velké ztráty organické hmoty jsou způsobeny především častou aplikací syntetických minerálních hnojiv na úkor hnoje a dalších organických aditiv. Ztrátu organické hmoty způsobují také globální změny klimatu, jako jsou přívalové deště, čímž dochází k odstranění mnoha užitečných látek (humusové látky, důležité živiny atd) z půdního horizontu. Všechny tyto látky jsou důležité pro růst veškerých plodin. Anorganická hnojiva způsobují znečištění povrchových a podzemních vod (Khan a kol., 2018). Kromě toho tento problém způsobuje eutrofizaci vodních ekosystémů, a dokonce vyvolává obavy, které ohrožují lidstvo, hospodářská zvířata a zdraví na této planetě (Ortaş, 2018).

2. Cíl práce a stanovení hypotézy

Cílem této bakalářské práce je aplikace biocharu do zemědělské půdy, která vykazuje nízký obsah organické hmoty, dále nízkou schopnost zadržování vody včetně nezbytných živin a zhodnocení výtěžnosti vysazené cukrové řepy (*Beta vulgaris L.*) do nízkoretenční půdy druhu regosolů ošetřených i) biocharem smíchaným se statkovým hnojem za účelem výroby, nízkou uvolňovacího hnojiva a ii) srovnáním směsi se statkovým hnojivem za použití nádobového experimentu s cukrovou řepou.

Tato práce zodpoví následující hypotézy:

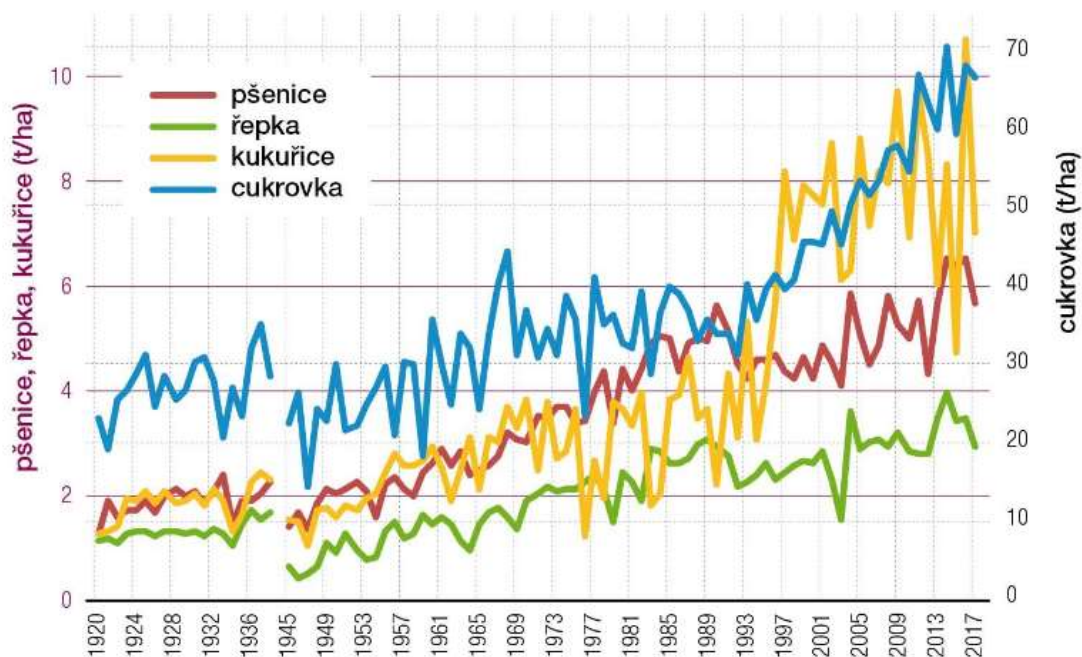
- (1) Mohou rostliny lépe odolávat, či oddálit působení vodního stresu pomocí aplikace biocharu?
- (2) Jak biogenní prvky a fyziologické faktory ovlivňují obsah sacharózy v cukrové řepě?
- (3) Biochar sníží vodní stres, dokáže ovlivnit její fyziologické parametry a promítne se to na obsahu živin v biomase a bulvách?
- (4) Jak souvisí fyziologické parametry s obsahem prvků, jak se jejich obsah v cukrové řepě projevuje během vodního stresu, bude nejlepší parametrem obsah chlorofylu?
- (5) Chceme potvrdit i ekonomický aspekt, že aplikace 5% biocharu a 5% hnoje je náročná, nejlepší řešení bude MB2% varianta?

3. Literární řešerše

3.1. Cukrová řepa

- *Beta vulgaris var. altissima*

Cukrová řepa patří mezi dvouleté a nejintenzivněji pěstované zemědělské plodiny na území České republiky, spadající do čeledi laskavcovitých (*Amaranthaceae*). Řepa se pěstuje v zemích mírného klimatického pásma. Obecně je tedy možné říct, že pro cukrovku jsou vyhovujícími oblastmi ty, které jsou s nízkou oblačností, bez silného povětrí a se středními srážkami. Průměrný interval ročních srážek v České republice je okolo 600-800 mm (Weissmannová a kol., 2004). Přesně tento průměr vláhy cukrová řepa potřebuje ke svému růstu, jelikož jí dělají problémy extrémní výkyvy, jako je přemokření či sucho. Přesně vyhrazené požadavky na pěstitelská opatření jí řadí mezi jednu z nejnáročnějších užitkových plodin, a proto je nezbytné cukrovce věnovat co se týče agrotechnických opatření po celé její vegetační období patřičnou pozornost. Je to plodina, která je náročná jak na půdní, tak i klimatické podmínky (Mekdad a kol., 2016). Se zvyšujícím se tlakem na ekologické zemědělství se zvyšuje počet chorob a škůdců. Nejčastěji se vyskytující choroby na cukrovce jsou choroby listové, které negativně ovlivňují kvalitu a následný výnos. Nicméně díky současně existujícím výkonným geneticky jednoklíčovým odrudám, které jsou vcelku tolerantní k některým škůdcům a chorobám je cukrovka bezpochyby nejproduktivnější technickou plodinou mírného pásma (Pulkrábek a kol., 2007). V našich podmínkách spadá nepochybně mezi nezastupitelné plodiny pěstované v řepařské výrobní oblasti (Hroudová a kol., 2020). Také ve světě je řazena do skupiny patnácti nejvýznamnějších plodin. Pulkrábek a kolektiv, (2007) ve svém článku uvádějí, že v letech 2007 výnosy cukrové řepy dosahovaly více než desetinásobku oproti počátku svého pěstování před více než 170 lety. Z obrázku 1. je patrné, že se výnos v posledním desetiletí ještě zvýšil.



Obrázek 1. Průměrné hektarové výnosy pšenice, kukuřice, řepky (levá osa) a cukrové řepy (pravá osa) v letech 1920-2017.

Zdroj: (ČSÚ)

Cukrová řepa je v první řadě pěstovaná jako surovina na výrobu cukru a vedlejších produktů (palivový líh, krmivo). Jak uvádějí Pulkrábek a kolektiv (2007) souhrnná konzumace cukru se v ČR pohybuje na úrovni přibližně 440 tisíc tun za rok, což představuje spotřebu na jednoho obyvatele kolem 39–40 kg. Chemicky se jedná o hnědý řepný cukr, který se upravuje (rafinuje) na bílý. Výnos bílého cukru je zhruba 10 tun z hektaru. Průměrná hodnota cukernatosti u cukrové řepy je 16-18 %. Vyprodukovaný cukr a vedlejší produkty jsou cennou obnovitelnou surovinou pro potravinářský a fermentační průmysl (Pulkrábek a kol., 2007), mimo jiné je také využívána pro nepotravinářské účely, a to na výrobu palivového lihu a produkci bioplynu.

3.2. Tvorba výnosu cukrové řepy

Výnosnost cukru se určuje nejen podle množství bulv na jednom hektaru plochy zeměpisné půdy, ale také podle obsahu cukru v bulvě (cukernatost) a její průměrné hmotnosti. Je velice důležité určit správnou řádkovou distanci (vzdálenost) výsevu. Zvolení optimálního množství rostlin na jednotku plochy je ovlivněno několika faktory, jako je obsah živin v půdě, délka vegetačního období, sluneční svit nebo dostupnost vody (Varga a kol., 2014). Tvorbu výnosu cukrové řepy ovlivňuje převážně stavba porostu. V první řadě je to množství rostlin v porostu, jeho přehušnění, které vede k předčasnému polehnutí rostlin a mezerovitost. Příliš velká hustota výsadby porostu bývá častou chybou při pěstování zemědělských plodin (Pulkrábek a kol., 2007)

Dalšími omezujícími složkami, ovlivňujícími konečný výsledek je především délka a intenzita vývoje a růstu rostliny, distribuce biomasy, a obzvláště ukládání cukru do bulvy. Výsledná struktura porostu je odvislá od zvolené vzdálenosti výsevu v řádku (18–21 cm), dosažené vzešlosti porostu (70–85 %) a zvolené šířky řádků (45 či 50 cm) (Pulkrábek a kol., 2007).

3.2.1. Výnos cukrové řepy v ČR

Výnosnost cukrové řepy je v ČR vlivem klimatických změn velmi různorodá. Obecně lze říct, že v posledních patnácti letech se výtěžky cukrovky výrazně zvýšily a postupně se zvyšovala také cukernatost. Nicméně například v roce 2018 výnosy cukrové řepy v některých regionech klesaly až o 40 % a to díky dopadům sucha (Hroudová a kol., 2020). Rok 2020 byl pro sklizeň výrazně lepší, avšak vlivem většího množství srážek byla řepa mnohdy napadena škůdci. V ČR se dnes výnosy pohybují v průměrném rozmezí 50 až 60 tun z hektaru. Hodnota cukernatosti se pohybuje kolem 16-18 %, avšak za vhodnějších podmínek by stupeň cukernatosti mohl být ještě vyšší. Na tom má ovšem značnou zásluhu přiměřené hnojení, kvalitní výživa, ochrana plodiny a zkvalitnění osiva cukrovky.

3.3. Obecná charakteristika stresu

Pojem stres je běžně používán pro souhrnné pojmenování stavu, v němž se rostliny nacházejí pod působením stresorů. Je to dynamický celek několika reakcí (odezev) (Piterková a kol., 2005). Životní prostředí rostlin vystihují vnější proměnlivé podmínky. Jsou rozdělovány buď na vhodné pro jejich rozmnožování, vývoj a růst či méně vyhovující, v tomto případě přiměje rostliny měnit se a uzpůsobit se stávajícímu prostředí. Mnoho míst na světě, kde by byly rostliny separovány (izolovány) od stresového vlivu nenajdeme. Rostliny se rovněž vyskytují v místech, kde mají extrémní podmínky. Rostou zde v teplotách vzduchu pod $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo naopak při teplotách nad $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Orcutt a Nilsen, 1996).

Rostliny, které jsou mnohdy negativně ovlivňovány proměnlivými podmínkami vnějšího prostředí se pod tíhou různých nepříznivých podmínek, které nazýváme jako stresové faktory, dostávají do stresu. Nepříznivé dopady vnějšího prostředí neboli stresory rostlinu závažně ohrožují. Jak konstatuje Lewitt (1980), nemusí se nutně jednat o ohrožení jejího života, ale může dojít k vyhlášení tak zvaného „poplachu“ a to v případě že se organismus rostliny nenachází v klidovém stadiu. Při spuštění „poplachové“ reakce jsou vyvolány kupříkladu obranné a adaptační mechanismy. Klidové fáze organismů (suché spory a poikilohydrické rostliny) nejsou citlivé a jsou schopné přežít bez poškození všechny přirozené teploty, které se vyskytují na zemi. Hlavní faktory stresu, na které rostliny mohou narazit lze rozčlenit do tří skupin. První skupinou jsou faktory abiotické fyzikální, kam řadíme teploty, záření a také mechanické účinky. Další skupinou jsou faktory biotické, což jsou například patogenní mikroorganismy, vzájemné ovlivňování a herbivorní živočichové. Posledním a zároveň třetím faktorem jsou abiotické chemické faktory představující jak nedostatečné množství kyslíku, živin a vody v půdě, tak i nadbytečné množství iontů vodíku a soli, organické látky a toxické kovy a výskyt toxických plynů ve vzduchu (Fowden, 1993).

Lewitt (1980) ve své práci konstatuje, že ke změnám funkcí a struktury (morfologie) organismů, nemusí docházet jen vlivem proměnlivého prostředí, ale také za optimálních podmínek, například u některých genetických mutací. Modifikace i mutace se řadí mezi změny rostlin. Přestože jsou obě tyto změny spojeny s vlivem stresorů, každá probíhá na rozdílné úrovni. Rostliny na stres reagují odlišnými mechanismy, ty můžeme souhrnně pojmenovat jako stresová reakce. Stresová reakce probíhá několika fázemi. První fází je fáze poplachová, ta je zahájena hned, jak začnou působit stresory (Chaves a kol., 2009). Jejich účinkem dochází k narušení buněčné struktury a k poruchám životních funkcí rostlin. V případě, že nedojde k úhynu rostliny dochází k restituční fázi, kde začnou pracovat kompenzační mechanismy, které napomáhají rostlině ve fázi rezistence zvýšit odolnost vůči stresorům. Avšak vlivem intenzivního a dlouhodobého působení stresorů na rostlinu, nemusí být odolnost vždy trvalého charakteru zvýšena a může dojít znovu k jejímu poklesu v poslední stresové fázi nazývané jako fáze vyčerpání (Atwell a kol., 1999).

3.4. Vodní deficit u rostlin

Termín deficit vody označuje stav, při kterém je výdej vody větší, než je její příjem. Nedostatek vody v půdě je jedním z nejvýznamnějších problémů při pěstování zemědělských plodin. Rostliny s vyššími požadavky na přísun vody, jako je cukrová řepa, reagují citlivěji na vodní nedostatek zpomalením metabolismu i následné produkce. K tomu dochází při nízkých srážkách, nízkých teplotách a přílišné vlhkosti vzduchu. Negativní vliv nedostatku vody může být zmírněn použitím některých přírodních nebo umělých antistresových sloučenin. Z přírodních a uměle produkovaných látek mají tento účinek například Brassinosteroidy. Řadí se mezi rostlinné hormony regulující růst rostlin. Svou strukturou se podobají steroidům. Brassinosteroidy napomáhají ke snižování negativních vlivů vnějšího prostředí, kterými jsou extrémní teploty, nedostatek vody, nadbytečné zavlažování živné půdy, nadměrná koncentrace těžkých kovů, pesticidy (chemické přípravky zamezující ztráty na rostlinách vlivem živočišných a rostlinných škůdců), zasolování a také účinky biotických stresorů. V konečném důsledku napomáhají k zvyšování úrodnosti (Gudesblat a Russinova, 2011).

3.5. Adaptační mechanismy na vodní stres

Již od 70. let je mezi významné adaptační mechanismy zařazeno osmotické přizpůsobení vzhledem k suchu, vhodné i pro rostliny preferující mezofilní prostředí (Hsiao a kol., 1973). Při osmotickém přizpůsobování podmínkám sucha, dochází k slučování a nahromadění osmoticky činných látek v protoplastu, následkem toho se začne snižovat vodní potenciál, což přispívá k zadržetí vody v pletivech. Mezi osmoticky činné látky řadíme například organické kyseliny, aminokyseliny, anorganické látky nebo také v našem případě u cukrové řepy sacharóza. V důsledku svých výzkumů se Arnau a kolektiv (1998) domnívají, že k pozdržení vlivů vodního stresu na fotosyntézu patrně došlo právě účinkem zmiňovaného osmotického přizpůsobení. Za jeden z dalších adaptačních mechanismů kulturních rostlin považujeme mechanismus uzavírání průduchu (Berkowitz, 2000). Tento mechanismus zapříčiňuje snížení ztráty vody za pomoci výparu, nazývané jako transpirace (E). Tento fakt může mít kladný vliv na potenciál přežití rostliny, jelikož rostliny mají snahu dosahovat reprodukční zralosti i za okolnosti nízkého přísunu vody. Nepřetržitým vývojem je možno chápat prozatímní omezení fotosyntetické kapacity porostů jako akceptovatelný následek adaptace. Adaptací by mohlo být, ještě před smrtí jedince (rostliny), dosaženo vyhovující produkce semen. Mimo to by za jistých podmínek nemusel samotný jedinec v podstatě vůbec dosáhnout své reprodukční vyzrállosti. Přesto adaptace jako vývojově podmíněná výhoda není nepostradatelně přínosná u ekonomicky vynášejších pěstovaných užitkových rostlin. Jev uzavírání průduchu je rovněž popisován jako primární proces rostlin na suché období a další činitele způsobující stres v prostředí. K uzavírání průduchu dochází účinkem akumulace ABA (Taylor, 1991) u rostlin vyšších, u kterých je jejich zvýšená syntéza podnícena zejména nedostatečným množstvím vody v prostředí. K této skutečnosti se pojí také projev snížené vodivosti plynu v listech, vlivem uzavírání průduchu jako odezva na suchu, tím se zvýší efektivita využití vody. Z tohoto důvodu je možné považovat tento mechanismus za adaptační (Ni a Pallardy, 1991; Schulze a Hall, 1982).

Při snaze zvládat zátěž způsobenou nedostatkem vody si genotypově odolnější odrůdy vyvinuly různé obranné postupy, kterými jsou vzestupy stomatální vodivosti, relativního obsahu vody a kapacity fotosyntézy. Jedním z pojmů se aklimatizačních rysů s deficitem zásoby vody je změna tvaru listu. Při přeměně tvaru listu dochází k snížení povrchové plochy vzhledem k objemu a také k nárůstu hustoty průduchu i vodních pletiv, sloužících k rozvádění různých látek do různých částí v rostlině (Fahn a Broido-Altman, 1990).

3.5.1. Schopnost snášet vysušení

Schopnost rostliny snášet vysušení je podmíněno druhově specifickou a přizpůsobivou schopností živé hmoty buňky (protoplazmy) odolávat velkým ztrátám vody. Vlivem malého množství vody se vyvolává progresivní ztráta vnitřního tlaku protoplazmy a také se zvyšuje hustota buněčné šťávy. Nejprve dojde k narušení buněčné funkce, následovně k selhávání životních funkcí u rostlin a v poslední řadě se poruší protoplazmatické struktury. Podle takzvané kritické mezí je možné určit míru způsobilosti rostlin snášet vysušení. Kritická mez se určuje podle nejmenší relativní vlhkosti vzduchu, kterou jsou buňky schopné přežít, eventuálně vyvolat stupeň poškození (Larcher, 1995).

3.6. Hnůj

Hnůj se společně s kejdou, močůvkou a hnojůvkou řadí mezi stájová statková hnojiva. Jejich výroba souvisí téměř s veškerými chovy hospodářské zvěře. Pomocí aplikace těchto hnojiv je půda obohacena o organické látky, mikroorganismy, širokou škálu živin, látky podporující růst rostlin, hormonální látky a v poslední řadě o stimulační látky. Statková hnojiva se řadí mezi univerzálně použitelná hnojiva s postupným a dlouhodobějším působením (Eckert a kol., 2000).

Organická hnojiva živočišného původu se již po staletí široce využívají jako vysoce cenná hnojiva. Obsahují jak základní potřebné živiny pro růst a vývoj zemědělských rostlin, tak i stopové prvky, které taktéž pomáhají ke správnému vývoji. Kuřecí hnůj je bohatý na biogenní prvky, základní živiny N,P a K a další důležité

živiny pro výživu rostlin, tyto důležité látky mohou zlepšit fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti půdy (Celik a kol., 2010). Tripathi a kolegové (2014) uvádějí, že organická hmota je důležitou složkou organických hnojiv a organické kyseliny obsažené v organické hmotě mohou obohatit půdu o živiny a povznést její úrodnost.

Aplikace statkových hnojiv napomáhá k udržování rovnováhy živin a organické hmoty v půdě, vylepšuje její strukturu, zlepšuje také retenci půdy a je prospěšná pro ochranu životního prostředí v porovnání s aplikací samotných anorganických hnojiv (Mwangi a kol., 2010). Každý porost je jiný, a proto vyžaduje aplikaci hnojiva v různé vegetační době, v jiném množství a odlišující se formě.

Důsledkem aplikování organických hnojiv do zemědělských půd s nízkým obsahem organických látek vznikne velká různorodost (heterogenita) v distribuci zdrojů a následující mikrobiální rozklad jednoduchých i složitých organických materiálů uvolní organické a anorganické N pro absorpci rostlinami. Prostorové a časové uvolňování těchto živin bude složitější, než když se anorganické živiny aplikují přímo (Aleer a kol., 2014). Tian a kolektiv 2012 a (Espinosa a kol., 2011) uvádějí, že organická hnojiva na základě několika experimentů s rostlinami významně zvýšila obsah organické hmoty v půdě a účinných látek a podpořila pohlcování neboli absorpci živin.

3.6.1. Význam hnojení organickými (statkovými) hnojivy

Hnojivo je materiál bohatý na živiny, vyživující kulturní rostliny a lesní dřeviny. Napomáhá zlepšovat půdní úrodnost a pozitivně působit na výnos i kvalitu produkce. Pěstování rostlin a jejich následné využití pro lidstvo, zvěř (krmivo) a průmyslové zpracování se již před tisíci lety stalo nezbytností. Rostliny stejně jako lidé a zvířata potřebují pro svůj růst vyrovnanou výživu (Soetan a kol., 2010). Pro docílení zdravého růstu rostlin je nezbytné doplňovat přijatelné živiny a tím rostlině zajistit dostatečný obsah živin v půdě. Jednou z možností, jak rostlině dodat živiny v přístupných formách je aplikace zmiňovaných statkových hnojiv. Statková neboli organická hnojiva rostlině dodávají potřebné živiny, mikroorganismy a organické

látky. Hnojení je tedy proces, při kterém se do úrodného prostředí aplikuje hnojivo, které je hlavním předpokladem pro docílení požadovaného množství a kvality produkce. Jakmile rostlinám chybí živiny v půdě, nezačnou poskytovat dostatečnou produkci a vysokou kvalitu. Začne docházet k poklesu obsahu potřebných látek jako jsou významné výživové a energetické látky, minerální látky (makroprvky) a stopové prvky. Evidentní tedy je, že vypěstovaná rostlina nám může dodat jen tak kvalitní produkt, jak kvalitní výživu sama dostala. Poznatky z dlouhodobých vědeckých studií prokazují, že dostačující a vyvážená výživa užitkových rostlin podporuje potřebnou produkci rostlin v nezbytném množství a kvalitě, která následně zabezpečuje lidskou existenci populace (Graham a kol., 2001).

Tabulka 1. Přehled tradičních možností organického hnojení cukrové řepy (Chochola, 2010)

Hnojiva	Složení (%)						Max. Dávka (t/ha)
	sušina	org.hm.	N	P ₂ O	K ₂ O	MgO	
Hnůj	24	17	0,42	0,22	0,50	0,07	30-50
Kejda – skot	8	6	0,30	0,28	0,29	0,05	20-50
Kejda – prasata	6	5	0,49	0,25	0,21	0,06	20-40
Sláma pšeničná	86	82	0,45	0,16	0,77	0,12	0-5
Sláma ječná	86	82	0,50	0,18	1,20	0,08	0-5
Průmyslové komposty a odpadní kaly	Kolísavé složení						

3.6.2. Biochar v kombinaci s hnojem pro růst cukrové řepy

Spojení biocharu a organických hnojiv je prospěšné při snaze snižovat míru znečišťování životního prostředí. Použití této kombinace řeší například problém v souvislosti s nadbytečným hnojením anorganickými hnojivy a rovněž zvyšuje potenciální hodnotu biocharu. Pomocí jejich kombinace můžeme v půdě zvýšit aktivitu půdních mikroorganismů a enzymů, což vede k následnému zdokonalení fyzikálních i chemických vlastností půdy (Fanish a kol., 2017).

3.7. Obecná charakteristika biocharu

Tato kapitola je věnovaná popisu biocharu neboli biouhlu včetně jeho vzniku, složení a následné aplikace do půdy. Biouhel je tuhá hmota bohatá na uhlík, získávaná termochemickou přeměnou biomasy v prostředí se sníženým obsahem kyslíku. Termochemická přeměna je tak zvaný suchý proces, při kterém je používána pyrolýza, spalování a zplyňování (Pohořelý a kol., 2019). Má vícero využití než samotnou aplikaci do půdy, kde pozitivně ovlivňuje její úrodnost, ale také je možno ho využívat jako přídatek (aditivum) do kompostu nebo krmných směsí pro hospodářská zvířata. Svými vlastnostmi je nápomocen při řešení problematiky v oblasti globálních výzev, kterými jsou projevy půdní eroze, negativní dopady sucha a změny klimatu (Verheijen a kol., 2010)

3.7.1. Historie biocharu

Aplikace biocharu se za účelem zlepšení úrodnosti půd využívala, již před několika tisíci lety. V některých kulturách se biochar aplikoval záměrně. V dnešní době je jedním z hlavních témat nejen pro zvýšení úrodnosti, ale také pro ochranu klimatu. Takzvané černé půdy se tvořily obzvláště ve vlhkých tropech. Největší počet těchto nevyčerpávajících se půd (ani postupem několika let po odlesnění) se nachází v Amazonii, kde jich staří přesahuje až 2000 let. Vyskytují se pouhé domněnky o tom, jak je lidé v oné době vytvářeli. Klíčovým principem byla snaha proměnit zalesněné části na uhel. Takováto před dávnou dobou vytvořená půda pojímá tolik podílu biocharu a k němu vázaných živin, že ani po několika letech po odlesnění neproказuje stopy po vyčerpanosti, a navíc je stále velice úrodná. I dnes existují zemědělci, kteří přidávají uhel do půd nezávisle na historii biocharu. Nicméně i v zemích s mírným pásmem existují zmínky o hnojení rostlin pomocí uhlí. K upuštění od jeho užívání došlo nejspíše vlivem nástupu organických a anorganických hnojiv. Biochar se začal v některých zemích, jako je například Japonsko opět používat. Pro celý svět se jeví jako velice dobré aditivum do půd, protože zvyšuje retenci vody, čím dál tím častěji se s ním začali provádět jak laboratorní, tak polní pokusy (Klusák a Hollan, 2009).

Vlivem stálého zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře se v poslední době začalo usilovně pracovat s myšlenou, že se pomocí aplikace tuhého materiálu bohatého na uhlík, jakým je právě biochar, bude část uhlíku ukládat dlouhodobě v půdě. Během studie američtí vědci vypočetli, že by bylo možné pyrolýzou biomasy dosáhnout sekvestrace až 10 % ročních emisí z fosilních paliv v USA. Během pyrolýzy by se získal olej a plyn pro energetické účely a biochar by byl použit pro půdní aplikace (Břendová a kol., 2015).

3.7.2. Přímá aplikace biocharu do zemědělské půdy

Hlavním účelem výroby biocharu je jeho vpravení do zemědělské půdy, za účelem zkvalitnění jejich fyzikálně chemických vlastností. Biochar ještě před umístěním do půdy mnohdy prochází řadou různých úprav, které pozměňují jeho atributy (vlastnosti). Pro možnost bezproblémové aplikace biocharu do zeminy je nezbytné získat certifikát, který potvrzuje bezpečnost produktu vzhledem k životnímu prostředí. V České republice uděluje certifikaci Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, značený jako ÚKZÚZ. Chemicky ošetřený biochar se řadí do kategorie pomocných půdních látek.

Jeho aplikaci je možné zajistit pomocí zemědělských strojů. Například prostřednictvím rozmetadla se do zeminy vpraví zvlhčený (zestařený) biochar a pomocí secího stroje naopak biochar granulovaný. V tomto experimentu byl do půdy vpraven v kombinaci s hnojem (kompochar). Množství vpravené dávky závisí na několika faktorech, kterými jsou obsah vápníku, schopnost sorpce biocharu, půdní vlastnosti a v poslední řadě rozhoduje druh pěstované plodiny (Pohořelý a kol., 2019). Obvyklé dávkování je 5 až 10 tun na hektar (t/ha). Běžně se používají dvě varianty, a to sypaný a granulovaný biochar, který má v průměru okolo 3 mm. Po aplikování biochar v půdě setrvává i několik desetiletí. Díky jeho přítomnosti se zvýší schopnost půdy zadržet vodu, půda je kypřejší, redukuje proniknutí výživově cenných látek do podzemních vod, zachycuje a pozvolna uvolňuje biogenní prvky z hnojiv, a dokonce v počátku po použití biocharu vyrovnává pH půdy, díky vysoké koncentraci vápníku (Pohořelý a kol., 2019).

3.7.3. Postup výroby biocharu

Biochar v podobě aktivního uhlí je tvořen takzvanou pyrolýzou odpadní nesourodé biomasy. Pyrolýza je pracovní termický postup, při kterém dochází k rozkladu organických materiálů za nepřístupu kyslíku, vzduchu a kterýchkoliv jiných látek. Při tomto procesu se materiál ohřívá nad mez termické stability všech přítomných organických sloučenin, což zapříčiní jejich následné (náhlé) štěpení až na stabilní nízkomolekulární produkty a zbytek v tuhé formě. Podle finální teploty a rychlosti ohřevu procesu, rozlišujeme dva hlavní druhy termického postupu neboli pyrolýzy. Prvním typem je rychlá nebo také blesková pyrolýza, pro kterou je typický rychlý teplotní nárůst s finální teplotou dosahující až 1200 °C a krátkodobé zdržení v reaktoru v řádech několika málo sekund (Břendová a kol., 2015). Druhým typem je pyrolýza pomalá, vyznačující se pozvolnou vzrůstající teplotou a nižší finální teplotou pohybující se do 800 °C. Rychlou pyrolýzou vzniká vyšší podíl pyrolytického oleje, ale oproti pomalé pyrolýze o to nižší podíl biocharu a pyrolýzního plynu (Kos, 2016).

Tabulka 2. Vzniklý podíl pyrolytického oleje, pyrolýzního plynu a biocharu pomocí pyrolýzní technologie (Kos, 2016)

	Rychlá pyrolýza	Pomalá pyrolýza
podíl oleje	60-75 % hm.	20-25 % hm.
podíl plynu	10-20 % hm.	25-35 % hm.
podíl biocharu	15-25 % hm.	35-55 % hm.

3.7.4. Druhy biocharu podle pyrolýzní teploty

Biochar lze rozdělit do tří skupin podle pyrolýzní teploty, která je použita při jeho výrobě. Každá z těchto skupin se vyznačuje specifickými vlastnostmi a zároveň má své výhody i nevýhody. Prvním typem je nízkoteplotní biochar, který je vyráběn pomocí jednoduché výroby při teplotě do 400 °C (Srinivasan a kol., 2015). Vystihuje ho několik vlastností jako je nižší pH, dostupnost rozpustného uhlíku pro bakterie, značnější výnos, silná hydrofobicita (neochota interakce s vodou) a vysoko výměnná

kapacita, značená jako KVK. Drobné otvory (póry) bývají obvykle ucpávány směsí několika chemických látek nazývaných jako dehty. Primární dehty se za tak nízkých teplot zatím nemění na dehty terciární a kvarterní (Pohořelý a kol., 2019). Jsou tvořeny takzvaně rozpustným uhlíkem, který napomáhá k růstu mikroorganismů v půdě. Půdní mikroorganismy jsou společně s půdními živočichy nepostradatelnou složkou půdy, jelikož v ní zajišťují neustálý tok energie a látek. Dalším neboli druhým typem biocharu je středně-teplotní biochar, který byl kdysi považován za kompromisní variantu. V dnešní době je známo, že tento typ nenese žádnou z podstatných výhod nízkoteplotní ani vysokoteplotní varianty biocharu. Posledním typem je vysokoteplotní biochar, který je vyráběn při teplotě nad 600 °C a v půdě je dlouhodobě stálý (Sun a kol., 2017). Oproti zmiňovanému prvnímu typu biocharu má velkou vodní kapacitu, vyšší pH a velký povrch specifického charakteru s otevřenými póry a menším počtem alifaticky funkčních skupin. Vzhledem k nižšímu počtu funkčních skupin má vysokoteplotní biochar i nižší hydrofobicitu.

3.7.5. Stabilita biocharu

Schopnost stability je jedna z významných vlastností biocharu. V první řadě stanovuje, jakou dobu zůstane uhlík obsažený v biocharu sekvestrovaný v půdě, čímž napomáhá zmírnit změnu klimatu. V druhé řadě můžeme díky ní určit po jak dlouhou dobu bude biochar zlepšovat kvalitu rostlin, půdy a také kvalitu vody. Vlivem zvyšující se teploty pyrolýzy a rostoucího času zdržení v generátoru roste aromaticita, díky které se zvýší stabilita biocharu (Lehmann a kol., 2009). Ta se určuje podle testů, které lze rozdělit do tří kategorií. Testovací metody alfa, beta a gama. Díky alfa metodám je možné provádět jednoduché a zaběhlé měření stability uhlíku v biocharu. Tato varianta testovací metody má několik výhod, je nejen nízkorozpočtová, ale také samotné testování je velice spolehlivé a proveditelné v rámci několika minut či hodin, maximálně během několika dní. Jak stanovení molárního poměru vodíku k uhlíku, tak i stanovení poměru kyslíku k uhlíku, patří mezi alfa metody. Platí, že čím je poměr nižší, tím se biochar stává stálejším. Beta testovací metody přímo vyčíslují stabilitu biocharu a lze je využívat pro určení a označení míry alfa metod. Posledním typem jsou gama metody. Jsou to metody, které mohou poskytovat fyzikálně-chemické základy pro ostatní dvě zmiňované testovací metody alfa a beta (Budai a kol., 2013).

3.7.6. Schopnost poutat vodu

Měření vodní kapacity biocharu probíhá přímým nebo nepřímým měřením. Přímé měření je nesložitá metoda, která má ovšem malé vypovídající vlastnosti, proto se pro určení vodní kapacity používá také měření nepřímé. V případě přímé metody se určité množství biocharu namočí na vyhrazenou dobu do vody, poté se zváží a tím se zjistí, jak velké množství vody byl biochar schopen do sebe nasáknout. Při nepřímém určování vodní kapacity se měří jeho specifický povrch a objem pórů. Právě specifický povrch a celkový podíl a objem pórů má kladný dopad na přirozenou sounáležitost biocharu s vodou. Taktéž hydrofobicita může ovlivnit určení vodní kapacity (Graber a kol., 2010).

3.7.7. Zádrž živin

Zádrž živin nebo také reverzibilní retence se stanovuje pomocí způsobilosti vázat kladně a záporně nabitě ionty nejpodstatnějších makronutrientů, pomocí dvou veličin. První veličinou je kationtová výměnná kapacita, značená jako KVK. Druhou veličinou je tak zvaná AVK což je zkratka pro výměnnou kapacitu aniontovou. Jedná se o počet záporně popřípadě kladně nabitých míst na povrchu biocharu, která se chovají jako příjemce a rovněž působí jako iont dodávající elektrony kationtům, popřípadě aniontům. Díky tomu biochar rostlinám napomáhá se zachycováním živin a rovněž má schopnost udržovat živiny ať už z půdy nebo hnojiv co nejbliže kořenům. Se zvyšující se teplotou roste také pH výluhu z biocharu, tím dochází k zvyšování veličin KVK a AVK i k zvýšení zádrže živin v půdě (Thies a kol., 2009).

3.8. Fyzikálně chemické atributy (vlastnosti) biocharu

Biochar je zejména uhlíkatá, pórovitá surovina drobných rozměrů černé barvy obsahující soudržné hydrofobní jádro chráněné skořápkou, které má ve většině případů aromatickou skladbu. Vykazuje chemicky činné atributy a interakci s vodou. Struktura biocharu je velmi různorodá a obsahuje jak pevné, tak i vratké komponenty, kterými jsou uhlík, těkavé složky, minerální látky (popel) a vlhkost (Verheijen a kol., 2010).

Tyto komponenty jsou obecně považovány za jeho čtyři základní složky. Tabulka 2 shrnuje jejich relativní podíl vyskytující se v biocharu. Množství látek je závislé na výchozí surovině biomasy a způsobu pyrolýzy.

Tabulka 3. Hlavní složky v biocharu, které se běžně vyskytují u celé řady výchozích materiálů a pyrolýzních stavů a jejich rozpětí (Verheijen a kol., 2010)

Obsažené složky	Obsah [w%]
Pevný uhlík	50–90
Těkavé látky	0–40
Vlhkost	1–15
Minerální látky	0,5-5

Kladným atributem biocharu je schopnost sorpce organických znečišťujících látek (polutanty) a těžkých kovů při ochraně životního prostředí. Jeho způsobilost zadržovat v půdě vlhkost a živiny napomáhá zemědělským plochám dosáhnout početnější úrodnosti (Inyang a kol., 2016).

Dalším pozitivem pro životní prostředí je schopnost biocharu redukovat množství uvolňujících se znečišťujících příměsí v podobě skleníkových plynů do ovzduší.

Je tedy jednoznačné že jeho atributy mají pozitivní vliv na produkci biomasy a zkvalitnění zemědělských půd. Obrázek 2. vyobrazuje některé z již uvedených kvalit biocharu.



Obrázek 2. Vlastnosti biocharu

Zdroj: (www.Biouhel.cz)

3.8.1. Sorpční schopnost biocharu

Jak bylo v předešlé kapitole zmíněno jednou z předních vlastností biocharu je jeho způsobilost hromadit neboli adsorbovat organické kontaminanty a rovněž látky anorganické v podobě iontů těžkých kovů na povrchu sorbentu. Kontaminanty jsou znečišťující látky, které biochar dokáže adsorbovat jak v půdě, tak i ve vodním prostředí. Při procesu hromadění kontaminantů v půdě se biochar chová jako sorbent, redukcující vstoupení nežádoucích látek do těla rostliny (Beesley a kol., 2011).

Fyzikálně chemické atributy biocharu mají vliv na kinetiku adsorpce. Převážně jde o poréznost (pórovitost) biocharu, velikost povrchu a o přítomnost funkčních skupin na povrchu. Zmiňované atributy ovlivňuje nejen použitá biomasa, ale také stupeň karbonizace (pyrolytický rozklad), pyrolýzní délka a teplota. Vliv na tyto

atributy má i to, jaké pH má roztok, ve kterém probíhá sorpce, koncentrace biocharu jako adsorbentu (nerozpustné látky), soužití nebo také koexistence kationtů, teplota a podobně (Joseph a kol., 2010). Jedná se o celou škálu mechanismů mezi povrchem biocharu a adsorbovanou látkou, jakými jsou chemická vazba, vodíkové vazby, interkalace (umístění molekuly do hostitelské mřížky), fixace v pórech, hydrofobní interakce, elektrostatická přitažlivost, π - π interakce a tak dále (Gembalová a kol., 2016).

Při adsorpci některých látek často převažuje, některý z uvedených mechanismů. Například bylo prokázáno, že u trichlorethylenu (C_2HCl_3) byly vyplňovány póry (fixace v pórech) a u aromatických výbušnin (TNT), převládá mechanismus π - π interakce. Taktéž jsou uváděny příklady adsorpcí kovových iontů olova, mědi, chrómu, zinku, uranu a celé řady skupin organických látek, které mohou mít negativní dopad na životní prostředí. Obvykle jsou to pesticidy a farmaceutické produkty celosvětově rozšířené jako například tetracyklin, isobrufen, acetaminofenon, aspirin, které způsobují značné problémy v odpadních vodách, ale také výbušniny, průmyslové látky a další (Gembalová a kol., 2016)

3.8.2. Negativní vlastnosti biocharu

Jak je známo, biochar překypuje nesmírně velkým počtem pozitivních vlastností, přesto se u něj najdou také jistá negativa. Jedná se zejména o negativa, spojená právě s jeho složením. Mezi nejzávažnější negativní vlastnosti biocharu patří například toxicita, expozice prašnými částicemi a riziko vzplanutí.

Toxicita biocharu může vzniknout již při jeho výrobním procesu, jelikož je vyráběn z různých organických surovin (odpadů) může být kontaminovaný pyrolýzními párami a také může obsahovat těžké kovy, metabolity i polyaromatické uhlovodíky (PAH) (Lyu a kol., 2016).

Využitím elektronové paramagnetické rezonance (EPR) bylo navíc prokázáno, že biochar obsahuje taktéž trvale volné vysoce reagující částice, které mohou negativně ovlivnit růst rostlin a zpomalit ho.

Jelikož má biochar sloužit k zpětné aplikaci do půdy je potřebné testovat fytoxicitu. Například se provádí kontrola klíčení semen, růstu rostlin, působení na mikroflóru, jak se biochar chová vzhledem k organické hmotě a další (Lehman a kol., 2011).

Požární nebezpečí hrozí přímo při zpracování biomasy. Vzniklé produkty jako bio-olej a samotný biochar jsou v podstatě kapalné a pevné hořlavé složky. Biochar je mimo jiné řazen mezi uhlíkatou prachovou složku, která společně se vzduchem může v závislosti na vlhkosti, ploše, rozsahu pórů, a obsáhlosti částic vytvořit výbušnou směs. Dolní hranice výbušnosti biocharu je 0,14 g/l.

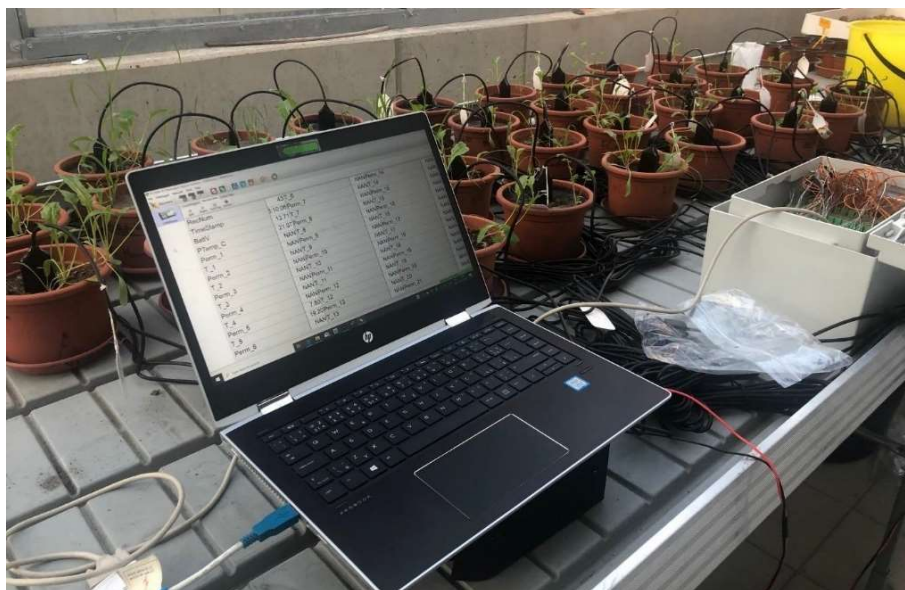
Studie prokazují, že náchylnost biocharu k samovznícení je ovlivněna skladováním, okolní teplotou a dopravou. Například k samovznícení biocharu na hromadě stačí jen 0,75 m³ při teplotě dosahující 40°C. Naopak při skladování v nižších teplotách, pohybujících se okolo 11 °C, bez ohledu na množství, k samovolnému vznícení nedochází (Dronzi-Undi a kol., 2012)

4. Metodika

4.1. Nádobový experiment s cukrovou řepou

Nádobový experiment s cukrovou řepou probíhal ve skleníku za účelem pozorování fyziologických parametrů a stresových faktorů (obr.3). Pro tento experiment byla použita zemědělská Regozem. Jedná se o půdní druh vzniklý ze sypkých sedimentů, a to převážně písků, kde substrát chudý na minerály nebo krátká doba vzniku a vývoje z horniny (pedogenese) brání výraznějšímu vývoji profilu. Jelikož se jedná o půdu, obsahující nepatrné množství organické hmoty a malou retenční schopností, byl k ní přimíchán biochar v kombinaci s hnojem, a to ve dvou odlišných dávkách 2% a 5% hmotnostně. Experimentální design byl uspořádán v několika variantách, tedy neošetřená kontrola (Regozem), Regozem ošetřená 2% nebo 5% biocharem, Regozem ošetřená aplikací 2% respektive 5% hnojem a Regozem do které byl přimíchán biochar v kombinaci s hnojem v poměru 1:10 v/v. Takto připravené směsi s aditivy byly umístěny do litrových květináčů. Vzniklo sedm variant v podobě C, B2%, B5%, M2%, M5%, MB2% a MB5%, každá v pěti opakováních.

Všechny vstupní materiály byly analyzovány za účelem stanovení základních charakteristik včetně obsahu základních živin (Tabulka 4). Ze vstupních charakteristik je patrné, že v případě čistého biocharu se v podstatě jedná o organický uhlík (cca 82 % C) se zásaditým pH. Z těchto a dalších výstupů vyplývá, že je mnohem vhodnější biochar použit jako aditivum do konvenčních organických hnojiv než jako jejich náhradu.



Obrázek 3. Nádobový experiment s instalovanými vlhkostními čidly FDR a rhizony.

Zdroj: (Vlastní fotografie, 2020)

Tabulka 4. Základní charakteristika vstupních materiálů a půdy.

	Regozem	Biochar	Hnůj	Hnůj s biocharem
Objemová hmotnost [g/cm³]	1,59	0,17	0,16	0,20
Pórovitost [%]	41,1	74,0	/	/
pH [-]	6,1	11,2	8,5	10,1
El. Vodivost [μS/cm]	23,1	1400	4210	4300
Corg [g/kg]	93,3	817	373	488
Ncelk [g/kg]	5,41	5,8	25,0	16,0
C/N [-]	17,3	140	14,9	30,5
Pcelk [g/kg]	0,03	0,89	7,48	5,62
K [g/kg]	0,06	3,90	36,0	36,0
Ca [g/kg]	0,07	16,4	19,1	16,0
Mg [g/kg]	0,13	2,85	4,90	4,44

Zdroj: (Vlastní zpracování,2021)

Pro samotný experiment byly vytvořeny podmínky ve skleníku, kde byly květináče naplněny předem připravenými půdními směsmi. V každém květináči bylo do zemin umístěno 5 semen cukrové řepy, po klíčení byl počet snížen na dva kusy. Do každého z květináčů byl nainstalován senzor FDR 5TM (Decagon, USA) (viz. obr. 3), hlídající vlhkost. V průběhu experimentu byl odebírán půdní roztok pomocí rhizonů (Eijkelkamp, NED) a byla měřena transpirace. V rámci nádobového experimentu probíhala pravidelná zálivka 2x týdně s použitím stejného objemu vody. Před koncem experimentu po dobu cca 14 dní byly květináče zalévány pouze na 25 % úrovně zálivky. Na samotném konci experimentu byly výsledně provedeny standartní rozborů biomasy jako její hmotnost, obsahy jednotlivých živin, obsahy cukrů v bulvách a obsahy chlorofylů (reflektující stres z nedostatku vody). V jednotlivých půdních směsích byl stanoven obsah dostupných živin podle metody Mehlich III včetně stanovení pH a el. vodivosti.

4.2. Analytické metody

pH a EC v půdních směsích bylo měřeno dle (EN 13041, 1999) a elektrická vodivost (EC) dle (EN, 13038, 1999). Původní půdní a všechny konečné půdní varianty byly stanoveny v suspenzi s destilovanou vodou v poměru 1:5 (w / v) (viz. obr. 4). Hodnota pH byla měřena před filtrací, zatímco EC byla stanovena po filtraci, k určení EC byl použit PVC/grafitový vodivostní článek. Anorganické formy – N a organické formy C (N – NH₄⁺, N – NO₃⁻, TOC) ve všech variantách byly stanoveny v suspenzi s destilovanou vodou v poměru 1:10 (hm./v) za použití celkového organického analyzátoru uhlíku TOC – L a (CPH / CPN, Shimadzu), Analyzátor toku segmentu TNM-L (Shimadzu). Jednotka pro měření celkového rozpuštěného dusíku a uhlíku.

Biologicky dostupné prvky P, K, Ca, Mg, S a Na v půdě byly extrahovány metodou Mehlich III. (Mehlich, 1984) (viz obr. 6). Pro pseudo-celkový (zbytkový) obsah P, K, Ca, Mg, S a Na v půdě C, B2%, B5%, M2%, M5%, MB2% a MB5%, byly vzorky extrahovány v Aqua regia (65% kyselina dusičná a 30% kyselina chlorovodíková) v poměru 1: 3 (v: v). Směs se ohřívala v mikrovlnném systému Ethos 1 (MLS GmbH, Německo) po dobu 35 minut při teplotě 210 °C. Obsah živin (kromě C a N) v extraktech byl měřen pomocí emisního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Agilent 720, Agilent Technologies Inc., Spojené státy americké). Celkový obsah C a N byl stanoven pomocí elementární analytické jednotky Vario MACRO CHN (CHNS Elementar Analysensysteme GmbH, Německo) podle metody Kumar a kol. (2014).

Pro stanovení obsahu mono- a disacharidů (glukózy, fruktózy a sacharózy) v hlíze cukrové řepy, bylo do Erlenmeyerovy baňky na 100 ml naváženo 2,5 g lyofilizovaného vzorku, poté bylo přidáno 50 ml 80 % laboratorního ethanolu (Verkon sro) a baňka byla překryta parafilmem®. Směs se homogenizovala a 30 minut se protřepávala na orbitální třepáče při 150 otáčkách za minutu. Po protřepání byla směs přefiltrována přes nylonové síto 11 nymů a poté přenesena do kádinky. Poté bylo 25 ml supernatantu odpařeno při teplotě 25 °C pomocí rotačního odparníku (MS-631, Agilent Technologies Inc., Spojené státy americké). Suchý vzorek byl resuspendován v 5 ml deionizované vody. Alikvotní část roztoku

prošla mikrofiltrem do skleněné injekční lahvičky. Složení sacharidů bylo analyzováno vysoce výkonnou kapalinovou chromatografií (HPLC) pomocí detektoru indexu lomu NH 2 (Agilent Technologies Inc., Spojené státy americké).



Obrázek 4. Měření pH a Ec (elektrická vodivost), pomocí multimetru a konduktometru.

Zdroj: (Vlastní fotografie, 2020)

4.3. Karotenoidy a chlorofyly

Byly extrahovány 3 mg lyofilizované nadzemní biomasy (chrást) a homogenizovány 1 ml acetonu s 0,001% antioxidantem butyl - hydroxytoluenem (BHT, 2,6-bis (1,1demethylethyl) -4-methylfenol) a poté odstředovány pomocí laboratorní mikrocentrifugy (Sigma 1-14), (Osterode am Harz, Německo) po dobu 5 minut při 9000 otáčkách. Supernatant byl oddělen, sediment byl znovu extrahován a odstředěn jako výše a oba supernatanty byly poté spojeny a odpařeny pod proudem dusíku. Suché pigmentové směsi byly před analýzou skladovány při teplotě -80 °C

a rozpuštěny ve 200 μl acetonu. Přítomnost karotenoidů, jako je chlorofyl a, chlorofyl b, neoxantin, violaxanthin, antheraxanthin, lutein, zeaxanthin a β -karoten, byla zjištěna systémem HPLC sestávajícím z Gradient Pump Beta; Autosampler HTA 300; Watrex Nucleosil 120-5-C18 sloupec; Spektrofotometrický detektor UV-VIS a vakuový degasser DG 3014 (ECOM, Praha Česká republika). Gradientní systém byl acetonitril/methanol/voda – 80:12:10 a methanol/ethylacetát – 95: 5, obě směsi rozpouštědel obsahovaly 0,01% BHT; průtok byl 1 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$; celková doba analýzy byla 20 minut a gradient běžel 2-6 minut; detekční vlnová délka byla 445 nm. Kvantifikace detekovaných karotenoidů byla provedena pomocí softwaru Clarity (DataApex, Praha Česká republika). Obsah karotenoidů byl vyjádřen v mikrogramech jednotlivých pigmentů na gram suchých listů. Pigmentové standardy byly izolovány z lyofilizovaných tabákových listů, karotenoidy byly separovány a čištěny metodou HPLC za použití stejného vybavení a podmínek, jaké jsou popsány výše. Složky byly identifikovány a kvantifikovány spektrofotometricky (Spectrophotometer Hitachi 2000, Hitachi Ltd., Tokio, Japonsko) pomocí spektrálních parametrů a absorpčních koeficientů jednotlivých pigmentů. Systém HPLC byl kalibrován všemi pigmenty s použitím tří různých koncentrací.

4.4. Měření výměny listového plynu.

Čistá fotosyntetická rychlost (P_n ; $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), rychlost transpirace (E ; $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$), stomatální vodivost (g ; $\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) a substomatální koncentrace CO_2 (C_i ; $\mu\text{mol}/\text{mol}$) byly měřeny na plně vzrostlých listech pomocí přenosného systému výměny plynů LCpro+ (ADC BioS) (viz obr.5) (Hoddesdon, Spojené království). Výměna plynu byla měřena od 9:00 do 11:00, Středoevropského času. Ozáření bylo 650 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ fotosynteticky aktivního záření (PAR), teplota v měřicí komoře byla 23 $^\circ\text{C}$ a měření každého vzorku probíhalo po dobu 10minutového intervalu po stanovení rovnovážného stavu uvnitř měřicí komory. Měření těchto parametrů proběhlo na jednom listu na třech rostlinách.



Obrázek 5. Lcpro+

Zdroj: (Vlastní fotografie,2020)

4.5. Měření fluorescence chlorofylu.

Minimální fluorescence chlorofylu (F_0) a maximální fluorescence chlorofylu (F_m) byly měřeny in situ přenosným fluorometrem OSI 1 FL (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK) s 1sekundovým excitačním pulzem (660 nm) a saturační intenzitou $3000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ po 20 minutách adaptace na tmu na plně expanzním listu. Maximální kvantová účinnost fotosystému II (PS II) F_v / F_m (viz. obr. 5) byla vypočtena jako F_v / F_m ($F_v = F_m - F_0$). Měření těchto parametrů proběhlo v pěti opakováních na třech rostlinách.

4.6. Metoda sušení

Metoda sušení je běžným fyzikálním procesem, při kterém dochází k odstranění nežádoucí vody pomocí odpaření do atmosférického prostředí. Dochází k přenosu hmoty a tepla mezi příslušným materiálem a sušicím médiem. Sušení do stabilní hmotnosti se provádělo v sušárně při vysoké teplotě dosahující 40°C. Rostlinný materiál byl rozčleněn do dvou částí, a to na část podzemní a nadzemní. Tyto části byly posléze zváženy na laboratorních váhách.

4.7. Zpracování dat

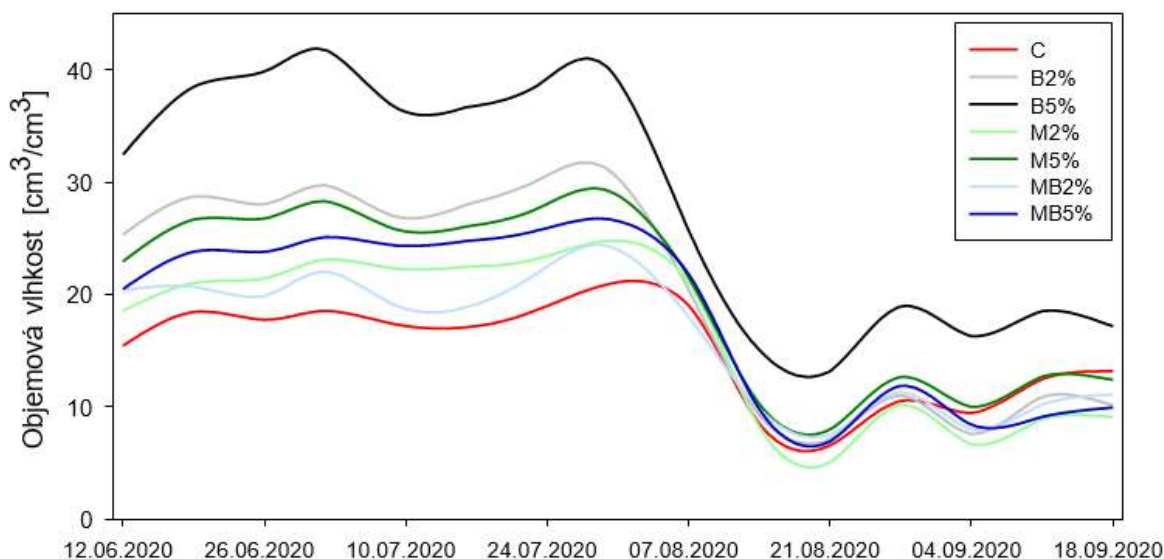
Statistické analýzy byly provedeny pomocí programu Statistica 12CZ (www.StatSoft.com). K posouzení účinku jednotlivých ošetření byla použita jednosměrná analýza rozptylu (ANOVA) na $p < 0,05$ následovaná Tukeyho testem HSD.

5. Výsledky

5.1. Výsledky rozboru půdy

Z dosažených výsledků vlhkostních senzorů (graf 1) vyplývá, že přítomnost biocharu měla pozitivní vliv na retenci vody v půdě, a to po celou dobu nádobového experimentu. Přítomnost hnoje taktéž zapříčinila zvýšení vlhkosti v půdě. Přítomnost biocharu v hnoji neprokázala zvýšení retence oproti hnojeným variantám, což je nejspíše způsobeno obohacením biocharu přímo z hnoje (během společného zrání), kdy tato kapacita přidaného biocharu tím byla vyčerpána. Přítomný biochar však v obou směsných variantách fungoval jako pomalu rozpustné hnojivo. V průběhu experimentu byla také analyzována půdní voda, kdy výstupy před ukončením experimentu jsou prezentovány v Tabulce 5. Z výstupů je patrné, že přítomnost biocharu měla větší vliv na zvýšení pH než hnůj, kdy pH se pohybovalo kolem téměř neutrálních hodnot, což jsou optimální pH podmínky pro pěstování cukrové řepy. Přítomnost biocharu však měla podstatnější vliv, a to na koncentraci uvolňovaného organického uhlíku (DOC), což potvrzuje fakt, že biochar je považován za stabilní organické aditivum. Hodnota DOC u obou variant pouze s biocharem byla dokonce nižší než varianta kontrolní. Nejpodstatnějším výstupem je však snížení koncentrace uvolňovaných NO_3^- , a to ve všech případech, kde byl biochar použit, viz Tabulka 5. Přídavek biocharu do konvenčního hnoje tak potvrzuje hypotézu, že přidáním biocharu (byť jen 10 % obj.) získáme z konvenčního hnoje pomalu rozpustné hnojivo. Ošetření biocharem tak napomáhá i k ochraně zdrojů mělkých podzemních vod, které mají problém s obsahy právě dusičnanů (viz nitrátová směrnice a zranitelné oblasti). Další výsledky, které byly provedeny s půdou na konci experimentu je jejich extrakce pomocí Mehlich III, což reprezentuje biodostupnost živin pro rostliny. Z dosažených výsledků vyplývá, že přítomnost biocharu (přednostně v obou variantách s hnojem) obecně dokázala vázat dostatečné množství živin, které se tak neuvolnilo do vodního roztoku a nevymylo z půdy.

Tento fakt potvrzuje teorii, že přítomnost biocharu v hnoji vytváří ze směsi pomalu rozpustné hnojivo. Překvapivě je více potenciálně dostupných živin přítomno ve variantě MB2% než MB5%, kdy 5% dávka přesahuje konvenční maximální aplikaci hnoje na pole (50tun/ha). Aplikace 5 % (hm.) odpovídá dávce 60tun/ha (a to pouze do cca 10ti cm ornice).



Graf 1. Průběh objemových vlhkostí (měřených metodou FDR) během nádobového experimentu; výstupy jsou vždy průměrná hodnota z 5ti opakování.

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)

Tabulka 5. Koncentrace vybraných látek a pH půdní vody, získané pomocí rhizonů.

	C	B2%	B5%	M2%	M5%	MB2%	MB5%
pH [-]	4,67 ± 0,09	5,89 ± 0,05	6,76 ± 0,05	5,60 ± 0,18	5,75 ± 0,07	5,68 ± 0,08	6,70 ± 0,05
DOC [mg/L]	3,33 ± 0,03	2,89 ± 0,07	1,88 ± 0,05	5,37 ± 0,11	10,6 ± 0,4	7,42 ± 0,62	10,3 ± 0,4
NO₃⁻ [mg/L]	4,42 ± 0,18	0,21 ± 0,001	0,74 ± 0,31	7,30 ± 0,61	14,1 ± 0,6	5,09 ± 0,19	6,23 ± 0,10
PO₄³⁻ [mg/L]	0,32 ± 0,03	1,33 ± 0,04	1,46 ± 0,08	2,67 ± 0,11	5,07 ± 0,27	2,50 ± 0,15	4,54 ± 0,31

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)

Tabulka 6. Obsahy přijatelných živin v půdě; provedeno pomocí Mehlich III.

	C	B2%	B5%	M2%	M5%	MB2%	MB5%
Ca [ppm]	58,5 ± 5,0	145 ± 12	176 ± 10	92,1 ± 6,38	118 ± 7	224 ± 9	76,1 ± 3,9
K [ppm]	14,8 ± 0,9	32,7 ± 2,5	16,7 ± 1,4	63,7 ± 4,0	453 ± 38	80,1 ± 5,2	372 ± 41
Mg [ppm]	19,2 ± 1,2	27,0 ± 2,9	24,0 ± 0,7	23,5 ± 1,2	41,2 ± 1,6	47,2 ± 1,8	14,2 ± 1,1
P [ppm]	5,48±0,33	7,46±0,31	5,12 ± 0,14	10,5 ± 0,3	22,8 ± 1,2	12,9 ± 0,9	22,8 ± 1,8
S [ppm]	84,0 ± 5,3	121 ± 7	127 ± 4	91,2 ± 2,5	198 ± 5	199 ± 8	158 ± 14
Na [ppm]	37,2 ± 3,1	41,7 ± 3,6	45,0 ± 3,9	51,2 ± 1,9	122 ± 10	57,1 ± 3,3	111 ± 9

Zdroj: (Vlastní zpracování,2021)



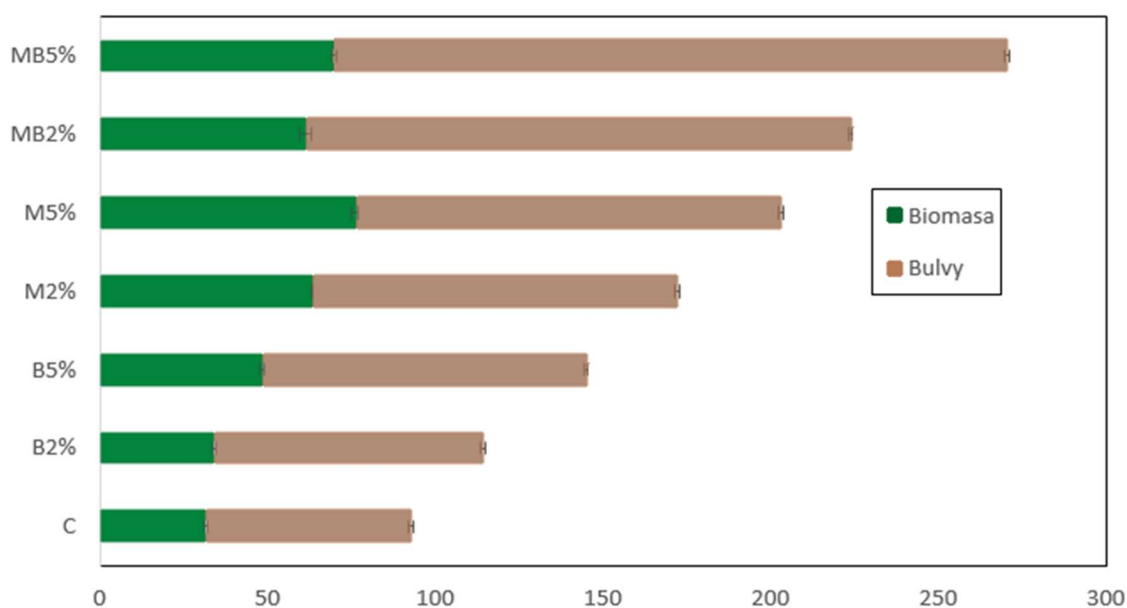
Obrázek 6. Mehlich III.

Zdroj: (Vlastní fotografie,2020)

5.2. Výsledky rozboru rostlin

Pro nádobový experiment byla po diskuzi se zemědělcem vybrána cukrová řepa, a to ze tří důvodů: (1) jedná se o rostlinu citlivou na nedostatek vody; (2) náročnou na množství kvalitní organické hmoty a (3) je to ekonomicky velmi lukrativní plodina (výroba cukru). Na konci experimentu byly jednotlivé rostliny (2 rostliny v každém květináči = 7 variant po 5ti opakováních) nejprve zváženy a následně rozděleny na konkrétní analýzy: (a) prvkové/živinové složení v bulvách a listech; (b) obsahy cukru v bulvách; (c) obsahy chlorofylů v listech. Byly prováděny i další měření, jejichž výsledky ve zprávě nejsou uvedeny (měření transpirace, obsahy mikroprvků, obsahy enzymů, atd.).

Z dosažených výsledků je zřejmý signifikantní efekt přítomných organických aditiv na produkci celkové biomasy; a to v pořadí biochar, hnůj, kombinace hnoje s biocharem, a to vždy tak, že 2% varianty vykazovaly nižší produkci než ty 5%. Pokud vezmeme v potaz rozdělení celkové produkce na listy vs. bulvy, tak je zřejmé, že obě varianty MB vykazují nižší produkci listů než obě varianty M, byť produkce bulv je naopak vyšší. Lze tedy konstatovat, že přítomnost biocharu v hnoji zvyšuje produkci celkové biomasy (oproti konvenčnímu ošetření hnojem) tím, že dochází ke zvýšení produkce bulv na úkor listů, což má bezesporu svůj ekonomický potenciál.



Graf 2. Produkce čerstvé biomasy cukrové řepy (bulvy a listy) pro jednotlivé varianty v rámci tříměsíčního nádobového experimentu.

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)

Pokud vezmeme v potaz chemický rozbor jednotlivých dvou částí rostlin (*Beta vulgaris*) zjistíme, že dusíkově nejbohatší listy jsou u varianty MB2%, a to více jak o 20 % ve srovnání se zbylými variantami. Obecně pak varianty s přidavkem biocharu zvýšily koncentraci celkového dusíku v rostlině cukrové řepy; ve variantách s B2% v bulvě a u B5% v listové biomase. Pokud vezmeme v potaz i obsahy uhlíku a vypočítáme poměr C/N zjistíme, že jsou hodnoty nad 33 s výjimkou právě varianty MB2%, kde je toto číslo 29,4. Z hlediska výživy rostlin je optimální, pokud je tento poměr v rozmezí 20 až 25 (při vyšším poměru C/N než 25:1 trpí rostliny nedostatkem dusíku proto, že většina je ho spotřebována mikroorganismy (imobilizace dusíku, resp. biologická fixace dusíku mikroorganismy); naopak nižší poměr C/N než 20:1 dochází k mineralizaci organické hmoty a jejímu uvolnění). V našem případě se těmito optimálními podmínkami nejvíce přibližuje právě varianta MB2%. Z hlediska obsahu fosforu v bulvách je pořadí MB5>M5>B5>MB2>M2>B2>C, a je tedy zřejmé, že aplikace hnoje tak způsobila zvýšení obsahu P v bulvách. V případě listů pak přítomnost biocharu snížila příjem P oproti hnojeným variantám. Co se týká obsahu draslíku, který významně ovlivňuje výslednou cukernatost bulev, měla přítomnost většího množství hnoje pozitivní vliv na celkový obsah K, zatímco přítomnost samotného biocharu neprokázala jednoznačně pozitivní vliv na příjem této živiny (Tabulka 7,8). Samotná cukernatost bulev, která je reprezentovaná obsahem sacharózy (graf 3), poukazuje na nejvyšší obsahy u 5% varianty hnoje následované variantou MB2%. Je tedy patrné, že tato optimální varianta (ekonomicky vhodná pro polní aplikaci) má pozitivní vliv i na tento ekonomicky zásadní aspekt, jakým je výtěžnost cukru z bulev. Tento výstup však bude nutné ověřit v rámci následné polní aplikace. V případě Ca docházelo při aplikaci hnoje i biocharu ke snížení obsahu v bulvách se stoupající dávkou těchto hnojiv. Je to dáno pravděpodobně výrazným nárůstem biomasy na těchto variantách ve srovnání s kontrolou. Proto došlo pravděpodobně k působení zředovacího efektu. Podobná tendence je pozorována i u hořčíku.

Naopak u draslíku došlo ke zvýšení obsahů v bulvách i listech oproti kontrole (jak již bylo prezentováno dříve), a to zejména u obou variant hnojených hnojem, popř. i u kombinací hnoje s biocharem. Příčinou je zde pravděpodobně vysoký obsah draslíku v hnoji (3,6 %; viz Tabulka 4). V případě síry byly zaznamenány podobné obsahy v listech u všech variant (včetně kontroly). V případě bulev nelze vysledovat jednoznačný trend.

Tabulka 7. Obsahy prvků v bulvách cukrové řepy.

	C	B2%	B5%	M2%	M5%	MB2%	MB5%
N [%]	4.82±0.12	5.60±0.10	4.73±0.08	4.47±0.14	4.94±0.14	5.89±0.29	4.43±0.08
C [%]	421.42±0.3	22.96±0.2	423.04±0.1	420.43±0.2	420.24±0.2	418.48±0.5	419.22±0.6
Ca [mg/g]	4.51±0.58	3.47±0.24	3.02±0.25	2.10±0.13	1.47±0.11	2.02±0.24	1.50±0.23
K [mg/g]	7.32±0.50	7.43±0.56	6.62±0.22	8.80±0.62	9.29±0.32	9.05±0.73	9.17±0.61
S [mg/g]	1.52 ± 0.09	0.99±0.08	0.51±0.02	0.62±0.04	0.64±0.04	0.88±0.01	0.60±0.09
P [mg/g]	1.64 ± 0.08	1.78±0.11	2.00±0.13	2.07±0.11	1.98±0.18	2.00±0.13	2.07±0.16
Mg [mg/g]	2.68±0.15 ^b	2.73±0.30 ^b	2.18±0.11	2.30±0.25 ^a	2.36±0.19 ^a	2.23±0.30	2.23±0.26
Na [mg/g]	1.90±0.11	1.52±0.13	1.01±0.12	0.90±0.06	0.56±0.03	1.05±0.08	0.59±0.10

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)

Tabulka 8. Obsahy prvků v listech cukrové řepy.

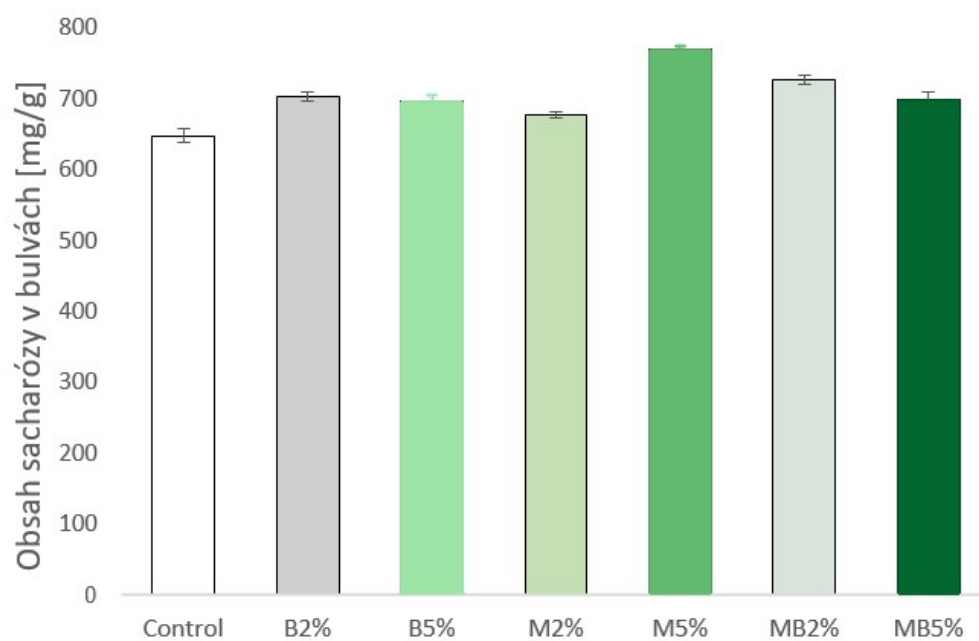
	C	B2%	B5%	M2%	M5%	MB2%	MB5%
N [%]	10.56±0.15	9.92±0.11	10.28±0.08	10.43±0.13	10.31±0.11	12.76±0.20	10.70±0.13
C [%]	387.52±0.1	342.92±1.3	379.07±1.4	358.16±2.1	341.95±2.2	373.15±1.1	349.09±1.1
Ca [mg/g]	25.62±1.73	35.73±0.62	32.07±1.35	25.59±1.04	19.80±0.68	25.21±2.17	19.50±0.72
K [mg/g]	29.84±2.09	53.70±2.28	54.31±2.29	67.93±5.06	77.89±3.50	61.95±2.41	68.45±2.13
S [mg/g]	3.13±0.28	4.30±0.35	4.72±0.37	2.62±0.29	4.41±0.22	3.03±0.57	4.07±0.24
P [mg/g]	9.58±0.63	11.71±0.94	5.26±0.49	17.83±1.39	19.26±1.85	16.52±0.53	21.24±1.70
Mg [mg/g]	15.27±1.60	21.91±0.94	19.72±0.89	21.06±1.10	16.55±0.77	21.92±1.63	18.16±0.88
Na [mg/g]	35.89±3.87	28.46±1.54	21.08±2.18	20.07±0.80	17.98±1.55	21.28±0.99	16.04±1.05

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)



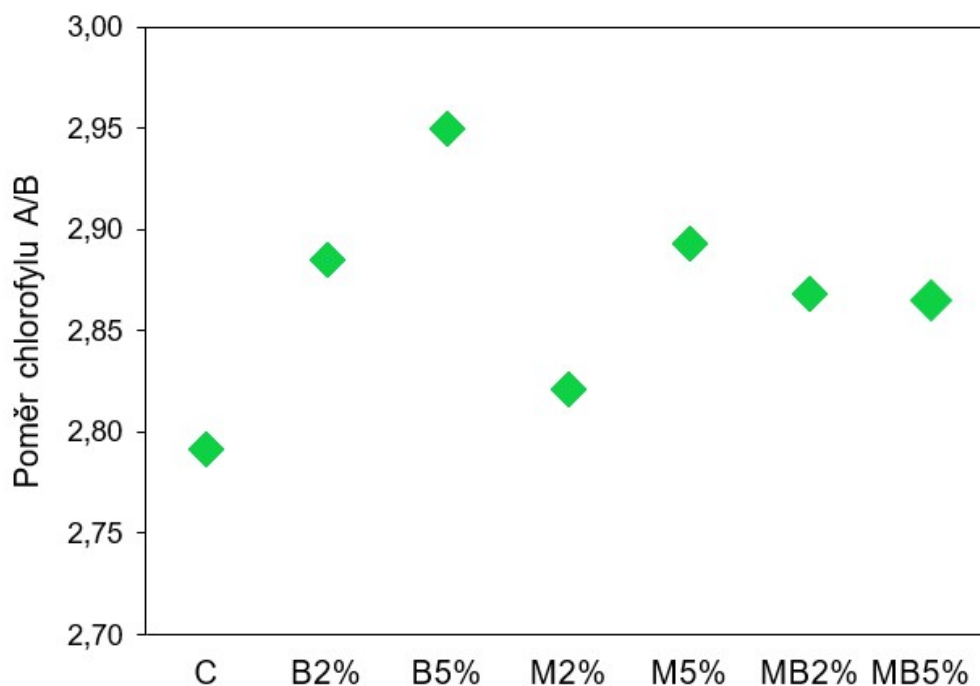
Obrázek 7. Bulvy a listy cukrové řepy

Zdroj: (Vlastní fotografie, 2020)



Graf 3. Obsah sacharózy v bulvách cukrové řepy napříč všemi variantami; lyofilizace rozmixovaného materiálu a následná extrakce pomocí 80 % etanolu (30 minut), filtrace a analýza pomocí HPLC vždy ve třech opakováních.

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)

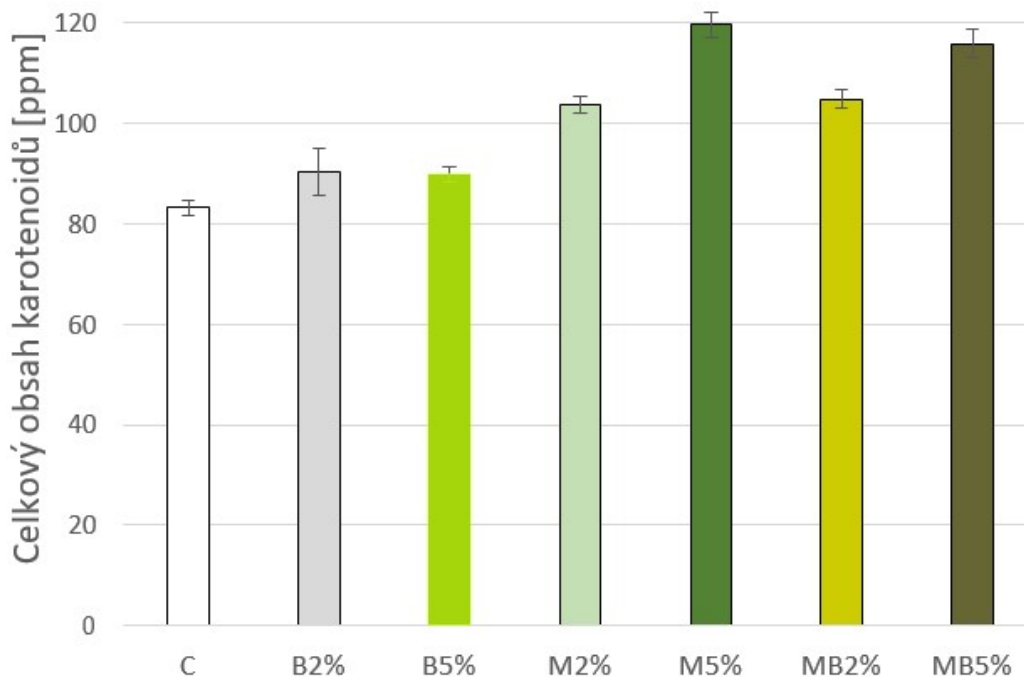


Graf 4. Poměr chlorofylu A/B vyjadřující reakci rostlin na působení biotického stresu; lyofilizované vzorky byly extrahovány metanolem ve tmě při 4 °C, analýza pomocí HPLC ve třech opakováních.

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)

Posledním parametrem, který je zde ve výsledcích prezentován, je poměr obsahu chlorofylu A ku obsahu chlorofylu B, který může být po zatížení vodním stresem ovlivněn. V tomto případě se jednalo o půdní vlhkosti (viz graf 1.) Z výsledků je zřejmé, že nejnižší míru stresu vykazují rostliny ve variantě B5% následně varianty B2%, M5%, MB2% a MB5%. Nejvíce byly ovlivněny vodním stresem varianty M2% a varianta kontrolní.

Zdá se, že tak vysoké procento hnoje například dusíku není v tomto případě vhodné, a dokonce vyvolává negativní účinky v adaptaci na vodní stres, a naopak mohlo dojít k předávkování rostliny. Přehnojení může způsobit vysoký obsah karotenoidů (viz graf 5.). Tento poznatek tak potvrzuje naše zjištění, že optimální dávkou jsou 2 % organického aditiva.



Graf 5. Celkový obsah karotenoidů vyjadřující míru vodního stresu; lyofilizované vzorky byly extrahovány metanolem ve tmě při 4 °C, analýza pomocí HPLC vždy ve třech opakováních.

Zdroj: (Vlastní zpracování, 2021)

Ze všech různých sledovaných parametrů vychází **nejlépe varianta MB2%** a to z těchto zásadních důvodů: (1) zvýšení retence vody oproti variantě M2%; (2) s tím související nižším obsah karotenoidů; (3) významně lepší přístupnost základních živin oproti variantám M2% a B2%; nadruhou stranu; (4) citelné snížení potenciálního loužení NO^{-3} z ornice k hladině podzemní vody; (5) o cca 40 % větší produkce biomasy (především u bulev) oproti variantě s 2 procenty hnoje bez BC; (6) druhá nejvyšší cukernatost ze všech testovaných variant (po variantě M5%); a konečně také kvůli (7) ekonomické udržitelnosti aplikace dvou hmotnostních procent představujících dávku nepřesahující 50 tun/ha do hloubky cca 20-30cm ornice.

Vzhledem k těmto skutečnostem a poznatkům bude varianta MB2% použita společně s variantou M2% k výsledné polní aplikaci a ověření získaných informací v rámci reálného experimentu.

6. Diskuse

6.1. Biochar

Plyny, kapaliny a pevné produkty vznikají při rozkladu organické hmoty (Şahin a kol., 2016). Všechny ekologické zemědělské podniky významně ovlivňují fyzikálně-chemické vlastnosti a úrodnost zemědělských a lesních půd. (Verheijen a kol. 2014). Protože biochar vzniká při vysokých teplotách, obsahuje ve své struktuře malé množství dusíku. Jelikož neobsahuje mikroorganismy, může v půdě zůstat dlouhou dobu, aniž by došlo k narušení její struktury (Ortaş, 2018). Biokonty zlepšují schopnost zadržovat vodu v půdě, zvyšují pH a úroveň organické hmoty v půdě. Jejich přítomnost podporuje mikrobiální aktivitu při smíchání s půdou (Chan a kol. 2007). Biochar je látka bohatá na uhlík, obsahuje také dostatečně vysoké množství biogenních látek, které podporují výživu rostlin. Proto ji používáme jako přísadu do půdy, díky níž můžeme zefektivnit vlastnosti půd s nízkým obsahem organických látek a zlepšit účinnost makroživin v půdách s nedostatkem živin a zlepšit účinnost zemědělské produkce (Ippolito a kol., 2012). Většina biocharu má velký aktivní povrch, mikroporézní struktury, aktivní funkční skupiny organických látek, vysoké pH a vysokou kationtovou výměnnou kapacitu (Rajapaksha a kol. 2016).

Biochar je organicky účinná látka, která zlepšuje vlastnosti půdy, obsahuje velmi vysoký objem pórů v půdě. Pomocí těchto vlastností je schopen rychlé výměny kationtů. Uvádí se, že po jeho aplikaci se rostliny lépe přizpůsobí vodnímu stresu. (Wacal a kol. 2019). Existuje mnoho studií o využití biocharu v zemědělství, ale jejich dopad se liší v závislosti na podmínkách lokalizace, druzích zemědělských rostlin, vlastnostech rostlin, velikosti částic, vlastnostech, stáří a aplikační rychlosti biocharu (Tanure a kol. 2019). Vodní stres negativně ovlivňuje fyziologii všech rostlin, snižuje růst nadzemní a podzemní biomasy a dále snižuje produktivitu rostlin v případě zvýšených stresových biotických faktorů (Osakabe a kol. 2014). Snížení výnosů plodin během deficitu vody způsobuje u rostlin stres. Tento stav odpovídá zhoršenému metabolismu a transportu uhlíku v rostlině (Muller a kol. 2011). Biochar, který má velký aktivní povrch a vysokou pórovitost, je hydrofobní, zajišťuje vysokou absorpci

a přilnavost vody a živin a také vytváří dobré prostředí pro rozvoj prospěšných mikroorganismů, proto je hodnocen jako kvalitativní regulátor půdy (Bond a kol., 2005). Podobně Tarakçioğlu a kolektiv (2019) také uvádějí, že biochar funguje jako katalyzátor, který zvyšuje příjem živin a vody rostlinami.

Biochar, který má schopnost zvýšit zadržování vody a zvýšit příjem živin rostlinami, obsahuje 80 % uhlíku, je považován za vhodný materiál pro aplikaci odolnosti proti suchu (Major a kol., 2010). V tomto případě se má za to, že biochar zefektivňuje zadržování vody v zemědělských a lesnických oblastech a zvyšuje úrodnost zemědělství tím, že zajišťuje lepší zadržování živin v půdě, a je také metodou, která může být použita jako řešení stresu ze sucha pro mnoho rostlin (Batool a kol., 2015; Karhu a kol., 2011). Zlepšuje růst celkové biomasy v rostlinách a má vysokou schopnost zadržovat vodu (Tayyab a kol., 2018).

Mnohé studie již popsaly a prokázaly, že aplikace biocharu do půdy během vodní stresu má příznivé účinky na růst rostlin, výnos a zadržování vody v půdě.

Sattar a kolektiv (2019), ve své studii hodnotili vliv biocharu na zlepšení fyziologických a biochemických vlastností u sazenic kukuřice (*Zea mays*) a její toleranci vůči suchu za dvou různých stresových podmínek (80 % a 40 % kapacity půdy). Kromě obsahu fotosyntetických pigmentů (chlorofyl a, b) biochar zvyšoval růstové vlastnosti (celková biomasa sazenic, hmotnost výhonku a kořene, délka výhonku a délka kořene) a výrazně zlepšil vztah vody (relativní obsah vody, turgorový potenciál, osmotický potenciál a vodní potenciál).

Agbna a kolektiv (2017) potvrdili, že aplikace biocharu zvyšuje růst, zlepšuje fyziologii rostlin rajčate v omezených zavlažovacích režimech (50%, 75 % a 100 % referenční evapotranspirace).

Podobně Kammann a kolektiv (2011) zkoumali účinek různých aplikací biocharu (0, 100 a 200 t ha⁻¹) a pozorovali toleranci vůči suchu (60 % a 20 % zadržovací kapacity) v *Chenopodium quinoa* Willd.

Cukrová řepa je velmi důležitou rostlinou, protože má vysokou přidanou hodnotu, a protože její vedlejší produkty mohou být použity jako krmivo pro hospodářská zvířata nebo použity v oběhovém hospodářství pro výrobu biocharu (Günel a kol. 2005). Vzhledem k fyziologickým a morfologickým vlastnostem kořenového systému patří cukrová řepa k rostlinám odolným vůči stresu vody. (Doorenbos a Kassam, 1979). Navzdory této situaci je důležité znát maximální toleranci, kterou rostliny projeví vůči omezenému využívání vody. Množství a kvalita vodních zdrojů jsou snižovány různými faktory zejména změnou klimatu.

6.2. Dusík

Dusík je pro cukrovou řepu (*Beta vulgaris*) esenciální makroživinou ovlivňující, jak její růst, tak i metabolické procesy. Nejčastěji je rostlinami přijímán ve formě anorganických iontů NO_3^- a NH_4^+ . Přítomnost N má významný vliv na koloběh vody v rostlině prostřednictvím regulace aktivity takzvaných akvaporinů, tedy proteinů regulujících tok vody přes membrány rostlinných buněk. NO_3^- je také sám o sobě signální molekulou, která spouští reakci rostliny na změny vnějšího prostředí, například morfogenezi kořenového systému (Plett a kol., 2020). Interakce mezi vodním provozem rostliny a využitím dusíku v reakci na sucho je tedy poměrně nové a aktuální téma. Ačkoli v současnosti nejsou známy všechny mechanismy, dusík má vliv na signální dráhy vody a naopak. Naopak stresové faktory, jako je nedostatek dusíku nebo sucho, jejich koncentraci snižují. V rostlině se mohou nacházet v aktivované i deaktivované formě. Nevratně odbourány mohou být cytokinin oxidázou. Dusík může být součástí aminokyselin, proteinů, aminů, chlorofylu, pigmentů, vitamínů a mnoha dalších sloučenin. Zajímavou formou je plynný dusík N_2 , který rostliny nedokážou samy zužitkovat. Pomáhají jim půdní bakterie obsahující nitrogenázu, které jsou schopny výměnou za energii silnou vazbu v molekule plynného dusíku štěpit.

6.2.1. Reakce rostliny na vodní stres

Samotná reakce na změnu dostupnosti vody začíná v kořenech a pokračuje dálkovými signály do nadzemní části, kde dochází k zavírání průduchů nebo k regulaci či pozastavení růstu (Kudoyarova a kol., 2015). Se snižujícím se vodním potenciálem půdy se snižuje schopnost kořenů získávat vodu, a nahradit tak ztráty způsobené transpirací. Při mírném či krátce trvajícím nedostatku vody dojde k pozastavení růstu a snížení rychlosti fotosyntézy v důsledku omezení příjmu CO₂ stomaty, což má negativní vliv na produkci rostlin (Baluška, 2013). Dochází ke zpomalení transpiračního toku, a tedy i příjmu živin (Pérez-Alfocea a kol., 2011; Korovetska a kol., 2014). Reakce na dostupnost vody a dostupnost dusíku se navzájem ovlivňují, pozorovány jsou jak synergické, tak antagonistické odpovědi (Araus a kol., 2020). Bylo také úspěšně dokázáno, že rostlina vnímá změny přítomnosti vody a nitrátů již při kontaktu s kořeny (Kudoyarova a kol., 2015). Adaptace metabolismu na snížení dostupnosti dusíku vlivem snížení dostupnosti vody v okolí kořenů by mohla nepřímo fungovat jako signál o ubývajícím dostupnosti vody. Dusík i voda jsou pro rostliny látky limitující jejich růst. Pokud se však v půdě dlouhodobě nachází přebytek nitrátů, například kvůli nadměrnému hnojení, může dojít k potlačení přirozených reakcí na sucho (Ding a kol., 2018). Výhodné to může být v případě, pokud se jedná pouze o krátkodobé sucho, rostliny tedy nezpomalují fotosyntézu, a tím nesnižují svou produktivitu v období mírného stresu.

6.2.2. Dusík – reakce na vodní stres

Vzhledem k velké potřebě dusíku jeho nedostatek kriticky omezuje růst rostliny, dochází až k inhibici růstu. Při dlouhodobém strádání se u rostlin projevuje chloróza – typická žloutnutím listů, staršími počínaje, protože dusík je schopen translokace, a proto se jej rostlina snaží přemístit do mladších, rostoucích částí rostliny (Araus a kol., 2020) nebo do generativních orgánů pro urychlení reprodukce (Luštinec a Žárský, 2003). Zpomaluje se růst listové plochy, což se projeví snížením rychlosti transpirace, tedy i snížením rychlosti dálkového transportu vodního roztoku v rostlině (Lazar a kol., 2003). Dochází též k translokaci biomasy, zvětšuje se poměr biomasy kořenů oproti nadzemní části. Reakcí na nedostatek dostupného NO₃⁻ v okolí kořenů je především indukce

tvorby inducibilních HATS a stimulace růstu laterálních kořenů do míst obsahujících vyšší koncentraci N (Remans a kol., 2006; Plett a kol., 2020).

1. Biomasa

Nebyly pozorovány statistické rozdíly v obsahu dusíku mezi variantami CNT, M2%, M5%. Vliv aplikace hnoje s kombinací biocharu ve variantě MB5 % měla mírně pozitivní vliv na celkový obsah dusíku v nadzemní biomase. Nejlepších výsledků dosahovala varianta MB2%, kde byl staticky nejvíce průkazný obsah dusíku na hladině 0,05 % , a to až o 20 % oproti kontrolní variantě. Pro zaorávku biomasy, se tato varianta hodí nejlépe. Jelikož má poměr C: N 1:29 oproti B2%, kde byl poměr 1:35. Převažující forma dostupného anorganického dusíku může významně ovlivňovat tvorbu nové biomasy, aktivitu listů i absorpci a transport vody kořeny (Lazar a kol., 2003; Ding a kol., 2018). Při nedostatku vody cukrová řepa zavírá průduchy, pokud je v půdě vysoký obsah dusíku, v našem případě se tomu nejvíce blížila varianta (MB2%) dokáže oddálit zavírání průduchů a stimuluje rychlost transpirace (Araus a kol., 2020). Anorganický dusík je nutno asimilovat, což vyžaduje zvýšenou rychlost fotosyntézy, a tak musí být stomata otevřena kvůli fixaci vzdušného CO₂ (Guo a kol., 2007). Obecně platí, že při optimálním pH dávají rostliny přednost nitrátům před amonnými ionty (Plett a kol., 2020). Pro většinu rostlin (neutrofyty) je optimální hodnota pH mezi 6 - 7,5. Rostliny přijímající jako hlavní formu dusíku amonné ionty mají nižší spotřebu vody, což lze částečně vysvětlit menší listovou plochou. Provedené studie ukazují na to, že příjem vody je významně regulován nadzemní částí rostliny. U některých rostlin bylo dokázáno, že rostliny mají vyšší efektivitu využití dusíku (nitrogen use efficiency; NUE) při příjmu amonných iontů (Guo a kol., 2007; Plett a kol., 2020). Pokud zdroj N tvoří z větší míry amonné ionty, ABA se rychleji kumuluje v kořenových buňkách a zvyšuje expresi akvaporinů (Ding a kol., 2018).

2. Bulva

Místem neaktivnějšího příjmu vody i dusíku je oblast kořene za kořenovou špičkou (0,7 – 3 mm), která není tolik suberinizovaná a nepředstavuje tak velkou bariéru pro půdní roztok. Navíc se zde nachází ve zvýšené míře i kořenové vlásky významně zvětšující absorpční povrch kořene. Na tomto místě se vyskytuje i často opomíjená mykorhizní symbióza, se kterou je spojováno okolo 80 % rostlin na

Zemi. Výměnou za energii v podobě cukrů dodává rostlině minerální živiny, především fosfor, významně však zvyšuje dostupnost i dusíku a vody (Gryndler a kol., 2004). Pokud je množství dostupného dusíku v půdě suboptimální, rostlina není schopna naplno využít svůj růstový potenciál, zpomaluje se tvorba nové biomasy, otevřenost stomat není maximální. Rostlina také investuje větší podíl energie do tvorby laterálních kořenů (Araus a kol., 2020). Dostupnost vody ovlivňuje míru transpirace, příjem uhlíku i růstový potenciál, což má vliv na celkovou potřebu dusíku v rostlině. Při nedostatku vody je absorpce dusíku automaticky snížena, přestože je v dostupné formě blízko kořenů. Bylo zjištěno, že pokud rostlina čelí suchu, snaží se redukovat příjem a asimilaci dusíku potlačením transkripce genů zodpovědných za příjem a asimilaci N (Gonzalez-Dugo a kol., 2010). Menší příjem N způsobí pomalejší růst rostliny. Přítomnost vody je pro příjem dusíku nezbytná, protože je rozpouštědlem a transportním nosičem při transportu živin k povrchu kořene. Dostupnost vody omezuje hlavně transport mobilních nitrátových aniontů v půdě (Plett a kol., 2020). Mobilita dusíku přímo koreluje s intenzitou transpiračního proudu, intenzita mass flow výrazně zvyšuje množství dusíku, které dosáhne povrchu rhizosféry a může být absorbováno rostlinou (Ding a kol., 2018).

Co se týká obsahu dusíku v bulvách, kombinace variant biocharu a hnoje (MB2%) byly statisticky vyhodnoceny za nejlepší variantu, oproti kontrole (C) byl obsah dusíku vyšší o 22 %. Zvýšený obsah dusíku se projevil také u varianty (B2%) oproti variantě (B5%) u které se obsah snížil o 25,8 %. Čím vyšší aplikace biocharu, tím nižší obsah dusíku. U čisté aplikace hnoje ve variantě (M5%) a u kombinace biocharu s hnojem (MB5%) se celkový obsah spíše snižoval. Z těchto výsledků plyne, že biochar při tak vysoké koncentraci do půdy ztrácí pozitivní účinky a spíše dusík sorbuje a rostlina ho poté nemůže přijímat.

6.2.3. Dusík v půdě

Jak již bylo výše zmiňováno, obecně vyšší koncentrace dusíku v okolí kořenů podporuje otevřenost stomat, a může také bránit prodlužování kořenů. To může vést k tomu, že kořeny nedosáhnou do hlubších vrstev půdy bohatších na půdní roztok (Araus a kol., 2020). Z krátkodobého hlediska může být toto působení na růst rostlin výhodné, nicméně pokud je sucho dlouhotrvající, rostlina rychle přijde o své zdroje půdního roztoku a rychle se vyčerpá.

6.3. Vápník

1. Biomasa

Nejvyšší celkový obsah vápníku byl zaznamenán ve variantě (B2%) o 39 % vyšší než v kontrolní variantě, která byla srovnatelná s (MB2%). Zvýšením aplikace biocharu (B5%) se obsah vápníku opět zvyšoval. Naopak nejnižších hodnot dosahovala varianta (MB5% a M5%) z čehož vyplývá, že vysoký podíl uhlíku a organické hmoty na sebe váže vápník.

2. Bulva

Nejvyšší obsahy vápníku byly zaznamenány v kontrolní variantě, v tomto případě můžeme tvrdit, že reaguje nejhůře na vodní stres a ukládá veškeré zásobní látky do podzemní biomasy. Naopak u variant (M5% a MB%) byl naměřen až o 300 % nižší obsah, to znamená, že takto ošetřené varianty dokážou nejlépe reagovat na vodní deficit. Zvýšeným obsahem vápníku se snižuje obsah hořčíku, který je součástí chlorofylu, což následně vede k inhibici chlorofylu a poklesu fotosyntetické aktivity. S vysokým obsahem vápníku se snižuje produkce množství CO₂. Při nižší koncentraci vápníku v rostlině se obsah karotenoidů zvyšuje. Hned za nimi byly varianty (M2% a MB2%), mezi kterými nebyl zaznamenán statistický rozdíl s hodnotami kolem 2.1 g vápníku na kilogram sušiny cukrové řepy. Rostlina se často musí potýkat s podmínkami vnějšího prostředí, které se negativně projeví na jejím růstu a výnosu. V současné době jsou nejčastějšími stresory v zemědělství sucho a nadměrný obsah vápníku v půdě. Obsah sacharózy je výrazně zvýšen u variant s nejvyšším přídatkem vápníku.

6.3.1. Stres

Nejvyšší přídavek vápníku snížil obsah chlorofylu a až k nule a několikanásobně navýšil obsah chlorofylu b a karotenoidů. Byla zaznamenána jeho zvýšená exprese při osmotickém stresu a suchu, předpokládá se jeho účast ve výdeji draslíku z buňky (Osakabe a kol., 2013). U K^+ deficientních rostlin bylo zaznamenáno snížení rychlosti fotosyntézy a asimilace CO_2 (Zhao a kol., 2001; Lu a kol., 2016).

6.4. Draslík

1. Bulva

Většina zemědělské půdy je přirozeně chudá na K^+ , který je rostlina schopna přijímat a vzhledem k jeho významné roli při fyziologických procesech rostlin to negativně ovlivňuje nejen výnosy zemědělských plodin, ale také jejich kvalitu (Wang a Wu, 2015). Fakt, že jsou zemědělské půdy často chudé na K^+ , je způsoben také množstvím K^+ , které je odváženo během sklizně. Nejhůře jsou na tom půdy, na kterých jsou pěstovány plodiny, ze kterých se sklízí veškeré nadzemní části a díky tomu je znemožněn koloběh K^+ , který se může opětovně dostávat do půdy z rozkládající se biomasy. Nedostatečné množství K^+ může vést k redukci množství listů a zmenšení plochy listů, což ovlivňuje množství látek pocházejících z fotosyntézy a zhoršuje růst rostliny (Pettigrew, 2008). Přísun draslíku zároveň pozitivně ovlivňuje i další vlastnosti půdy, např. její stabilitu a schopnost udržet vodu. Tento efekt zřejmě souvisí s větší odolností půdy vůči smyku (s větším odporem ke smykovému napětí), je ale možné, že větší roli hrají ionty Mg^{2+} a Ca^{2+} . Čím více je K^+ v roztoku, tím menší jsou odpudivé síly, částice jsou k sobě přitahovány navzájem a tvoří shluky, díky čemuž vzniká větší odolnost vůči smyku. Vyšší koncentrace K^+ v půdním roztoku snižuje tloušťku elektrické dvojvrstvy okolo částic, což vede ke snížení odpudivých sil mezi nimi. Přestože jsou půdními koloidními částicemi ve většině případů přednostně sorbovány bivalentní kationty (Ca^{2+} , Mg^{2+}), při vyšší dostupnosti je sorbován také K^+ (Holthusen a kol. 2010). Výzvou pro současné zemědělství je proto zlepšit rostlinnou produkci tak, aby rostliny byly schopné efektivně využívat draslík a díky tomu i lépe odolávat nepříznivým vlivům životního prostředí.

Nejvyšší rozdíl v obsahu draslíku byl zaznamenán mezi variantou (B5% a M5%), kde po aplikaci 5 % hnoje byl zaznamenán až o 40 % nárůst celkového obsahu draslíku. Naopak v případě jejich kombinace jsme dosáhli nejlepšího výsledku. V tomto případě funguje hnůj jako látka, která brání draslíku se sorbovat do biocharu.

Draslík je důležitý biogenní prvek, nezbytný ke správnému fungování buněk, jeho obsah v rostlině se pohybuje mezi 2-10 % (Wang a Wu, 2015). Optimální množství draslíku je důležité při fotosyntéze a transportu živin do semen (Pettigrew, 2008). Díky dostatečnému množství draslíku a dalších prvků rostlina správně roste a prospívá. Nedostatek některého z esenciálních prvků se může projevit více či méně výrazně na morfologii zasažených rostlin, proto dostatek draslíku hraje roli v kvalitě rostlin a ve výnosu zemědělských plodin. Ve většině půd je nedostatek draslíku, a proto si rostliny vytvořily adaptace, jak na tuto stresovou situaci reagovat (Wang a Wu, 2015). Draslík je také jedním z prvků, které je nutno dodávat v podobě hnojiv pro zajištění zemědělské produkce. Draslík je v rostlině velmi pohyblivý, proto v rostlinách najdeme řadu membránových transportérů draslíku, které zajišťují jeho distribuci i další pohyb v rámci celé rostliny. Nejnižší obsah draslíku byl naměřen u neošetřené (kontrolní) varianty 29.84 g/kg oproti variantě M5%, kde byly hodnoty vyšší až o 300 %, jelikož hnůj použitý v tomto pokuse obsahuje vysoké procento draslíku viz (vstupní tabulka 4). Nebyl pozorován rozdíl mezi variantou (B2% a B5%). Vyšší aplikace biocharu spíše obsah draslíku snižovala s kombinací s hnojem.

6.4.1. Draslík v půdě

Draslík je třetí prvek nejvíce ovlivňující rostlinou produkci, hned po dusíku a fosforu. Draslík se v půdním roztoku vyskytuje pouze jako pozitivně nabitý kation K^+ . Draslík je jeden z nejdůležitějších prvků, které rostlina potřebuje. (Marschner, 1995).

6.5. Fosfor

1. Bulva

Fosfor (P) je považován za esenciální prvek, nepostradatelný pro rostliny. V půdě se vyskytuje ve velmi nízkých koncentracích, nerovnoměrně rozptýlený a z větší části nerozpustný. Jeho sloučeniny se v půdě pomalu pohybují – rostlina přijme maximálně 5 % potřebného fosforu pomocí vzlaku vytvořeného kořenem. Zbylý fosfor se ke kořenům musí dostat za pomoci difúze, která je v případě sloučenin fosforu také velmi pomalá a při snižující se vlhkosti se ještě více zpomaluje (Clarkson, 1981). Nejméně fosforu bylo naměřeno v bulvách v kontrolní variantě a to 1.64 g/kg. Druhý nejnižší obsah měla varianta (B2%). Mezi dalšími variantami už nebyl statisticky průkazný rozdíl, zde můžeme tvrdit, že přídavek biocharu, hnoje ani jejich kombinace neměla účinek na celkový obsah fosforu v bulvách cukrové řepy, jelikož všechny byly kolem 2 g/kg. Rostliny reagují na nedostatek fosfátů řadou hormonálních změn, především zvýšením tvorby strigolaktonů (López-Bucio a kol., 2002). Ty v interakci s auxiny a etylénem (Zhang a kol., 2014), inhibují růst primárního kořene (Ruyter-Spira a kol., 2011) a stimulují tvorbu kořenového vlášení (Mayzlish-Gati a kol., 2012). Současně se stimulací růstu kořenového systému dochází k potlačení růstu nadzemní části, zejména růstu pupenů (Czarnecki a kol., 2013).

2. Biomasa

Tmavé zbarvení listů, zmenšení listové plochy či počtu listů, snížená efektivita fotosyntézy a změna v morfologii kořenového systému – tyto ale i mnohé další jevy jsou projevem deficience esenciální živiny fosforu. Fosfor hraje důležitou úlohu ve stavbě živých organismů. Pro rostliny je nezbytnou, často limitující minerální živinou, jejíž zásoby v přírodě mají neobnovitelný charakter. Při sklizení plodin z polí se velká část fosforu z přírody odebírá. Proto v zájmu udržitelnosti zemědělských systémů je nezbytné obohacovat půdu tímto prvkem. Nejnižší obsah fosforu v chrástu cukrové řepy byl naměřen ve variantě (B5%) 5.26 g/kg to je opět důkazem, že při vysoké koncentraci biocharu, sorbuje fosfor a zamezuje jeho přístupu do rostliny i v porovnání s (B2%), kde byly obsahy 2x vyšší, a to i než v případě kontrolní (neošetřené varianty). Naopak v kombinaci (MB5%) byl obsah nejvyšší, a to až o 200 % oproti kontrolní variantě. Mezi

variantami M2% a MB2% nebyl velký významný rozdíl cca 17 g /kg, z těchto výsledků můžeme tvrdit, že přidání biocharu do pěstební směsi s hnojem nemělo negativní vliv na příjem celkového fosforu.

6.6. Hořčík

1. Bulva

Podobně jako v případě vápníku, bylo vysoké množství obsahu hořčíku naměřeno v kontrolní variantě (CNT), dále nejvíce ve variantě (B2%) 2.73 g/kg. Mezi ostatními variantami nebyl žádný statistický rozdíl a pohybovaly se kolem 2.2-2.3 g/kg.

2. Biomasa

Nejnižší hodnoty hořčíku v nadzemní biomase, byly naměřeny ve variantách (C a M5%) a nebyl mezi nimi zaznamenán žádný statistický rozdíl. Zde neměla vysoká dávka hnoje vliv na celkový obsah hořčíku. Naopak nejvyšší hodnoty byly naměřeny u variant (B2% a MB2%), tím potvrzujeme, že aplikace biocharu o objemu 2 % má pozitivní vliv na celkový obsah hořčíku bez vlivu na přidání hnoje. V případě variant (B5% a MB5%) se hodnoty snižovaly oproti jejich 2 % ekvivalentním ošetřením.

6.7. Síra

1. Bulva

V případě celkového obsahu síry, zde byl podobný trend jako u hořčíku a vápníku. Nejvyšší obsahy byly naměřeny u kontrolní varianty 1.52 g/kg a druhé nejvyšší hodnoty byly naměřeny u (B2%) kolem 1 g/kg. Mezi variantami (M2%, M5% a MB%) nebyl zaznamenán žádný rozdíl. V porovnání s těmito variantami MB2% byla hodnota o cca 20% vyšší.

2. Biomasa

Nejnižší obsahy síry byly naměřeny u varianty (M2%) 2.62 g/kg v kontrastu s variantou (B5%), kde byly hodnoty nejvyšší, a to až o 30 %. Ve všech variantách, kde byl aplikován biochar 5% buď samostatně anebo v kombinaci, byly celkové obsahy vyšší oproti 2% variantám (B2% či MB2%).

6.8. Sodík

1. Bulva

Zde byl úplně stejný vývoj jako u Mg, Ca a S, nejvyšší hodnoty byly naměřeny u kontrolní varianty. Naopak nejnižší obsah sodíku byl naměřen u variant M5% a MB5%. Například u *Beta vulgaris* (cukrová řepa), která patří mezi Na⁺ tolerantní druhy, byly pozorovány negativní projevy až při 97,5 % substituci draslíku sodíkem, kdy bylo dodáno 0,1 mM K⁺ a 3,9 mM Na⁺ (Faust a Schubert, 2016).

7. Závěr

V této studii, která zkoumala vliv biocharu, hnoje a kombinace hnoje a biocharu v různých dávkách na účinnost cukrové řepy a absorpci živin, obsah sacharózy, fruktózy a galaktózy, bylo zjištěno, že zvyšování dávek biocharu zvyšuje účinnost rostlin, pokud jde o kontrolní aplikace. Výsledky ukázaly, že nejvyšší sušina cukrové řepy byla stanovena ve variantách M5% a MB2% se zvyšujícím se stresem v reakci na vodní deficit. V cukrovce koncentrace N, K, Ca a Mg obecně rostly se zvyšující se aplikací biocharu a bylo zjištěno, že způsobují zvýšení koncentrací Ca, K a Mg mezi mikroprvky a snížení koncentrace C. Když se výsledky výzkumu vyhodnotí jako celek, je vidět, že použití biocharu mělo pozitivní dopad na růst a vývoj rostlin cukrové řepy pěstovaných ve stresu ze sucha. Výsledky této studie ukázaly, že zejména při působení vodního deficitu byla účinnost při použití biocharu zlepšena. Z tohoto důvodu je použití biocharu považováno za důležité pro zmírnění dopadu problému nedostatku vody, který může v budoucnosti kvůli změně klimatu přijít.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Abubakar M. S., Attanda M. L., 2013: The Concept of Sustainable Agriculture: Challenges and Prospects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 53.
- Agbna, G. H. D., Dongli S., Zhipeng L., Elshaikh N. A., Guangcheng S., Timm L. C., 2017: Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae* 222. P. 90–101.
- Aleer S., Adetutu E. M., Weber J., Ball A. S., Juhasz, A. L., 2014: Potential impact of soil microbial heterogeneity on the persistence of hydrocarbons in contaminated subsurface soils. *Journal of Environmental Management* 136. P. 27–36.
- Ali S., Rizwan M., Qayyum M. F., Ok Y. S., Ibrahim M., Riaz M., Arif M. S., Hafeez F., Al-Wabel M. I., Shahzad A. N., 2017: Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: A critical review. *Environmental Science Pollution Research* 24. P. 12700-12712.
- Araus, V., Swift J., Alvarez J. M., Henry A., Coruzzi G.M., 2020: A Balancing Act: How Plants Integrate Nitrogen and Water Signals.“ *Journal of Experimental Botany*.
- Arnau G., Monneveux P., This D., Alegre L., 1998: Photosynthesis of six barely genotypes as affected by water stress. *Photosynthetica* 34. P. 67–76.
- Atwell B. – Kriedemann, Turnbull, P. C. 1999: *Plants in Action: Adaption in Nature, performance in cultivation*. Macmillian Education, South Yarra, Australia. P. 664.
- Baluška F., 2013: Long-Distance Systemic Signaling and Communication in Plants. *Signaling and Communication in Plants*, 19, 2013, 105 - 124.

- Batool A., Taj S., Rashid A., Khalid A., Qadeer S., Saleem A. R., Ghufran M. A., 2015: Potential of soil amendments (Biochar and Gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Frontiers in Plant Science* 6. P. 733.
- Beesley L., Moreno-Jiménez E., Gomez-Eyles JL, Harris E., Robinson B., Sizmur T., 2011: Přehled potenciální role biouhel při sanaci, obnově a obnově kontaminovaných půd. *Znečištění životního prostředí*, 159. P. 3269-3282.
- Berkowitz G. A., 2000: Water and salt stress, in Raghavendra, A. S. (ed.), *Photosynthesis: a comprehensive treatise*, Cambridge University Press. P. 394.
- Biouhel – jak na něj prakticky. In: BIOUHEL.cz [online]. 2014 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <http://biouhel.cz/?p=351>
- Bond T. C., a Sun H., 2005: Can reducing black carbon emissions counteract global warming? *Environmental Science & Technology*, 39. P. 5921–26.
- Břendová, K., Tlustoš, P., Száková, J., Bohuněk, M. 2015: Využití biouhlí (biocharu) k úpravě půdních vlastností. *Biom.cz* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z WWW: . ISSN: 1801-2655
- Budai A., Zimmerman A. R., Cowie A. L., Webber J. B. W., Singh B. P., Glaser B., Masiello C. A., Andersson D., Shields F., Lehmann J., Camps Arbestain M., Williams M., Sohi S., Joseph S., 2013: Biochar Carbon Stability Test Method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability. *International Biochar Initiative*. P. 1-10.
- Czarnecki O., Yang J., Weston D. J., Tuskan G. A., a Chen J.G., 2013: A dual role of strigolactones in phosphate acquisition and utilization in plants. 14, 7681-7701.
- Celik I., Gunal H., Budak M., Akpınar C., 2010: Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160. P. 236–243.

- Clarkson, D.T.,1981: Nutrient interception and transport by root systems. *Physiological processes limiting plant productivity*, 307-330.
- Český statistický úřad, 2017, [online] [cit.2021-02-03]. Dostupné z:
<https://www.czso.cz>.
- Delgado A., Gómez J. A., 2016: The soil. Physical, chemical and biological properties. In *Principles of agronomy for sustainable agriculture*. Springer, Cham. P. 15-26.
- Ding L., Zhifeng L., Gao L., Guo S., a Shen Q.,2018: Is Nitrogen a Key Determinant of Water Transport and Photosynthesis in Higher Plants Upon Drought Stress?“ *Frontiers in Plant Science*, 9, 2018, 1143.
- Doorenbos J., Kassam A. H., 1979: Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper 33*, Rome. P. 193.
- Dronzi-Undi J., Masek O., Abass O., 2012: Determination of Spontaneous Ignition Behaviour of Biochar Accumulations. *International Journal of Science of Reserch*, 3. P. 656-661.
- Eckert H., Breitschuh G., Sauerbeck D. R., 2000: Criteria and standards for sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163. P. 337-351.
- Espinosa D., Sale P. W. G., Tang C., 2011: Changes in pasture root growth and transpiration efficiency following the incorporation of organic manures into a clay subsoil. *Plant and Soil*, 348, P. 329.
- Fahn A., Broido-Altman S., 1990: *Plant anatomy*. Pergamon Press, New York. P. 588.
- Fanish S. A., 2017: Impact of Green Manure Incorporation on Soil Properties and Cro Growth Environment: A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 13. P. 122–132.

- Faust F., Schubert S., 2016: Protein synthesis is the most sensitive process when potassium is substituted by sodium in the nutrition of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 107. P. 237–247.
- Fowden L., Mansfield T., Stoddart J., 1993: *Plant Adaption to Environmental Stress*. Chapman and Hall. P. 346.
- Gembalová L., Klouda K., Roucová P., Rusín J., Prysycz A. a Weisheitelová M., 2016: Biochar-ekologický produkt a jeho uplatnění v ochraně životního prostředí. In: *Sborník příspěvků z mezinárodní konference Ochrana obyvatelstva – zdravotní záchranářství*. Ostava. s. 24-31.
- Gonzalez-Dugo V., Jean-Louis D., a François G., 2010: Water Deficit and Nitrogen Nutrition of Crops. A Review.“ *Agronomy for Sustainable Development*, 30, č. 3, 529– 544.
- Guo, S., Zhou Y., Shen Q., a Zhang F., 2007: Effect of Ammonium and Nitrate Nutrition On Some Physiological Processes in Higher Plants - Growth, Photosynthesis, Photorespiration, and Water Relations. *Plant Biology*, 9, č. 1, 2007, 21–29.
- Graber E. R., Harel Y. M., Kolton M., Cytryn E., Silber A., David D. R., Elad Y., 2010: Biochar Impact on Development and Productivity of Pepper and Tomato Grown in Fertigated Soilless Media. *Plant Soil*, 337. P. 481-496.
- Graham R. D., Welch R. M., Bouis H. E., 2001: Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*, 70. P. 77-142.
- Gudesblat G. E., Russinova, E. (2011). Rostliny rostou na brassinosteroidech. *Aktuální názor v biologii rostlin*, 14 (5), 530-537.

- Günel E., Çalışkan M. E., Tortopoğlu A. I., Kuşman N., Tuğrul K. M., Yılmaz A., Dede Ö., Öztürk. M., 2005: Nişasta ve Şeker Bitkileri Üretimi. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildiri Kitabı, Ankara. P. 431-457.
- Gryndler M., 2004: Mykorhizní symbióza: O soužití hub s kořeny rostlin.“ Vyd. 1. Praha: Academia, 2004.
- Holthusen, D., Peth, S., a Horn, R.,2010: Impact of potassium concentration and matric potential on soil stability derived from rheological parameters. Soil and Tillage Research. 111, P.75-85.
- Hosy E., Vavasseur A., Mouline K., Dreyer I., Gaymard F., Porée F., Boucherez J., Lebaudy A., Bouchez D., Very A.-A., Simonneau T., Thibaud J.-B., Sentenac H., 2003: The Arabidopsis outward K⁺ channel GORK is involved in regulation of stomatal movements and plant transpiration. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100. P. 5549–5554.
- Hroudová M., Pulkrábek J., Dvořák P., Bečková L., 2020: Cukrová řepa na rodinných farmách. Listy Cukrovarnické a Řepářské, 136. 13-20 s.
- Hsiao T., 1973: Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology, 24. P. 519-570.
- Chan K. Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S., 2007: Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research 45. P. 629–34.
- Chaves, MM, Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of botanika, 103. P. 551-560.
- ChoChola, J.,2010: Průvodce pěstováním cukrové řepy. *KWS Osiva řepářský institut Semčice.*

- Inyang M. I, Gao B., Yao Y., Xue Y., Zimmerman A., Mosa A., Cao X., 2016: A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46. P. 406-433.
- Ippolito J. A., Laird D. A., Busscher W. J., 2012: Environmental benefits of biochar. *Journal of Environmental Quality*, 41. P. 967–72.
- Joseph S. D, Camps-Arbestain M., Lin Y., Munroe, P., Chia C. H., Hook J., Amonette, J. E., 2010: An investigation into the reactions of biochar in soil. *Research*, 48. P. 501-515.
- Kammann C. I., Linsel S., Gößling J. W., Koyro H. W., 2011: Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil–plant relations. *Plant and Soil*, 345. P. 195–210.
- Karhu K., Mattila T., Bergström I., Regina K., 2011: Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity-Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140. P. 309–13.
- Khan M. N., Mobin M., Abbas Z. K., Alamri S. A., 2018: Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 5.P. 225-240.
- Klusák V., Hollan, J., 2009: Biouhel, alespoň stéblo naděje. *Veronica: Časopis pro ochranu přírody a krajiny* [online], 5. 1-8 s.
- Korovetska H., Novák O., Jůza O., a Gloser V.,2014: Signalling Mechanisms Involved in the Response of Two Varieties of *Humulus Lupulus* L. to Soil Drying: I. Changes in Xylem Sap PH and the Concentrations of Abscisic Acid and Anions. *Plant and Soil*, 380, č. 1–2, 375–387.

- Kos M., 2016: Čistírenský kal–obnovitelný zdroj pro výrobu paliva a hnojiva. SOVAK, 1. 16-20 s.
- Kudoyarova, Guzel R., Ian C. Dodd, Dmitry S. Veselov, Shane A. Rothwell, a Stanislav Yu. Veselov., 2015: Common and Specific Responses to Availability of Mineral Nutrients and Water.“ *Journal of Experimental Botany*, 66, č. 8, 2133–2144..
- Larcher W., 1995: *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, P. 506.
- Lazar, T. L. a Zeiger, E., 2003: Plant physiology. 3rd edn.“ *Annals of Botany*, 91, č. 6, 2003, 750– 751.
- Lehman J., Rilling M. C., Thies J., Masiello C., Hockaday W. C., Crowley D., 2011: Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology Biochemistry*, 43. P. 1812-1836.
- Lewitt J., 1980: *Responses of plants environmental stresses*. 2nd ed., Academic Press, London. P. 503.
- López-Bucio, J., Hernández-Abreu, E., Sánchez-Calderón, L., Nieto-Jacobo, M.F., Simpson, J., a Herrera-Estrella, L., 2002: Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. *Plant Physiol* 129, 244-256.
- Lu Z., Lu J., Pan Y., Lu P., Li X., Cong R., Ren T., 2016: Anatomical variation of mesophyll conductance under potassium deficiency has a vital role in determining leaf photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 39. P. 2428–2439.
- Luštinec J., Žárský V., 2003: *Úvod do fyziologie vyšších rostlin*. Praha, Karolinum.

- Lyu H., He Y., Tang J., Hecker M., Liu Q., Jones P. D, Giesy, J. P., 2016: Effect of pyrolysis temperature on potential toxicity of biochar if applied to the environment. *Znečištění životního prostředí*, 218. P. 1-7.
- Major J., Rondon M., Molina D., Riha S. J., Lehmann J., 2010: Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333. P. 117-128.
- Marschner H. 1995: Mineral Nutrition of Higher Plants. *Annals of Botany*. Academic Press, 78. P. 527–528.
- Mayzlish-Gati E., De-Cuyper C., Goormachtig S., Beeckman T., Vuylsteke M., Brewer P.B., Beveridge C.A., Yermiyahu U., Kaplan Y., Enzer Y., Wininger S., Resnick N., Cohen M., Kapulnik Y., a Koltai H., 2012: Strigolactones are involved in root response to low phosphate conditions in *Arabidopsis*. *Plant Physiol* 160, 1329-1341.
- Midmore D. J., 1993: Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. *Field Crops Research*, 34. P. 357-380.
- Mekdad A. A. A., Rady M. M., 2016: Response of *Beta vulgaris* L. to nitrogen and micronutrients in dry environment. *Plant, Soil, Environ.*, 62. P. 23-29.
- Mujumdar A. S., 1995: Handbook of industrial drying. Marcel Dekker, New York. P. 742.
- Muller B., Pantin F., Génard M., Turc O., Freixes S., Piques M., Gibon Y., 2011: Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany*, 62. P. 1715–1729.
- Mwangi T. J., 2010: Improving and sustaining soil fertility by use of farmyard manure and inorganic fertilizers for economical maize production in West Pokot, Kenya. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6. P. 313-32.

- Ni B. R., Pallardy S. G., 1991: Response of gas exchange to water stress in seedlings of woody angiosperms. *Tree Physiology*, 8. P.1–9.
- Orcutt D. M., Nilsen E. T., 1996: *Physiology of Plants under Stress. Soil and Biotic Factors*. P.696
- Ortaş İ., 2018: Bioçar'ın toprak kalitesi ve bitki gelişimi üzerine etkileri. *Organomineral Gübre Çalıştay1*, 12 Mayıs. İstanbul.
- Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L. S. P., 2014: Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5. P. 86.
- Osakabe Y., Arinaga N., Umezawa T., Katsura S., Nagamachi K., Tanaka H., Ohiraki H., Yamada K., Seo S.-U., Abo M., Yoshimura E, Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K., 2013: Osmotic stress responses and plant growth controlled by potassium transporters in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 25. P. 609–624.
- Pérez-Alfocea F., Ghanem M. E., Gómez-Cadenas A., a Dodd D.C., 2011: Omics of Root-to-Shoot Signaling Under Salt Stress and Water Deficit. *OMICS: A Journal of Integrative Biology*, 15, č. 12, 893–901.
- Pettigrew W. T., 2008: Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*, 133. P. 670–681.
- Piterková J., Tománková K., Luhová L., Petřivalský M., Peč P., 2005: Oxidativní stres: Lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organismu. *Chemické listy*, 99. 455-466 s.
- Plett, D.C., Ranathunge K., Melino V.J., Kuya N., Uga Y., a Kronzucker H. J.,: 2020: The Intersection of Nitrogen Nutrition and Water Use in Plants: New Paths toward Improved Crop Productivity. *Journal of Experimental Botany*, 49.

- Pohořelý M., Sedmihradská A., Trakal L., Jevič P., 2019: Biochar–výroba, vlastnosti, certifikace, použití. In Waste Forum, 3. 197-210 s.
- Pretty J., Sutherland W. J., Ashby J., Auburn J., Baulcombe D., Bell M., Pilgrim S., 2010: The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. International journal of agricultural sustainability, 8. P. 219-236.
- Pulkrábek, J., 2007: *Řepa cukrová: pěstitelský rádce*. Pro katedru rostlinné výroby, FAPPZ, ČZU v Praze vydalo vydavatelství Kurent.
- Rajapaksha A. U., Chen S. S., Tsang D. C. W., Zhang M., Vithanage M., Mandal S., Gao B., Bolan N. S., Ok Y. S., 2016: Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: Potential and implication of biochar modification. Chemosphere, 148. P. 276–91.
- Remans T., Nacry P., Pervent M., Girin T., Pascal T., Lepetit M., a Gojon A., 2006: A Central Role for the Nitrate Transporter NRT2.1 in the Integrated Morphological and Physiological Responses of the Root System to Nitrogen Limitation in Arabidopsis. Plant Physiology, 140, č. 3, 909–921.
- Ruyter-Spira C., Al-Babili S., van der Krol S., a Bouwmeester H., 2013: The biology of strigolactones. Trends Plant Sci 18, 72-83.
- Şahin Ö., Taşkın M. B., Kaya E. C., Taşkın H., 2016: Fosfor ile Zenginleştirilmiş Biyokömürün Marul Bitkisinin (*Lactuca sativa* L. cv. Maritima) Gelişimi ve Mineral Element Konsantrasyonu Üzerine Etkisi. Çukurova Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi, 31. P. 101–07.
- Sattar A., Sher A., Ijaz M., Irfan M., Butt M., Abbas T., Hussain S., Abbas A., Ullah M. S., Cheema M. A., 2019: Biochar application improves the drought tolerance in maize seedlings. Phyton, International Journal of Experimental Botany, 88. P. 379–88.

- Schulze E. D., Hall A. E., 1982: Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. *Physiological plant ecology II: water relations and karbon assimilation*, Springer Verlag, Berlin, Germany, 12. P. 181–230.
- Soetan, KO, Olaiya, CO, & Oyewole, OE (2010). The Importance of Mineral Elements for Humans, Domestic Animals and Plants: A Review. *African Journal of Food Science*, 4. P. 200-222.
- Srinivasan P., Sarmah A. K, Smernik R., Das O., Farid M., Gao W., 2015: A feasibility study of agricultural and sewage biomass as biochar, bioenergy and biocomposite feedstock: production, characterization and potential applications. *Science of the total environment*, 512. P. 495-505.
- Strnadlová H., 2009: Dopady vstupu ČR do EU a reformy Společné organizace trhů v odvětví cukru na trh s cukrem v ČR. *LCaŘ*, 125, (12), s. 334 – 341.
- Sun J., He F., Pan Y., Zhang, Z., 2017: Effects of pyrolysis temperature and residence time on physicochemical properties of different biochar types. *Acta Agriculturae Scandinavica, oddíl B - Soil & Plant Science*, 67. P. 12-22.
- Tanure M. M. C., da Costa L. M., Huiz H. A., Fernandes R. B. A., Cecon P. R., Junior J. D. P., da Luz J. M. R., 2019: Soil water retention. physiological characteristics. and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192. P. 164–73.
- Tarakçıoğlu C., Özenç D. B., Yılmaz F- I., Kulaç, Aygün S., 2019: Fındık kabuğundan üretilen biyokömürün toprağın besin maddesi kapsamı üzerine etkisi. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 34. P. 107–17.
- Taylor I. B., 1991: Genetics of ABA synthesis, in Davies, W. J., Jones, H. G. (eds.), *Abscisic acid: physiology and biochemistry*, Bios Scientific Publishers, Oxford. P. 23–37.

- Tayyab M., Islam W., Khalil F., Ziqin P., Caifang Z., Arafat Y., Hui L., M. Rizwan, Ahmad K., Waheed S., et al., 2018: Biochar: An efficient way to manage low water availability in plants. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16. P. 2565–2583.
- Thies J.E, Rillig, M.C., 2009: Vlastnosti biouhlu: biologické vlastnosti. *Biouhel pro environmentální management: Věda a technika*, 1. 85-105.
- Tripathi R. et al., 2014: Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in diferent fractions afer 41 years long-term fertilizer experiment in tropical rice–rice system. *Geoderma*, 21. P. 280–286.
- Tian X. m. et al., 2012: Effects of continuous application of bio-organic fertilizer for three years on soil organic matter fractions, cotton nutrient absorption and yield. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 18. P. 1111–1118.
- Varga I., Kristek A., Antunović M., 2014: Overview of plant density impact on yield and quality of sugar beet. In *Proc. 7th Int. scientific/professional conf. Agricult. in nature and environ. protection. Vukovar, Croatia, Glas Slavonije d. d., Osijek*. P. 149–154.
- Verheijen F., Jeffery S., Bastos A.C., van der Velde M., Diafas I., 2010: *Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions; European Communities*.
- Verheijen F. G. A., Graber E. R., Ameloot N., Bastos A. C., Sohi S., Knicker H., 2014: Biochars in soils: New insights and emerging research needs. *European Journal of Soil Science*, 65. P. 22–27.
- Wacal C., Ogata N., Basalirwa D., Handa T., Sasagawa D., Acidri R., Ishigaki T., Kato M., Masunaga T., Yamamoto S., et al., 2019: Growth, seed yield, mineral nutrients and soil properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by biochar addition on upland field converted from paddy. *Agronomy*, 9. P. 55.

- Wang Y., Wu W. H., 2015: Genetic approaches for improvement of the crop potassium acquisition and utilization efficiency. *Current Opinion in Plant Biology*, 25. P. 46-52.
- Weissmannová, H. , 2004: Chráněná území ČR. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. Praha. 454 s.
- Zhang Z., Liao H., a Lucas W. J., 2014: Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling, and adaptation in plants. *J Integr Plant Biol* 56, 192-220.
- Zhao D., Oosterhuis D. M., Bednarz C. W., 2001: Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, 39. P. 103–109

9. Seznamy

Seznam tabulek:

Tabulka 1. Přehled tradičních možností organického hnojení cukrové řepy.....	12
Tabulka 2. Vzniklý podíl pyrolytického oleje, pyrolýzního plynu a biocharu pomocí pyrolýzní technologie.....	15
Tabulka 3. Hlavní složky v biocharu, které se běžně vyskytují u celé řady výchozích materiálů a pyrolýzních stavů a jejich rozpětí)	18
Tabulka 4. Základní charakteristika vstupních materiálů a půdy.	24
Tabulka 5. Koncentrace vybraných látek a pH půdní vody, získané pomocí rhizonů.	31
Tabulka 6. Obsahy přijatelných živin v půdě; provedeno pomocí Mehlich III.....	32
Tabulka 7. Obsahy prvků v bulvách cukrové řepy.	35
Tabulka 8. Obsahy prvků v listech cukrové řepy.	35

Seznam obrázků:

Obrázek 1. Průměrné hektarové výnosy pšenice, kukuřice, řepky a cukrové řepy v letech 1920-2017.....	5
Obrázek 2. Vlastnosti biocharu.....	19
Obrázek 3. Nádobový experiment s instalovanými vlhkostními čidly FDR a rhizony.	23
Obrázek 4. Měření pH a Ec pomocí multimetru a konduktometru.	26
Obrázek 5. Lcpro+	28
Obrázek 6. Mehlich III.....	32
Obrázek 7. Bulvy a listy cukrové řepy	36

Seznam grafů:

Graf 1. Průběh objemových vlhkostí (měřených metodou FDR) během nádobového experimentu.....	31
Graf 2. Produkce čerstvé biomasy cukrové řepy (bulvy a listy) pro jednotlivé varianty v rámci tříměsíčního nádobového experimentu.	33
Graf 3. Obsah sacharózy v bulvách cukrové.....	36
Graf 4. Poměr chlorofylu A/B vyjadřující reakci rostlin na působení biotického stresu	37
Graf 5. Celkový obsah karotenoidů vyjadřující míru vodního stresu	38